



LCA thermische conversie pluimveemest BMC Moerdijk



LCA thermische conversie pluimveemest BMC Moerdijk

Dit rapport is geschreven door:

Lonneke de Graaff

Ingrid Odegard

Sanne Nusselder

Delft, CE Delft, maart 2017

Publicatienummer: 17.2H94.01 versie 2. Ten opzichte van versie 1 zijn enkele taalfouten en verwijzingen aangepast.

Energietechniek / Biomassa / Dierlijke mest / Pluimvee / Thermische behandeling / Elektriciteit / As / LCA / Milieufactoren

Opdrachtgever: BMC Moerdijk.

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Lonneke de Graaff.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoudsopgave

	Samenvatting	5
	Summary	13
1	Inleiding	20
2	Methodiek	21
2.1	Doel en doelgroep	21
2.2	ISO-standaard	21
2.3	Functie en functionele eenheid	22
2.4	Routes	23
2.5	Systeemgrenzen	24
2.6	Milieu-effectcategorieën	26
2.7	Methode LCA - overige afbakening	26
2.8	Methode mineralenbalans	28
2.9	Gebruikte software en databases	28
3	Inventarisatie en datakwaliteit	30
3.1	Inventarisatie koolstofvastlegging	30
3.2	Inventarisatie kunstmestvervanging	31
3.3	Inventarisatie en datakwaliteit per route	32
4	Mineralenbalans	36
4.1	Mineralenbalans verschillende stoffen	37
4.2	Conclusie mineralenbalans	41
5	Resultaten LCA-studie	43
5.1	De totale milieu-impact, uitgedrukt in single score	43
5.2	Resultaten analyse milieuthema's	47
5.3	Conclusie LCA-studie	50
6	Gevoeligheidsanalyse	52
6.1	Conclusie gevoeligheidsanalyse	55
7	LCA-studie met systeem-uitbreiding	58
7.1	Conclusie LCA-studie met systeemuitbreiding	60
8	Conclusies en aanbevelingen	61
8.1	Eindconclusie	61
8.2	Aanbevelingen aan BMC	63



Bijlage A	Inventarisatie	64
A.1	Thermische conversie bij BMC Moerdijk	64
A.2	Thermische conversie bij de pluimveehouder	67
A.3	Meevergisten in een centrale in Duitsland	70
A.4	Bijstoken in een biomassacentrale op hout	74
A.5	Directe aanwending ruwe mest in Nederland	77
A.6	Directe aanwending ruwe mest in Duitsland	79
A.7	Composteren	80
A.8	Composteren en verkorrelen	83
A.9	Composteren en aanwending voor champignonteelt	86
Bijlage B	Toelichting kunstmestvervanging	90
Bijlage C	Toelichting ReCiPe-methodiek	92
Bijlage D	Zware metalen, micronutriënten	94
Bijlage E	Koolstofvastlegging	96
Bijlage F	Berekeningen mineralenbalans	97
F.1	Metingen van fosfor en kalium in de as van BMC Moerdijk	99
Bijlage G	Resultaten LCA-analyse	101
G.1	Resultaten Single Score	101
G.2	Resultaten midpoints	102
G.3	Relatieve bijdrage van midpoints aan single score	102
G.4	Resultaten midpoints contributie - BMC	103
Bijlage H	Resultaten BMC Moerdijk	104
H.1	Resultaten single score en contributieanalyse	104
H.2	Gevoeligheidsanalyse thermische conversie bij BMC Moerdijk	107
H.3	Resultaten midpoint	108
H.4	Vergelijking met resultaten 2001	109
Bijlage I	Contributieanalyses	113
I.1	Thermische conversie bij pluimveehouder	113
I.2	Meevergisten in vergistingscentrale in Duitsland	114
I.3	Bijstoken in biomassacentrale	115
I.4	Directe aanwending ruwe mest in Nederland	116
I.5	Directe aanwending ruwe mest in Duitsland	117
I.6	Composteren en aanwending in het buitenland	118
I.7	Composteren, verkorrelen en aanwending in het buitenland	119



Bijlage J	Gevoeligheidsanalyses	121
J.1	Gevoeligheidsanalyse thermische conversie bij pluimveehouder	121
J.2	Gevoeligheidsanalyse meevergisten in vergistingscentrale in Duitsland	121
J.3	Gevoeligheidsanalyse bijstoken in biomassacentrale	122
J.4	Gevoeligheidsanalyse directe aanwending ruwe mest in Nederland	123
J.5	Gevoeligheidsanalyse directe aanwending ruwe mest in Duitsland	123
J.6	Gevoeligheidsanalyse composteren en aanwending in het buitenland	124
J.7	Gevoeligheidsanalyse composteren, verkorrelen en aanwending in het buitenland	125
Bijlage K	Systeemuitbreiding	126
K.1	Aanvulling Elektriciteitsproductie	127
K.2	Aanvulling Stikstof	128
K.3	Aanvulling Fosfor	129
K.4	Aanvulling Kalium	131
K.5	Aanvulling organische stof	132
K.6	Resultaat: Vergelijking routes op basis van systeemuitbreiding	134
K.7	Conclusie	135
9	Bibliografie	137



Samenvatting

Pluimveemest kan op verschillende manieren worden verwerkt. Meer dan een derde van alle in Nederland beschikbare pluimveemest wordt verwerkt in de centrale van BMC Moerdijk. Hierbij wordt elektriciteit opgewekt en de as wordt ingezet als kunstmestvervanger.

BMC Moerdijk heeft aan CE Delft gevraagd om de milieueffecten van de thermische conversie van pluimveemest bij BMC Moerdijk zichtbaar te maken en te vergelijken met acht alternatieve routes voor de verwerking van pluimveemest.

Methodiek en afbakening

Centrale vraag

Is het milieukundig gezien aantrekkelijk om pluimveemest in de centrale van BMC in te zetten voor thermische conversie in vergelijking met acht andere routes voor het verwerken van pluimveemest?

Samenstelling pluimveemest

Voor een eerlijke vergelijking zijn we in deze studie bij alle routes uitgegaan van dezelfde samenstelling van de mest, namelijk de mix die bij BMC Moerdijk wordt ingezet.

De functionele eenheid in de studie is: De verwerking van 1 ton pluimveemest, die vrijkomt bij pluimveehouders in Nederland die voor 52% bestaat uit vleeskuikenmest, 40% strooiselstalmest, 5% kalkoenenmest en 3% bandenmest.

De routes

De volgende routes komen aan bod in deze studie:

Routes voor de inzet van pluimveemest als energiebron en als meststof:

1. Thermische conversie bij **BMC Moerdijk**, met elektriciteitsopwekking en inzet as als kunstmestvervanger (*de centrale route*).
2. Thermische conversie in een centrale op het terrein van de **pluimveehouder**, met elektriciteitsopwekking en inzet als kunstmestvervanger.
3. **Meevergisten** in een vergistingscentrale in Duitsland, met elektriciteitsopwekking en afzet digestaat als kunstmestvervanger.

Route voor de inzet van pluimveemest als energiebron:

4. Bijstoken in een **biomassacentrale op hout**, met elektriciteitsopwekking, zonder afzet van de as als kunstmestvervanger.

Routes voor de inzet van pluimveemest als meststof:

5. Directe **aanwending ruwe mest** in **Nederland**.
6. Directe **aanwending ruwe mest** in **Duitsland**.
7. **Composter** - export naar buitenland.
8. **Composter** en **verkorrelen** - export naar buitenland.
9. **Composter** en **aanwending** voor champignonenteelt.

Vanwege de beperkte beschikbaarheid van informatie over de route Champignonenteelt is deze route in de vergelijking tussen de routes niet meegenomen. Wel is een kwalitatieve analyse van deze route toegevoegd. Deze geeft een indicatie.



Aanpak studie

CE Delft heeft de studie in twee delen uitgevoerd. In het eerste deel, de mineralenbalans, komt de aanwezigheid van mineralen en organische stof voor én na het verwerkingsproces aan bod. Het tweede deel bestaat uit een levenscyclusanalyse (LCA) volgens ReCiPe-methodiek, waarbij we 18 milieueffecten analyseren.

Datakwaliteit

Voor dataverzameling over de verwerking van pluimveemest is CE Delft zoveel mogelijk uitgegaan van data van de verwerkers van pluimveemest (primaire data).

Primaire data is gebruikt voor de route thermische conversie bij BMC Moerdijk. Verder is grotendeels primaire data gebruikt voor de routes: thermische conversie bij de pluimveehouder, Composteren en Verkorrelen. Een modelmatige aanpak is gebruikt voor de routes; Meevergisten, Biomassacentrale op hout, Aanwending mest in Nederland en Duitsland. De modelmatige aanpak is van lagere kwaliteit dan de analyse gestoeld op (grotendeels) primaire data, maar geeft wel de juiste ordegrootte aan.

Resultaten mineralenbalans

Alle organische stof en mineralen verloren bij biomassacentrale op hout

De mineralenbalans laat zien dat bij de biomassacentrale op hout alle grondstoffen organische stof, stikstof, fosfor (uitgedrukt als P_2O_5) en kalium (uitgedrukt als K_2O) verloren gaan. Dit komt doordat het bijmengen van pluimveemest in een biomassacentrale op hout geen product oplevert, dat kan worden ingezet als kunstmestvervanging. De biomassacentrale op hout scoort vanuit milieuoogpunt dus negatief op de mineralenbalans.

Voor de routes BMC/Pluimveehouder, Vergisten, Mest aanwenden, Composteren en Verkorrelen worden de resultaten van de mineralenbalans per grondstof beschreven.

Organische stof

Bij de thermische conversie van pluimveemest bij BMC of de pluimveehouder gaat alle organische stof verloren en wordt deze omgezet in energie. Er wordt dus minder (effectieve) organische stof aan de bodem toegevoegd dan bij de routes Vergisten, Mest aanwenden, Composteren en Verkorrelen.

Stikstof

In alle routes gaat een deel van de stikstof verloren. Bij elke route gebeurt dit verschillend. Bij de thermische conversie van pluimveemest bij BMC en de pluimveehouder gaat alle stikstof verloren. Wat betreft dit mineraal zijn dus de andere verwerkingsroutes, Vergisten, Mest aanwenden, Composteren en Verkorrelen, beter.

Fosfor (uitgedrukt als P_2O_5)

Voor alle routes geldt dat in de eindproducten (as, digestaat, mest, compost en korrels) per ton verwerkte mest evenveel P_2O_5 zit. Het verschil tussen de as en de andere producten zit in de werkzaamheid van het P_2O_5 . De eenjarige werkzaamheid van P_2O_5 in pluimveemest ligt tussen de 37 en de 100%, en bij de andere producten rond de 70%. Als de eenjarige werkzaamheid van P_2O_5 dus onder de 70% ligt, dan komt er binnen een jaar minder P_2O_5 beschikbaar bij thermische conversie van pluimveemest dan bij de andere routes.



Kalium

De mineralenbalans voor kalium (uitgedrukt als K_2O) geeft aan dat er voor alle routes evenveel kaliumoxide in het eindproduct aanwezig is.

Fosfor en kalium milieukundig belangrijker dan organische stof en stikstof

De grondstoffen fosfor en kalium zijn eindig. Daardoor kan er voor gekozen worden om meer gewicht te geven aan de resultaten voor deze stoffen, ten opzichte van de resultaten voor (effectieve) organische stof of stikstof. De thermische conversie van pluimveemest bij BMC komt er wat betreft behoud van kalium of fosfor evengoed uit als de andere routes. De eenjarige werkzaamheid van fosfor (uitgedrukt als P_2O_5) kan zowel beter als slechter uitpakken (afhankelijk van de soort akkerbouw waar de pluimveemest as wordt toegepast).

Resultaten LCA-studie

Figuur 1 laat zien dat alle routes waarin elektriciteit wordt geproduceerd een milieuvoordeel opleveren. Dit milieuvoordeel kan nog groter zijn als ook warmte wordt afgezet (dit is aangegeven met de marge).

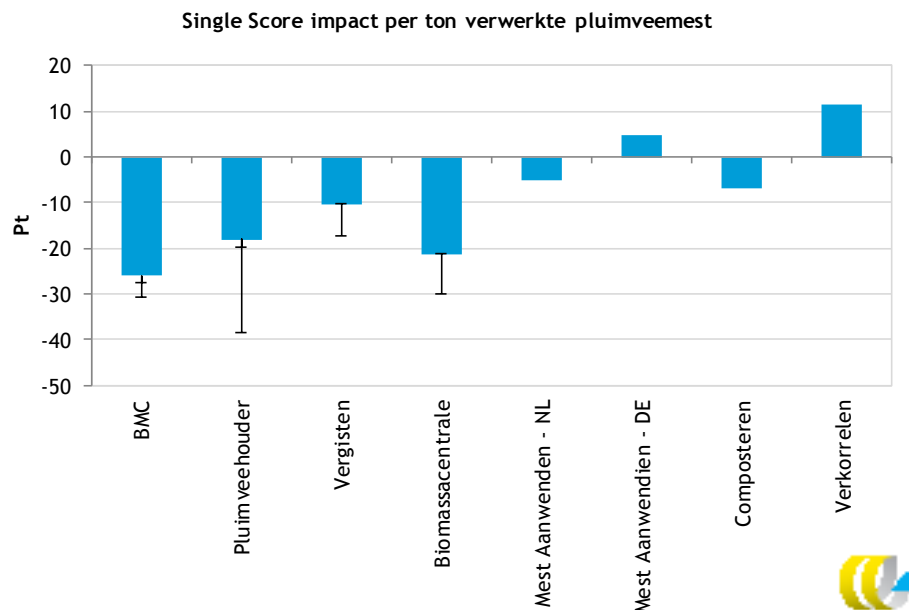
Als alle warmte wordt ingezet dan komt de thermische conversie bij de pluimveehouder er als beste uit. Bij warmteafzet kunnen de biomassacentrale en BMC Moerdijk een vergelijkbaar milieuvoordeel opleveren en delen de tweede plaats. Vergisten komt bij warmteafzet op de vierde plaats qua milieubelasting.

In het geval dat de warmte niet kan worden afgezet, levert thermische conversie van pluimveemest bij BMC Moerdijk het grootste milieuvoordeel op, gevolgd door de biomassacentrale op plaats twee. De pluimveehouder en vergisten komen dan op respectievelijk de derde en vierde plaats.

Alle routes die geen elektriciteit of warmte produceren leveren een milieubelasting of klein milieuvoordeel op.



Figuur 1 Totale milieu-impact (single score) per ton verwerkte pluimveemest

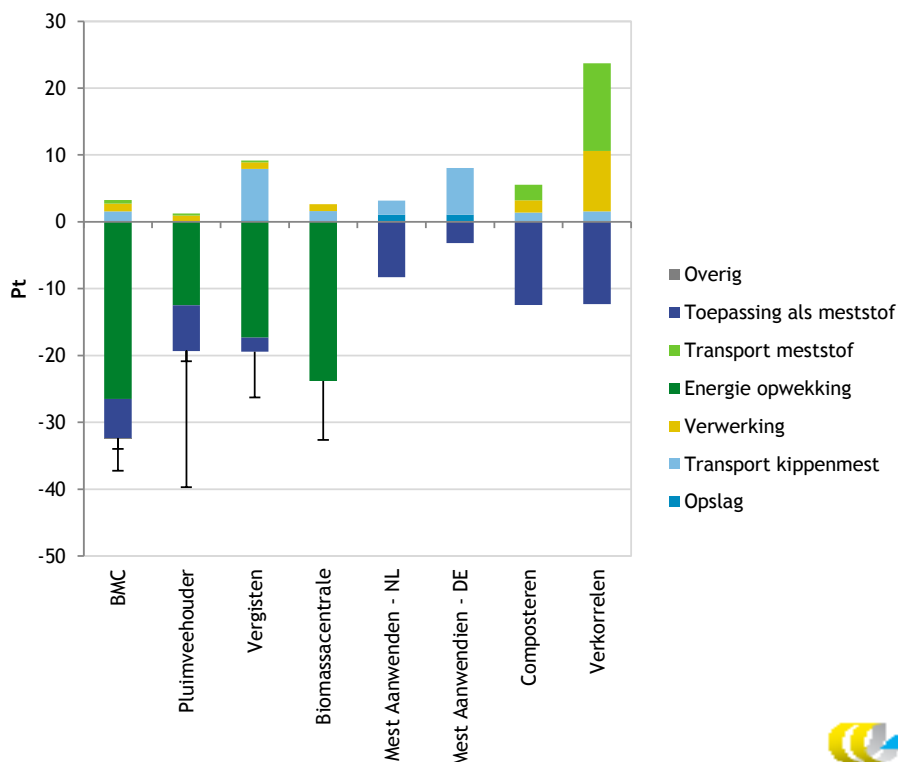


De dubbele marge geeft de hogere waarde van de eenjarige werkzaamheid van P_2O_5 in pluimveemestas weer (het bovenste deel van de marge) en deels de afzet van warmte. Een negatieve score, onder de x-as geeft aan dat er geen milieubelasting, maar juist milieuvoordeel is.

Resultaten contributieanalyse

De acht routes hebben elk verschillende positieve en negatieve effecten op het milieu. Figuur 2 geeft een overzicht van de milieu-impact, waarin van elke route te zien is wat het aandeel van de afzonderlijke ketenstappen is. Hierdoor wordt het duidelijk waar de verschillen in de single score impact vandaan komen.

Figuur 2 Contributieanalyse Single Score impact per ton verwerkte pluimveemest



De dubbele marge geeft deels (het bovenste deel van de marge) de hogere waarde van de eenjarige werkzaamheid van P_2O_5 in pluimveemest weer en deels de afzet van warmte.

De precieze onderverdeling per categorie die is weergegeven in de contributieanalyse, is te vinden in Tabel 1 en Tabel 2.

Tabel 1 Resultaten Single Score - Route 1 t/m 4

	BMC	Pluimveehouder	Vergisten	Biomassacentrale
Emissies opslag	N.v.t.	N.v.t.	0,21 Pt	N.v.t.
Transport pluimveemest	1,54 Pt	0 Pt	7,71Pt	1,61 Pt
Emissies verwerking	1,20 Pt	0,92 Pt	0,97 Pt	1,01 Pt
Directe emissies	0,57 Pt	0,56 Pt	0,97 Pt	0,54 Pt
Hulpstoffen	0,62 Pt	0,36 Pt	0 Pt	0,38 Pt
Afvalverwerking	0 Pt	0 Pt	N.v.t.	0,09 Pt
Energieopwekking	-23,25 tot -26,49 Pt	-12,49 tot -31,32 Pt	-17,33 - tot -31,05	-23,82 tot -32,63 Pt
Warmte	0 tot -3,24 Pt	0 tot -18,83 Pt	0 tot -6,86	0 tot -8,81 Pt
Elektriciteit	-23,25 Pt	12,49 Pt	-17,33	-23,82 Pt
Transport meststof	0,52 Pt	0,22 Pt	0,26 Pt	N.v.t.
Toepassing als meststof	-5,99 tot -10,74 Pt	-6,68 Pt tot -8,38 Pt	-2,08 Pt	N.v.t.
Directe emissies	0 Pt	0 Pt	13,40 Pt	N.v.t.
Uitsparing kunstmest	-5,99 tot -10,74 Pt	-6,68 Pt tot -8,38 Pt	-13,57 Pt	N.v.t.
CO ₂ -vastlegging	N.v.t.	N.v.t.	-1,92 Pt	N.v.t.
Overig	0 Pt	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
TOTAAL	-25,98 tot - 33,97 Pt	-18,10 tot -38,45 Pt	-10,26 tot -17,12 Pt	-21,19 tot -30,00 Pt



Tabel 2 Resultaten Single Score - Route 5 t/m 8

	Directe aanwending - NL	Directe aanwending - DE	Composteren	Verkorrelen
Emissies opslag	1,06 Pt	1,06 Pt	0 Pt	0 Pt
Transport pluimveemest	2,10 Pt	7,01 Pt	1,40 Pt	1,58 Pt
Emissies verwerking	N.v.t.	N.v.t.	1,81 Pt	9,02 Pt
<i>Directe emissies</i>	N.v.t.	N.v.t.	1,75 Pt	2,48 Pt
<i>Hulpstoffen</i>	N.v.t.	N.v.t.	0,06 Pt	6,54 Pt
<i>Afvalverwerking</i>	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Energieopwekking	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
<i>Warmte</i>	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
<i>Elektriciteit</i>	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Transport meststof	N.v.t.	N.v.t.	2,35 Pt	13,13 Pt
Toepassing als meststof	-8,30 Pt	-3,18 Pt	-12,45 Pt	-12,32 Pt
<i>Directe emissies</i>	8,37 Pt	13,49 Pt	1,55 Pt	2,70 Pt
<i>Uitsparing kunstmest</i>	-13,50 Pt	-13,50 Pt	-11,39 Pt	-12,77 Pt
<i>CO₂-vastlegging</i>	-3,16 Pt	-3,16 Pt	-2,61 Pt	-2,25 Pt
Overig	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
TOTAAL	-5,14 Pt	4,89 Pt	-6,89 Pt	11,42 Pt

Het verschil tussen de BMC-centrale en de biomassacentrale op hout komt grotendeels door de afzet van de pluimveemest als meststof. Het voordeel van thermische conversie bij BMC ten opzichte van verwerking bij de pluimveehouder en vergisten kan worden verklaard door de hogere elektriciteitsopbrengst.

De lagere emissies bij aanwenden en minder transport verklaren dat aanwenden mest in Nederland meer milieuvoordeel heeft dan aanwenden in Duitsland. Composteren heeft een hoger milieuvoordeel dan verkorrelen omdat de korrels over grote afstand worden getransporteerd (met name naar Azië).

Resultaten analyse milieuthema's

We hebben de milieuthema's die in één of meer van de acht routes minimaal 10% bijdragen aan totale milieu-impact verder onderzocht op midpoint-niveau. Dit zijn: klimaatverandering, menselijke toxiciteit, fijnstofvorming, mineralen/metalenuitputting en uitputting fossiele grondstoffen. Thermische verwerking bij BMC en de pluimveehouder en het bijstoken van pluimveemest in een biomassacentrale op hout zijn de enige routes die op alle midpoints een milieuvoordeel hebben. De andere routes hebben op één of meer midpoints een milieunadeel.

Resultaten gevoeligheidsanalyse

Voor elke route is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de onderdelen die meer dan 5% van de totale milieubelasting uitmaken. Voor BMC is gekeken naar 1% van de totale milieubelasting. Bij de gevoeligheidsanalyses hebben we ófwel de gemaakte aannames ófwel het jaar waarop de data betrekking hebben gevarieerd. De gevoeligheidsanalyse laat zien dat ondanks de gevoeligheden in de resultaten van de LCA vergelijkbaar blijven.



Naast deze gevoeligheidsanalyses hebben we ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de vermeden elektriciteit. Hieruit blijkt dat BMC Moerdijk bij volledige groene stroomlevering in Nederland een stuk minder milieuvoordeel zou opleveren. Zowel BMC als de pluimveehouder blijven nog wel een klein milieuvoordeel opleveren en zullen vergelijkbaar scoren als de routes direct aanwenden van mest in Nederland en composteren.

Conclusie LCA-studie: BMC, Pluimveehouder en Biomassacentrale hebben grootste milieuvoordeel

De LCA-studie laat zien dat de meest voordelige verwerkingsroutes vanuit milieuoogpunt zijn: thermische conversie bij BMC Moerdijk, bijstoken in een biomassacentrale en thermische conversie bij de pluimveehouder. Deze leveren op alle midpoints en in de single score een milieuvoordeel op. Vergisten van pluimveemest levert in de single score een milieuvoordeel op en ook op veel midpoints, behalve op fijnstofvorming. Daar heeft vergisten een milieubelasting door emissies uit het digestaat in de landbouw. De verwerkingsroutes die geen elektriciteit produceren hebben óf in de single score óf op een aantal midpoint-categorieën een (kleine) milieubelasting.

Het grootste milieuvoordeel in de basismodellering is te halen bij BMC Moerdijk. Deze route heeft op de single score en op de meeste midpoints het grootste milieuvoordeel. Dit kan anders kunnen zijn als de warmte bij de pluimveehouder of bij de biomassacentrale nuttig kan worden afgezet. Hierbij zijn echter veel onzekerheden, omdat beide routes nog niet (veel) gebruikt worden in Nederland. Een aanbeveling aan BMC Moerdijk is daarom ook om te onderzoeken of de warmte die wordt geproduceerd in de BMC-centrale kan worden afgezet.

Resultaten LCA-studie met systeemuitbreiding

Voor een beter begrip van de resultaten hebben we naast de basis-LCA (op basis van de substitutiemethode), een LCA-studie met systeemuitbreiding uitgevoerd. Hierbij zijn alle routes aangevuld, zodat de eindproducten vergelijkbaar zijn. Ook is een andere functionele eenheid gehanteerd: “De verwerking van 1 ton pluimveemest en de productie van 597 kWh elektriciteit, 14,4 kg eenjarig werkzame stikstof, 14,8 kg eenjarige werkzame fosfor (uitgedrukt als P_2O_5), 21 kg eenjarige werkzame kalium (uitgedrukt als K_2O) en 207 kg effectieve organische stof”.

De LCA met systeemuitbreiding laat zien dat de BMC-route de laagste milieubelasting heeft. Deze is dus vanuit milieuoogpunt het meest aantrekkelijk, net zoals in de basis-LCA.

Eindconclusie

BMC en Pluimveehouder meeste milieuvoordeel

Bij het combineren van beide onderdelen van de studie, de mineralenbalans en de LCA-studie, komen zowel de thermische conversie bij BMC als bij de pluimveehouder positief naar voren.

Bij deze routes gaan organische stof en stikstof verloren en worden omgezet in energie en verschillende soorten emissies. De grondstoffen fosfor en kalium zijn eindig, en dus belangrijk vanuit de gedachte van de circulaire economie en behoud van grondstoffen. Daardoor kan er voor gekozen worden om meer gewicht te geven aan de resultaten voor deze stoffen, ten opzichte van de resultaten voor (effectieve) organische stof of stikstof.

De thermische conversie van pluimveemest bij BMC komt er wat betreft behoud van kalium en fosfor evengoed uit als de andere routes.



De eenjarige werkzaamheid van fosfor (uitgedrukt als P_2O_5) kan zowel beter als slechter uitpakken (afhankelijk van de soort akkerbouw waar de pluimveemest as wordt toegepast).

Organische stof en stikstof zijn echter ook belangrijke elementen, want door de afname van bodemorganische stof en stikstof in de bodem, kan de productiviteit van landbouwgrond dalen. Deze stoffen kunnen echter ook worden aangevuld vanuit een andere bron. De LCA-studie met systeemuitbreiding geeft aan dat de combinatie van thermische verwerking van BMC en het aanvullen van organische stof en stikstof op een ander manier, bijvoorbeeld met kunstmest, nog steeds een milieuvoordeel oplevert.

Antwoord op de centrale vraag: BMC is milieukundig gezien aantrekkelijk

Deze studie heeft aangetoond dat het milieukundig gezien aantrekkelijk is om pluimveemest in de centrale van BMC in te zetten voor thermische conversie, als we dit vergelijken met acht andere routes voor het verwerken van pluimveemest. Indien bij de thermische conversie bij de pluimveehouder ook het grootste gedeelte van de warmte kan worden afgezet, is deze route milieukundig gezien het meest aantrekkelijk.



Summary

There are a range of options available for processing poultry litter. In the Netherlands over one-third is currently burned in the incinerator operated by BMC Moerdijk to generate electricity, with the ash being used as a fertilizer substitute. BMC Moerdijk commissioned CE Delft to assess the environmental impact of thermal conversion of the litter at their facility and compare it with that of eight alternative processing routes.

Methodology and scope

Core question

Does thermal conversion of poultry litter in the BMC facility have environmental benefits compared with eight other poultry litter processing routes?

Poultry litter composition

To ensure a fair comparison we assumed the same composition of litter feedstock in each of the routes; that of the mix currently processed at the BMC Moerdijk plant.

The functional unit adopted in the study is: processing of 1 metric ton of poultry litter as produced by Dutch poultry farmers consisting of 52% broiler chicken litter, 40% laying hen litter, 5% turkey litter and 3% manure-belt litter.

The routes

The following routes were assessed in this study:

Routes using poultry litter as an energy source and to produce a fertilizer substitute:

1. Thermal conversion at the **BMC Moerdijk** plant, generating electricity and marketing the ash as a fertilizer substitute (*reference route*).
2. Thermal conversion on a **poultry farm**, generating electricity and marketing the ash as a fertilizer substitute.
3. **Co-digestion** at a digestion plant in Germany, generating electricity and marketing the digestate as a fertilizer substitute.

Route using poultry litter as an energy source:

4. Co-firing in a **wood-fired biomass power plant**, generating electricity but without marketing the ash as a fertilizer substitute.

Routes using poultry litter as a fertilizer:

5. **Direct application** of the raw litter in the **Netherlands**.
6. **Direct application** of the raw litter in **Germany**.
7. **Composting**, exporting the compost for use as a fertilizer substitute abroad.
8. Composting and **granulation**, exporting the granulate for use as a fertilizer substitute abroad.
9. Composting and application for **mushroom-growing**.

Because of the paucity of information on the mushroom-growing route, this was not included in the comparison. For an indication, though, a qualitative analysis of this route was performed.



Methodology

The study was broken down into two parts. The first, the nutrient balance, considers the presence of nutrients and organic matter before and after processing. The second part is a life cycle assessment (LCA) using the ReCiPe methodology in which 18 environmental impacts were analysed.

Data quality

Wherever possible, data on poultry litter processing was obtained directly from poultry litter processors (primary data). For the BMC Thermal conversion route only primary data was used. For the three routes Thermal conversion on a poultry farm, Composting and Granulation this was largely the case. For the routes Digestion, Co-firing in a power plant, Direct application in the Netherlands and in Germany a modelling approach was adopted. Though inferior to the analysis based (largely) on primary data, this latter approach provides a solid order-of-magnitude estimate.

Results of nutrient balance

In the biomass plant all organic matter and nutrients are lost

The nutrient balance shows that in a wood-fired biomass power plant all the useful resources - organic matter, nitrogen, phosphorus (as P_2O_5) and potassium (as K_2O) - are lost. This means no products are yielded that can be used as a fertilizer substitute. The wood-fired biomass plant therefore scores negatively in terms of nutrient balance.

For the routes Thermal conversion at BMC/Poultry farm, Digestion, Direct application, Composting and Granulation the results of the nutrient balance are summarized for each resource individually.

Organic matter

With thermal conversion of poultry litter at BMC or on a poultry farm, all organic matter is lost and converted to energy. Less (effective) organic matter is therefore returned to the soil than in the routes Digestion, Direct application, Composting and Granulation.

Nitrogen

In all routes at least some of the nitrogen is lost, for varying reasons. With thermal conversion at BMC Moerdijk or on a poultry farm the nitrogen is lost entirely. As far as this nutrient is concerned, the other processing routes are therefore better, viz.: Digestion, Direct application, Composting and Granulation.

Phosphorus (as P_2O_5)

The amount of P_2O_5 in the end-product (poultry litter ash, digestate, raw litter, compost, granulate) per tonne of processed litter is the same in every route. The difference between the ash and the other end-products lies in the efficacy of the P_2O_5 . The efficacy of P_2O_5 in poultry litter ash varies from 37% to 100%, while in the other products it is around 70%. If the first year efficacy of P_2O_5 is less than 70%, then, less P_2O_5 becomes available within a year with thermal conversion of poultry litter than via the other routes.

Potassium (as K_2O)

The nutrient balance for potassium shows there is the same amount of K_2O in the end-product in every route.



Phosphorus and potassium are more important environmentally than organic matter and nitrogen

As phosphorus and potassium are finite resources, one may opt to attach greater weight to the results for these nutrients than to those for (effective) organic matter or nitrogen. Thermal processing of poultry litter at BMC scores just as well with respect to phosphorus and potassium as the other routes. The 1-year efficacy of phosphorus (as P_2O_5) can work out either better or worse, depending on the kind of arable regime in which the poultry litter ash is applied.

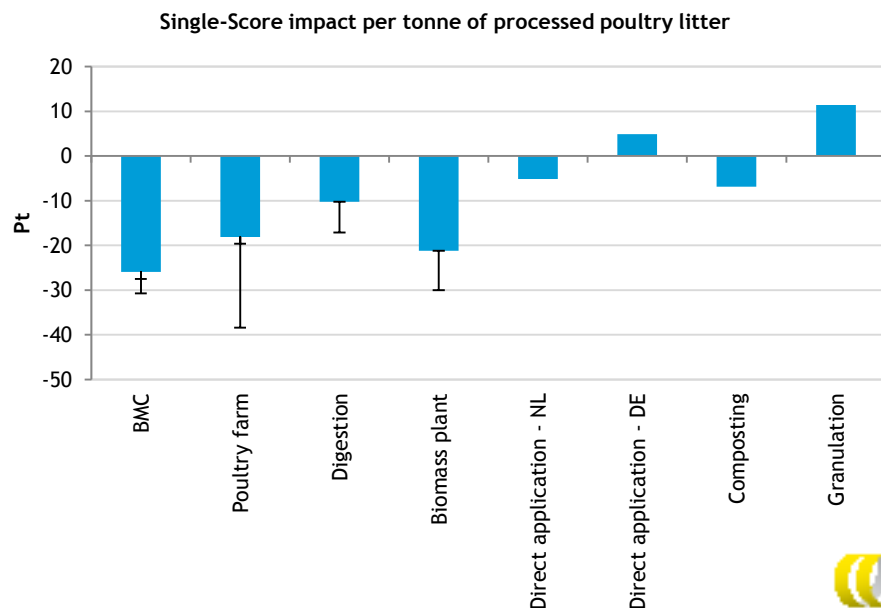
Results of LCA study

Figure 3 shows that all the routes with power generation have environmental benefits. These benefits are even greater if the heat output is also put to effective use (as indicated by the extended margin). If all the heat is used, thermal conversion on a poultry farm scores best, with the biomass plant and BMC Moerdijk sharing a second place in terms of environmental benefits. If heat is effectively utilized, digestion ranks fourth.

If the heat cannot be used, thermal processing of poultry litter at the BMC plant is best for the environment, with the biomass plant ranking second, the poultry farm option third and digestion fourth.

All the routes generating no electricity or heat have an environmental impact or only minor environmental benefits.

Figure 3 Total environmental impact (Single-Score) per tonne of processed poultry litter



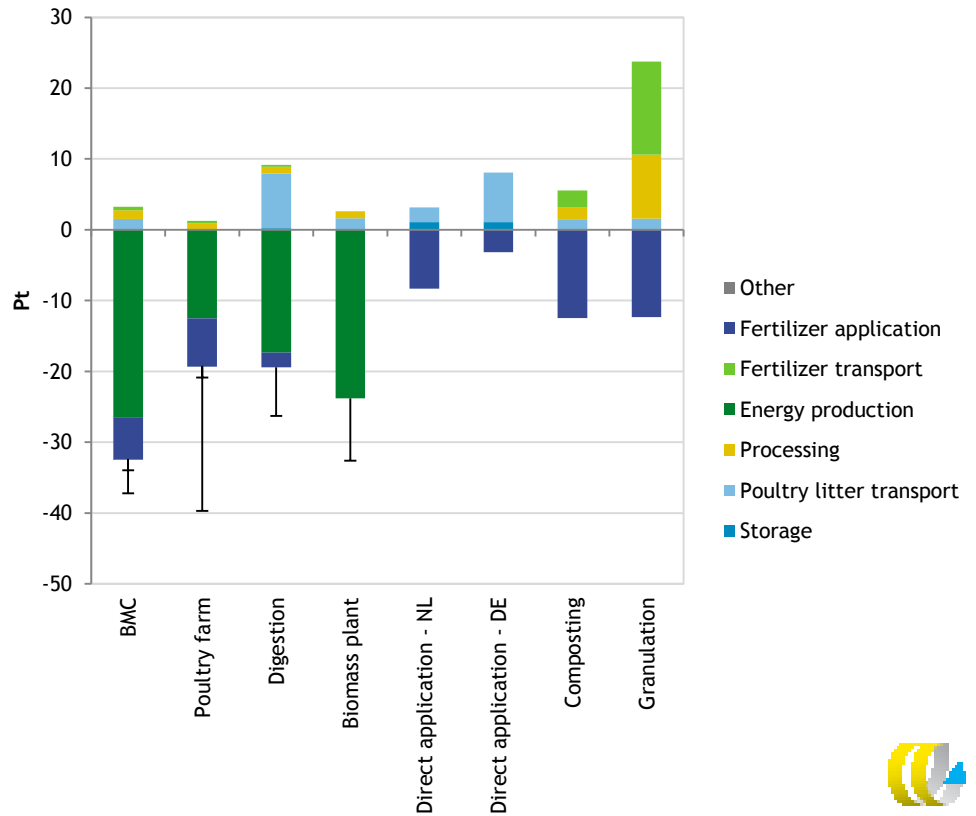
The double margin represents partly the higher value of 1-year P_2O_5 efficacy in poultry litter ash (the upper part of the margin) and partly the marketing of heat. A negative score, below the x-axis, indicates there is no environmental burden but rather a positive environmental impact.



Results of contribution analysis

The eight routes differ in their positive and negative environmental impacts. These are summarized in Figure 4, which identifies the share of the individual processing steps in each route and thus the source of the differences in the Single-Score impact.

Figure 4 Contribution analysis of Single-Score impact per tonne of processed poultry litter



The double margin represents partly the higher value of 1-year P_2O_5 efficacy in the poultry litter ash (the upper section) and partly the marketing of heat.

The precise figures per category in the contribution analysis are reported in Tables 3 and 4.

Table 3 Single-Score results, Routes 1-4

	BMC	Poultry farm	Digestion	Biomass plant
Storage emissions	N.a.	N.a.	0.21 Pt	N.a.
Poultry litter transport	1.54 Pt	0 Pt	7.71Pt	1.61 Pt
Process emissions	1.20 Pt	0.92 Pt	0.97 Pt	1.01 Pt
<i>Direct emissions</i>	0.57 Pt	0.56 Pt	0.97 Pt	0.54 Pt
<i>Auxiliaries</i>	0.62 Pt	0.36 Pt	0 Pt	0.38 Pt
<i>Waste disposal</i>	0 Pt	0 Pt	N.a.	0.09 Pt
Energy production	-23.25 to -26.49 Pt	-12.49 to -31.32 Pt	-17.33 - to -31.05	-23.82 to -32.63 Pt
<i>Heat</i>	0 to -3.24 Pt	0 to -18.83 Pt	0 to -6.86	0 to -8.81 Pt
<i>Electricity</i>	-23.25 Pt	12.49 Pt	-17.33	-23.82 Pt
Fertilizer transport	0.52 Pt	0.22 Pt	0.26 Pt	N.a.
Fertilizer application	-5.99 to -10.74 Pt	-6.68 Pt to -8.38 Pt	-2.08 Pt	N.a.
<i>Direct emissions</i>	0 Pt	0 Pt	13.40 Pt	N.a.
<i>Fertilizer savings</i>	-5.99 to -10.74 Pt	-6.68 Pt to -8.38 Pt	-13.57 Pt	N.a.
<i>Carbon sequestration</i>	N.a.	N.a.	-1.92 Pt	N.a.
Other	0 Pt	N.a.	N.a.	N.a.
TOTAL	-25.98 to - 33.97 Pt	-18.10 to -38.45 Pt	-10.26 to -17.12 Pt	-21.19 to -30.00 Pt

Table 4 Single-Score results, Routes 5-8

	Direct applic. - NL	Direct applic. - DE	Composting	Granulation
Storage emissions	1.06 Pt	1.06 Pt	0 Pt	0 Pt
Poultry litter transport	2.10 Pt	7.01 Pt	1.40 Pt	1.58 Pt
Process emissions	N.a.	N.a.	1.81 Pt	9.02 Pt
<i>Direct emissions</i>	N.a.	N.a.	1.75 Pt	2.48 Pt
<i>Auxiliaries</i>	N.a.	N.a.	0.06 Pt	6.54 Pt
<i>Waste disposal</i>	N.a.	N.a.	N.a.	N.a.
Energy production	N.a.	N.a.	N.a.	N.a.
<i>Heat</i>	N.a.	N.a.	N.a.	N.a.
<i>Electricity</i>	N.a.	N.a.	N.a.	N.a.
Fertilizer transport	N.a.	N.a.	2.35 Pt	13.13 Pt
Fertilizer application	-8.30 Pt	-3.18 Pt	-12.45 Pt	-12.32 Pt
<i>Direct emissions</i>	8.37 Pt	13.49 Pt	1.55 Pt	2.70 Pt
<i>Fertilizer savings</i>	-13.50 Pt	-13.50 Pt	-11.39 Pt	-12.77 Pt
<i>Carbon sequestration</i>	-3.16 Pt	-3.16 Pt	-2.61 Pt	-2.25 Pt
Other	N.a.	N.a.	N.a.	N.a.
TOTAL	-5.14 Pt	4.89 Pt	-6.89 Pt	11.42 Pt

The difference between the performance of the BMC facility and the wood-fired biomass plant derives mainly from use of the poultry litter ash as a fertilizer. The benefit of thermal processing at BMC over direct processing on a poultry farm and digestion is due to the higher electricity output.



The lower emissions during field application and a lower transport distance explain why direct application in the Netherlands scores better environmentally than application in Germany. Composting is environmentally better than granulation because the granulate must be transported further (to Asia in particular).

Results of analysis of environmental themes

The environmental themes contributing at least 10% to the total impact in one or more of the eight routes were examined further at midpoint level. These are: climate change, human toxicity, particulate emissions, depletion of mineral resources and depletion of fossil fuel. Thermal processing at BMC and on a poultry farm and co-firing in a wood-fired biomass plant are the only routes with environmental benefits on all these midpoints. The other routes have environmental drawbacks on one or more midpoints.

Results of sensitivity analysis

For each route a sensitivity analysis was carried out for themes contributing over 5% to the total environmental burden. For BMC this threshold was taken as 1% of the total burden. In this analysis we varied either the assumptions made or the year to which the data referred. The sensitivity analysis shows that despite the sensitivities the LCA results remain essentially unchanged.

Besides these sensitivity analyses we also performed a sensitivity analysis with respect to substituted electricity. The results show that the BMC Moerdijk route would score rather worse environmentally if the Netherlands' electricity system was 100% renewable. Both the BMC and poultry farm route still retain a slight environmental edge, but are then comparable with direct application of the litter in the Netherlands and composting.

Conclusion of LCA: BMC, poultry farm and biomass plant score best environmentally

The LCA shows that the processing routes with the least environmental impact are: thermal conversion at BMC Moerdijk, co-firing in a biomass plant and thermal conversion on a poultry farm. These have environmental benefits on all midpoints as well as in the Single Score. Litter digestion has benefits in the Single Score and on many midpoints, apart from the particulate emissions deriving from use of digestate as a farm fertilizer. The processing routes in which no electricity is generated have a (low) environmental impact either in the Single Score or on several midpoint categories.

In the basic model the greatest environmental benefits are associated with the BMC Moerdijk route, both on the Single Score and on most midpoints. This may pan out differently if the heat generated on a poultry farm or at the biomass plant can be effectively utilized. This is far from clear, though, as neither route is (yet) commonly used in the Netherlands. One recommendation for BMC Moerdijk is therefore to investigate whether the heat produced at the BMC facility can be marketed.

Results of the LCA study with system expansion

For more insight into the results, in addition to the basic LCA (using the substitution method) we also carried out an LCA with 'system expansion' in which all the routes were augmented to make the end-products comparable and a different functional unit was employed, as follows: "Processing of 1 metric ton of poultry litter and production of 597 kWh electricity, 14.4 kg 1-year available nitrogen, 14.8 kg 1-year available phosphorus (as P₂O₅), 21 kg 1-year available potassium (as K₂O) and 207 kg effective organic matter".



The LCA with system expansion shows that the BMC route has the least environmental burden, thus confirming the results of the basic LCA.

Final conclusion

The BMC and poultry farm routes score best environmentally

When the two parts of the study are combined - the nutrient balance and the LCA - thermal conversion at BMC and on a poultry farm both score positively in environmental terms.

In both routes organic matter and nitrogen are lost and converted to energy and various types of emission. Phosphorus and potassium are finite resources and therefore important from the perspective of a circular economy and resource conservation. For this reason it might be opted to attach greater weight to the results for these elements than to those for (effective) organic matter and nitrogen. In terms of conservation of phosphorus and potassium, thermal conversion of poultry litter at BMC scores just as well as the other routes.

The 1-year efficacy of phosphorus (as P_2O_5) can work out either better or worse, depending on the kind of arable regime in which the poultry litter ash is applied.

Organic matter and nitrogen are also important, though, because loss of soil organic matter and nitrogen can lower farmland productivity. These can both be replenished from other sources, however. The LCA study with system expansion indicates that the combination of thermal processing at BMC and replenishment of organic matter and nitrogen using artificial fertilizer or from other sources still yields a net environmental benefit.

Answer to the core question: BMC is environmentally beneficial

This study has shown that it is environmentally beneficial to process poultry litter in the BMC plant by means of thermal conversion when this is compared with eight other poultry litter processing routes. If thermal conversion on a poultry farm can be combined with effective use of most of the heat, this route scores best environmentally.



1 Inleiding

Het doel van deze levenscyclusanalyse (LCA-studie) is het inzichtelijk maken van de milieueffecten van thermische conversie van pluimveemest bij BMC Moerdijk, waarbij elektriciteit wordt opgewekt en de as wordt ingezet als kunstmestvervanger. Onderdeel van de studie is de vergelijking met acht andere routes voor de verwerking van pluimveemest. In deze studie kijken we zowel naar de mineralenbalans als naar alle relevante milieueffecten middels een LCA-analyse volgens de ReCiPe-methodiek.

De centrale vraag in de studie is of het milieukundig gezien aantrekkelijk is om pluimveemest in de centrale van BMC Moerdijk in te zetten voor thermische conversie, in vergelijking met acht andere routes voor het verwerken van pluimveemest.

Hoofdstuk 2 beschrijft de methodiek en afbakening voor deze studie. De dataverzameling (inventarisatie) wordt voor alle negen routes beschreven in Hoofdstuk 3.

We geven inzicht in de milieueffecten via drie onderdelen:

1. Een mineralenbalans (Hoofdstuk 4).
2. Een LCA-studie (Hoofdstuk 5 en 6).
3. Een LCA-studie met systeemuitbreiding (Hoofdstuk 7).

Tot slot beschrijven we de conclusies en aanbevelingen (Hoofdstuk 8)

Over BMC

BMC Moerdijk is een initiatief van ruim 600 pluimveehouders en is sinds 2008 operationeel. Jaarlijks produceert BMC Moerdijk 285 GWh hernieuwbare elektriciteit en 60 kton pluimveemestas (PK-meststof) door de thermische conversie van 430 kton pluimveemest. BMC Moerdijk verwerkt 35% van alle in Nederland beschikbare pluimveemest.

BMC Moerdijk is eigendom van drie aandeelhouders:

- Coöperatie DEP, waarbij ruim 600 pluimveehouders zijn aangesloten. De coöperatie is opgericht om de aanvoer van brandstof, pluimveemest, naar de centrale in Moerdijk te verzorgen en te garanderen. Via DEP participeren de aangesloten pluimveehouders ook financieel in BMC Moerdijk.
- De Zuidelijke Land- en Tuinbouworganisatie (ZLTO), een organisatie voor ondernemers in Noord-Brabant, Zeeland en Zuid-Gelderland. De organisatie ondersteunt haar leden bij het realiseren van een duurzame positie in markt en maatschappij. Via NCB Participaties, de investeringsmaatschappij van ZLTO, werkt deze organisatie aan de versterking van de positie van de Nederlandse land- en tuinbouw in de wereld.
- DELTA Energy, een energiebedrijf dat gas en elektriciteit produceert en levert.



2 Methodiek

2.1 Doel en doelgroep

Doel

Het doel van deze studie is het zichtbaar maken van de milieueffecten van de thermische conversie van pluimveemest bij BMC Moerdijk, waarbij elektriciteit wordt opgewekt en de as wordt ingezet als kunstmestvervanger.

Onderdeel van de studie is de vergelijking met acht alternatieve routes voor de verwerking van pluimveemest. In deze studie kijken we zowel naar de mineralenbalans als naar alle relevante milieueffecten middels een LCA-analyse volgens de ReCiPe-methodiek.

De centrale vraag in de studie is of het milieukundig gezien aantrekkelijk is om pluimveemest in de centrale van BMC in te zetten voor thermische conversie, als we dit vergelijken met acht andere routes voor het verwerken van pluimveemest.

Doelgroep

Met deze studie wil BMC haar stakeholders zoals aandeelhouders, regionale en (inter)nationale overheden, pluimveehouders en niet-gouvernementele organisaties informeren.

2.2 ISO-standaard

CE Delft houdt zich bij de uitvoer van een LCA-studie aan de regels voor goede uitvoer van een LCA volgens ISO 14040/44 (de ISO-standaard voor LCA).

Met de resultaten van de studie wil BMC voornamelijk zelf gevoel krijgen voor de verschillen tussen de routes. Daarnaast wil BMC met de resultaten in gesprek gaan met haar stakeholders. Een rapport dat volledig is opgesteld conform de ISO 14040/44-richtlijn is hiervoor niet noodzakelijk. Voor het gesprek met de stakeholders is het duidelijker om de milieueffecten om te rekenen naar de milieuschade die ontstaat, en de verschillende onderdelen bij elkaar op te tellen tot één eindscore. Dit is mogelijk met de ReCiPe single score (Zie Paragraaf 5.1 en H.1), ook wel endpoint-niveau genoemd. Onder ISO 14040/44 wordt het afgeraden om in vergelijkende studies te werken met een gewogen single score. Op dit punt wordt dus afgeweken van de ISO 14040/44-richtlijn.

Een vergelijkende LCA volgens de ISO 14040/44-richtlijn moet worden gereviewed door een panel van minimaal drie partijen. Bij deze studie is ervoor gekozen om een review door één partij te laten uitvoeren, namelijk Blonk Consultants. Ook op dit punt wordt dus afgeweken van de ISO 14040/44-richtlijn.

Voor de route die in deze studie centraal staat, namelijk de verwerking van pluimveemest bij BMC, is de analyse niet alleen op endpoint-niveau uitgevoerd, maar ook op midpoint-niveau (zie Paragraaf 5.2). Dit is conform de ISO-richtlijn.



De LCA-studie is dus uitgevoerd conform de door ISO aanbevolen manier van werken, voor zover dit aansluit bij het doel van de studie. Daarnaast geeft deze studie extra inzicht door de verschillende milieueffecten ook te wegen volgens de veel gebruikte ReCiPe-methode.

2.3 Functie en functionele eenheid

Deze studie omvat de volgende functie: verwerking van pluimveemest die vrijkomt in de pluimveehouderij in Nederland¹. De functionele eenheid die we hanteren is de verwerking van 1 ton pluimveemest, met de samenstelling zoals aangegeven in Box 1.

Deze functionele eenheid is gebaseerd op de mestsamenstelling van de mest die als invoer dient voor BMC.

Box 1 Functionele eenheid

Verwerking van 1 ton pluimveemest, die vrijkomt bij pluimveehouders in Nederland waarvan 52% bestaat uit vleeskuikenmest, 40% strooiselstalmest, 5% kalkoenenmest en 3% bandenmest.

Voor een eerlijke vergelijking is in deze studie bij alle routes uitgegaan van dezelfde functionele eenheid. De precieze minerale samenstelling voor deze functionele eenheid is terug te vinden in Tabel 5. Het droge stofgehalte van deze mest, zonder verdere bewerking, is 57%

Tabel 5 Minerale samenstelling functionele eenheid

	Kg/ton mest
Organische Stof, OS	458
Effectieve Organische Stof, EOS	161
N	26
P ₂ O ₅	21
K ₂ O	21

In werkelijkheid is het zo dat verschillende mestsoorten via verschillende routes worden verwerkt. Zo wordt vleeskuikenmest in het algemeen gecomposteerd of verwerkt door BMC. Verkorrelen is bij dit type mest niet waarschijnlijk door de eigenschappen van de mest. Nagedroogde leghennenmest is juist wel erg geschikt om te verkorrelen. In de toekomst zullen hoogstwaarschijnlijk specifieke mestsoorten in specifieke routes worden verwerkt (ZLTO, 2016).

Maar in deze studie wordt dus voor alle routes uitgegaan van 1 ton pluimveemest, met de samenstelling zoals in Box 1 en Tabel 5 is gegeven.

¹ Hierbij wordt niet gekeken naar de pluimveemest die vrijkomt in de biologische pluimveehouderij.



2.4 Routes

De routes die in deze studie aan bod komen zijn routes waarbij pluimveemest wordt ingezet als energiebron en routes waarbij pluimveemest direct als meststof wordt ingezet. Ook zijn er routes waarin pluimveemest wordt ingezet voor de combinatie van energiebron en meststof.

Routes voor de inzet van pluimveemest als energiebron en als meststof:

1. Thermische conversie bij BMC Moerdijk, met elektriciteitsopwekking en inzet as als kunstmestvervanger (*dit is de centrale route die wordt vergeleken met onderstaande routes*).
Aangeduid met **BMC**
2. Thermische conversie in een centrale op het terrein van de pluimveehouder, met elektriciteitsopwekking en inzet als kunstmestvervanger.
Aangeduid met **Pluimveehouder**
3. Meevergisten in een vergistingscentrale in Duitsland, met elektriciteitsopwekking en afzet digestaat als kunstmestvervanger.
Aangeduid met **Vergisten**

Route voor de inzet van pluimveemest als energiebron:

4. Bijstoken in een biomassacentrale op hout, met elektriciteitsopwekking, zonder afzet van de as als kunstmestvervanger.
Aangeduid met **Biomassacentrale**

Routes voor de inzet van pluimveemest als meststof:

5. Directe aanwending ruwe mest in Nederland.
Aangeduid met **Mest Aanwenden - NL**
6. Directe aanwending ruwe mest in Duitsland.
Aangeduid met **Mest Aanwenden - DE**
7. Composteren - export naar buitenland, met inzet compost als kunstmestvervanger.
Aangeduid met **Composteren**
8. Composteren en verkorrelen - export naar buitenland, met inzet pluimveemestkorrels als kunstmestvervanger.
Aangeduid met **Verkorrelen**
9. Composteren en aanwending voor champignonenteelt.
Aangeduid met **Champignonteelt**

Realiteit van de routes

Drie van de bovenstaande verwerkingsroutes worden daadwerkelijk in praktijk gebracht met de pluimveemest die door BMC wordt gebruikt. Het gaat hierbij uiteraard om de thermische conversie bij BMC Moerdijk (route 1), maar ook om de directe aanwending van ruwe mest in Nederland (route 5) en in Duitsland (route 6).

Vier andere verwerkingsroutes worden ook daadwerkelijk in praktijk gebracht. Pluimveemest wordt in Nederland gecomposteerd (route 7 en 9) en verkorreld (route 8). In Groningen is een installatie waar vleeskuikenmest wordt vergist. In Duitsland vindt vergisting op grotere schaal plaats. Nederlandse mest wordt dan getransporteerd. In deze studie gaan we uit van vergisting in Duitsland (route 3).

Twee routes worden momenteel niet in Nederland in praktijk gebracht. Pluimveemest wordt op dit moment niet bijgemengd voor verbranding in biomassacentrales gestookt op hout (route 4).



Het is economisch niet aantrekkelijk maar technisch wel mogelijk. Daarom hebben we deze route toch meegenomen in de studie. Voor het bijmengen van een ton pluimveemest in een biomassacentrale, wat we in deze studie hebben onderzocht, zijn we uitgegaan van de kengetallen van bestaande biomassasystemen.

Pluimveemest wordt op dit moment in Nederland ook niet gebruikt voor thermische conversie op het terrein van de pluimveehouder (route 2). Deze verwerkingsmethode wordt veel toegepast in Ierland en het Verenigd Koninkrijk. Er is in Nederland één pluimveehouder in Drenthe die werkt aan de opzet van dit systeem (Dagblad van het Noorden, 2015), maar deze is momenteel nog niet in bedrijf. Onze modellering is gebaseerd op de technologie van BHSL; het systeem voor thermische conversie dat momenteel in gebruik is in Ierland en het Verenigd Koninkrijk.

2.5 Systemegrenzen

In onderstaande paragrafen wordt de afbakening die gebruikt wordt voor alle routes beschreven. De precieze systemegrenzen per route zijn te vinden in Bijlage A.

Substitutiemethode

Door de productie van elektriciteit, warmte en meststof kan primaire productie worden vermeden. We maken gebruik van de substitutiemethode waarbij evenredig veel product wordt vervangen als wordt geproduceerd.

We gaan bij substitutie van elektriciteit uit van de gemiddelde mix van het Nederlands energiegebruik. Deze gemiddelde mix is gebaseerd op de Nederlandse energiemix in 2013 (CE Delft, 2014). Dit is de meest recente data die beschikbaar is. Sinds 2013 is de Nederlandse energiemix iets veranderd.

Voor de vervanging van kunstmest wordt in het geval van tripelsuperfosfaat en kaliumsulfaat gerekend met proceskaarten uit de Ecoinvent 3-database. Voor de vervanging van kalkammonsalpeter (KAS) wordt gerekend met een aanpassing van de KAS zoals deze wordt geproduceerd bij OCI Nitrogen en weergegeven in de Agri-footprint-database (Blonk Agri-footprint B.V., 2015). Een toelichting van deze keuze voor KAS en de toegepaste aanpassing is te vinden in Bijlage B. Bij de vervanging gaan we ervan uit dat het transport gelijk is aan het marktgemiddelde, zoals is opgenomen in de Ecoinvent 3-database.

Dierlijk productiesysteem vóór het vrijkomen van de mest

In deze studie worden de relevante milieueffecten meegenomen vanaf het moment dat de pluimveemest vrijkomt bij de pluimveehouder. Het dierlijke productiesysteem waaruit de mest afkomstig is, is geen onderdeel van de studie. De reden is dat dit productiesysteem voor alle routes gelijk is als er wordt uitgegaan van eenzelfde samenstelling van de verwerkte pluimveemest in alle routes (namelijk de functionele eenheid met 52% vleeskuikenmest, 40% strooiselstalmest, 5% kalkoenmest en 3% mestbandmest).

Opslag van pluimveemest bij pluimveehouder

De pluimveemest wordt bij pluimveehouders tijdelijk opgeslagen. Deze opslag wordt buiten beschouwing gelaten als hij korter duurt dan twee weken. Alle emissies uit opslag die langer duurt dan twee weken worden wel meegenomen.



Drogen van de pluimveemest

In deze studie valt het drogen van de pluimveemest bij de pluimveehouder niet binnen de systeemgrenzen. Het is weliswaar zo dat de aandacht voor mestkwaliteit (en daarmee de aandacht voor drogen) in dezelfde periode is ontstaan als de start van de BMC-centrale, toch is de start van BMC niet de enige reden dat pluimveehouders (extra) drogen. Sinds 2010 nemen niet alleen de pluimveehouders die aan BMC leveren maatregelen voor het drogen van mest, maar ook pluimveehouders die hun mest direct aanwenden of een andere route kiezen.

Een pluimveehouder investeert in mestdroging vanwege diverse redenen:

1. De marktvraag naar droge pluimveemest neemt toe:
 - a Mest wordt gebruikt als brandstof voor herwinbare energie, waarbij het overblijvende as wordt ingezet als waardevolle meststof (BMC).
 - b Wereldwijd is er een sterk toenemende vraag naar organische mineralen. Pluimveemest met meer dan 80% droge stof is voor een pluimveehouder zelfs een inkomstenbron.
2. Transport van mest met veel water is duur.
3. De emissie van ammoniak wordt beperkt door het drogen.
4. Bij nadroging d.m.v. een droogtunnel of warmtewisselaar wordt de emissie van fijnstof beperkt.
5. Door drogen verbetert het staklimaat.
6. Door drogere mest verbetert het welzijn van met name vleeskuikens en kalkoenen.

Te zien is dat houders van vleeskuikens en kalkoenen over het algemeen drogen door ruimtelijke ventilatie toe te passen. Ook verlagen zij het vochtgehalte van de mest door bedrijfsmanagement maatregelen, zoals het optimaliseren van het voer en het drinkwatersysteem. Dit leidt over het algemeen tot energiebesparing. Ook initiatieven zoals het Beter Leven Keurmerk waarbij minder dieren per m² gehouden worden, zorgen voor de verbetering van de mestkwaliteit en het klimaat in de stal.

Leghennenhouders hebben veelal geïnvesteerd in een nadrooginstallatie die mest tot een droge stofgehalte van 90% kan drogen. De stimuleringsmaatregel die door DEP is ingesteld, namelijk een bonus/malusregeling waarbij de pluimveehouder 7,50 euro per ton pluimveemest van betere kwaliteit ontvangt, heeft een minimale bijdrage gehad in de toepassing van drogers. De twee voornaamste redenen voor pluimveehouders om de mest extra te gaan drogen zijn:

- De wettelijke grenzen die gesteld zijn aan ammoniakemissie. Het bouwen van een mestdroger is één van de oplossingen om binnen de wettelijke grenzen te blijven.
- De kostenbesparing die wordt gerealiseerd door het lagere transportgewicht, als gevolg van een hoger droge stofgehalte.

We kunnen concluderen dat het (in)direct drogen van mest in de gehele pluimveesector wordt toegepast. Of en in welke mate energiegebruik hiermee gepaard gaat is met name afhankelijk van het type mest. In deze studie gaan we voor alle routes uit van één ton pluimveemest, bestaande uit 52% vleeskuikenmest, 40% strooisel-stalmest, 5% kalkoenenmest en 3% mestbandmest. We kunnen er daarom vanuit gaan dat gemiddeld het energiegebruik voor drogen bij alle routes gelijk is. Daarom kan dit buiten de systeemgrenzen worden gehouden (Coöperatie Duurzame Energieproductie Pluimveehouderij (D.E.P), 2010); (BMC Moerdijk, 2016b); (ZLTO, 2016).



2.6 Milieueffectcategorieën

Deze studie bestaat uit twee delen. In het eerste deel, de mineralenbalans, komt de aanwezigheid van mineralen en organische stof voor én na het verwerkingsproces aan bod. Het tweede deel bestaat uit een levenscyclusanalyse (LCA), waarbij 18 milieueffecten worden geanalyseerd. In de volgende alinea benoemen we de 18 milieueffecten die de LCA berekent. Daaronder geven we uitleg waarom het noodzakelijk is om naast de LCA ook een mineralenbalans toe te voegen.

Milieueffectcategorieën LCA

De levenscyclusanalyse wordt uitgevoerd met de analysemethode ReCiPe (Goedkoop, et al., 2013), die in Europa veel wordt toegepast. Voor een toelichting op de ReCiPe-methodiek zie Bijlage C. In deze studie gebruiken we ReCiPe Endpoint (H), Europe H/A en ReCiPe Midpoint (H), Europe met de volgende milieueffectcategorieën (op midpoint-niveau):

- climate change;
- ionising radiation;
- ozone depletion;
- terrestrial acidification;
- human toxicity;
- photochemical oxidant formation;
- particulate matter formation;
- eutrophication (marine and freshwater);
- ecotoxicity (terrestrial, fresh water, marine);
- land occupation (agricultural and urban);
- natural land transformation;
- water depletion;
- metal depletion;
- fossil depletion.

Verlies mineralen en organische stof

In de LCA-methodiek wordt de uitputting van grondstoffen wel meegenomen in de schaarste van water, metaal en fossiele grondstoffen. Echter de invloed die de uitputting van grondstoffen heeft op de menselijke gezondheid en ecosystemen wordt niet meegenomen. Dit terwijl de uitputting van grondstoffen die belangrijk zijn voor de bodemvruchtbaarheid (zoals mineralen en organische stof) wel degelijk invloed kan hebben op de milieuschade in deze categorieën. Kortom de landbouwkundige waarde van grondstoffen wordt niet meegenomen in een LCA.

Om deze waarde wel zichtbaar te kunnen maken is een mineralenbalans opgesteld, die inzicht geeft in het verlies van mineralen en organische stof per route. Zo kunnen we een kwalitatief oordeel geven over de gevolgen van dit verlies voor de menselijke gezondheid en ecosystemen nu en in de toekomst.

2.7 Methode LCA - overige afbakening

Analyse methode - attributionele analyse

In deze studie hebben we een attributionele LCA-analyse uitgevoerd. Dit betekent dat we kijken naar alle ingrepen die nodig zijn om 1 ton pluimveemest van een bepaalde samenstelling te verwerken en dat systeemveranderingen geen onderdeel zijn van de analyse.



BMC Moerdijk verwerkt jaarlijks ongeveer 430 kton mest. Indien er gekozen zou zijn voor een consequentiële analyse, zou de verwerking van deze grote hoeveelheid en de consequenties van een verandering in verwerkingsmethode per route moeten worden meegenomen. Dan wordt gekeken naar een systeemverandering, waarbij veel aannames moeten worden gedaan. Om een heldere vergelijking te maken, zonder onzekere aannames voor de consequenties van het verwerken van grote hoeveelheden, is in deze studie gekozen voor een attributionele analyse.

Een voorbeeld: bij de biomassacentrale zou bij een consequentiële analyse rekening moeten worden gehouden met het gegeven dat 5 tot 10% pluimveemest kan worden bijgemengd. Voor de verwerking van 430 kton mest zou capaciteitsuitbreiding (meer biomassacentrales) nodig zijn. Dat zou dan ook onderdeel van de studie uitmaken.

Kort samengevat: in deze analyse wordt niet gekeken wat er zou gebeuren als de gehele ingaande stroom pluimveemest van BMC Moerdijk zou worden ingezet in de andere routes.

Wel wordt er bij het afzetten van de mestproducten (ruwe mest, pluimveemestas, compost, pluimveemestkorrels, digestaat en spuiwater) gekeken naar de markt waarin deze wordt afgezet.

Allocatie

Allocatie is het verdelen van de impact van processen over verschillende producten. Als een proces meerdere eindproducten heeft, moet de bedrijfsvoering deels naar Product A en deels naar Product B worden toegerekend. Zo zou je bij BMC Moerdijk een gedeelte van de bedrijfsvoering kunnen toekennen aan de elektriciteitsproductie en een gedeelte aan de as.

Allocatie is beperkt een issue in deze studie. Als verschillende stromen in dezelfde installatie worden verwerkt, wordt de bedrijfsvoering toegerekend aan de verschillende inputstromen. Dit is aan de orde bij het bijstoken van pluimveemest in een biomassacentrale op hout, bij composteren van pluimveemest en bij het co-vergisten van pluimveemest. Allocatie betekent hier concreet dat alleen de emissies van de verwerking van pluimveemest zichtbaar worden gemaakt in deze studie. De emissies door het verwerken van hout in de biomassacentrale en de emissies van de bijgemengde materialen tijdens het composteren of co-vergisten worden niet meegenomen.

Allocatie gebeurt op basis van fysieke relaties, waarbij we outputs, bijvoorbeeld emissies, bepalen op basis van de fysieke kenmerken van de stroom. Een paar voorbeelden: bij het berekenen van de elektriciteitsproductie wordt gekeken naar de stookwaarde van de individuele stromen. Bij het bepalen van emissies wordt gekeken naar de samenstelling (C, N, S, etc.) van de stromen.

Cut-off

In een LCA worden bepaalde zaken buiten beschouwing gelaten omdat de invloed op het resultaat beperkt is. Dit wordt cut-off genoemd.

In deze LCA-studie worden de micronutriënten en zware metalen die in de eindproducten aanwezig zijn en in de bodem terechtkomen, buiten beschouwing gelaten. Deze keuze is gemaakt omdat de hoeveelheid aanwezige micronutriënten en zware metalen vergelijkbaar is in de verschillende eindproducten.



Bijlage D geeft een toelichting. Emissies (naar lucht) van cadmium (Cd), kwik (Hg), alsook andere emissies zijn wel opgenomen in de analyse van de milieupact van BMC Moerdijk en de andere verbrandingsroutes.

In deze LCA-studie wordt de uitspoeling van fosfaat uit landbouwgrond van de verschillende eindproducten niet meegenomen. De fosfaatuitspoeling is gerelateerd aan de omgevingsfactoren zoals de verzadiging van de bodem en het reliëf van het landbouwgebied en niet zozeer van het meststoftype. Vanwege de complexiteit is dit niet meegenomen in dit onderzoek.

De kapitaalgoederen, zoals de aanwezige infrastructuur en het gebruik van machines en installaties, zijn niet meegenomen in deze studie. Concreet betekent dit dat bijvoorbeeld de bouw van centrales niet is meegenomen. In een LCA worden kapitale goederen meegenomen binnen de systeemgrenzen wanneer ze een significante bijdrage leveren aan de milieuprestaties van de functionele eenheid. In deze studie zijn er verschillen in de hoeveelheid kapitaalgoederen die per route worden gebruikt. De inschatting is echter dat de bijdrage laag zal zijn per ton pluimveemest.

2.8 Methode mineralenbalans

Voor het opstellen van de mineralenbalans is gekeken welke producten voortkomen uit de verschillende verwerkingsroutes van pluimveemest, die zijn beschreven in Paragraaf 2.4 en 2.5. Deze producten kunnen dienen als kunstmestvervanging. Voor elke verwerkingsroute en de daaruit voortkomende producten, is uitgegaan van de samenstelling van de pluimveemest zoals weergegeven in de functionele eenheid in Paragraaf 2.2. Voor de routes waarbij mest direct wordt aangewend is de ingaande stroom gelijk aan het daaruit voortkomende product.

Voor elk van de producten is onderzocht wat de minerale samenstelling is en wat de werkzaamheid van de mineralen is. De methoden voor het bepalen van de samenstelling en werkzaamheid zijn terug te vinden in het rapport 'Landbouwkundige waarde (on)bewerkte pluimveemest', geschreven door het NMI (NMIa, 2016).

Aan de hand van deze gegevens zijn massabalansen opgesteld voor N, P, K en organische stof. Ook is de mogelijke kunstmestvervanging bepaald.

2.9 Gebruikte software en databases

Bij de uitvoer van deze studie is gebruikt gemaakt van:

- LCA-softwareprogramma SimaPro, versie 8.1.0;
- Ecoinvent-database 3.1, recycled content (Ecoinvent, 2014).

SimaPro is één van de meest gebruikte LCA-softwareprogramma's, waarin diverse databases en methodes zijn geïntegreerd. Deze software stelt onderzoekers in staat om een LCA uit te voeren.

LCA bestaat uit vier stappen:

1. Vaststelling van doel en reikwijdte.
2. Inventarisatie.
3. Effectbeoordeling.
4. Interpretatie.



In de eerste stap bepaald de onderzoeker in samenspraak met de opdrachtgever wat de scope van het onderzoek is. Voor dit onderzoek is dat beschreven in Hoofdstuk 2.

Bij de inventarisatie fase definieert de onderzoeker welke emissies, materialen en energie er gepaard gaan met het onderwerp van de studie (zie de Inventarisatie in Bijlage A). Een voorbeeld uit deze studie: 'hoeveel water wordt er gebruikt bij het composteren van pluimveemest?'.²

Dan komt het moment van Effectbeoordeling. De onderzoeker bedenkt de effecten niet zelf, maar maakt gebruik van de bestaande databases en methodes die beschikbaar zijn in de SimaPro-software. In SimaPro is onder anderen de Ecoinvent-database opgenomen. Deze Zwitserse database bevat informatie van duizenden materialen en processen. In deze studie hebben we veel processen van Ecoinvent toegepast. We hebben bijvoorbeeld het Ecoinvent-proces 'Tapwater'² geselecteerd. Het milieuprofiel dat daarmee gepaard gaat, wordt in de software automatisch zichtbaar. De onderzoeker laat de software dus op basis van gestandaardiseerde processen berekenen wat de milieu-impact is.

In de laatste stap 'Interpretatie' maakt de onderzoeker de resultaten inzichtelijk voor de doelgroep. Het resultaat van deze studie is opgenomen in het voorliggende rapport.

² Om precies te zijn het proces: Tapwater {Europe without Switzerland}.



3 Inventarisatie en datakwaliteit

In dit hoofdstuk geven we per route een uitleg over de data die gebruikt zijn. De inventarisatie van de koolstofvastlegging in de bodem wordt beschreven in Paragraaf 3.1 en van de kunstmestvervanging in Paragraaf 3.2. Beide onderwerpen gelden in het algemeen voor de verschillende routes. In Paragraaf 3.3 beschrijven we de specifieke inventarisatie en de datakwaliteit per route. De volledige inventarisatie en de exacte data die gebruikt zijn, hebben we opgenomen in Bijlage A.

3.1 Inventarisatie koolstofvastlegging

In een aantal van de routes worden meststoffen geproduceerd die organische stof (OS) bevatten. Als deze meststoffen worden afgezet in de landbouw, wordt een deel van de koolstof langdurig vastgelegd in de landbouwgrond. De koolstof in de effectieve organische stof (EOS) die over 100 jaar blijft zitten wordt vastgelegd in de bodem.

Hierbij gaat het om de volgende meststoffen:

- ruwe mest (Mest Aanwenden - NL of DE);
- pluimveemestkorrels (Verkorrelen);
- compost (Composteren);
- digestaat (Vergisten).

De hoeveelheid OS en EOS die per ton verwerkte mest bij de verschillende routes op het land terecht komt is weergegeven in Hoofdstuk 4. Van de totale organische stof wordt een hoeveelheid vastgelegd in de bodem per jaar. De fractie die wordt vastgelegd en de totale vastlegging per route wordt weergegeven in Tabel 6. Uitleg van het model gebruikt voor de berekening van de vastlegging is te vinden in Bijlage E.

Tabel 6 Koolstofvastlegging per ton verwerkte mest

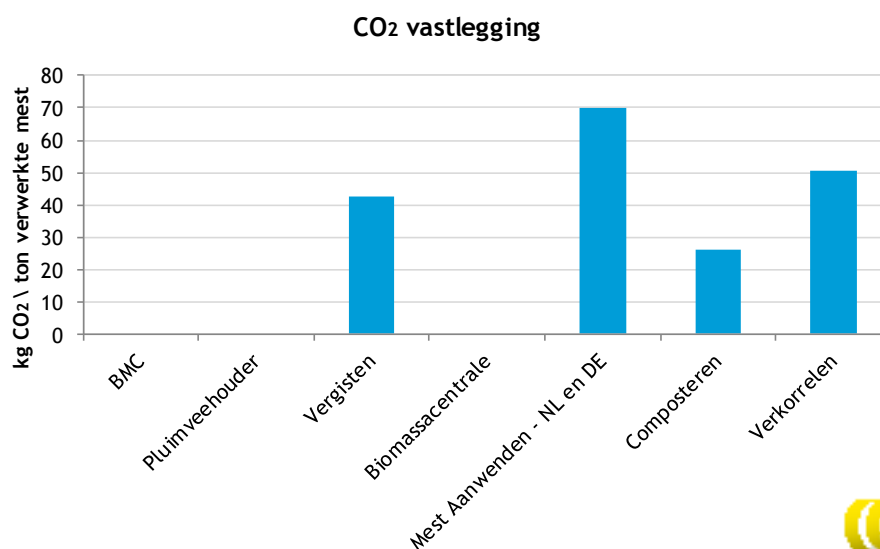
	Koolstofinhoud (kg C/kg N in product)	Fractievastlegging (van totale C in product)	CO ₂ -vastlegging
BMC/Pluim-veehouder	n.v.t.	n.v.t.	0 kg
Vergisten	6 kg (LTZ, 2008)	7,3%	42,4 kg
Biomassa-centrale	n.v.t.	n.v.t.	0 kg
Mest Aanwenden - NL en DE	8,8 kg (BMC Moerdijk, 2015)	7,3%	69,9 kg
Verkorrelen	9,0 kg	7,7%	50,5 kg
Composteren	8,5 kg	7,7%	26,2 kg

De fractievastlegging is gebaseerd op het model zoals beschreven in Bijlage E, de CO₂-vastlegging is gebaseerd op de N-inhoud van de producten en de hoeveelheid product per ton verwerkte pluimveemest zoals weergegeven in Bijlage E.



De totale CO₂-vastlegging per ton verwerkte mest is zichtbaar gemaakt in Figuur 5.

Figuur 5 CO₂-vastlegging per ton verwerkte pluimveemest



3.2 Inventarisatie kunstmestvervanging

In alle routes behalve bij het bijstoken van pluimveemest in een biomassacentrale op hout wordt meststof geproduceerd dat kunstmest kan vervangen.

Hierbij gaat het om de volgende meststoffen:

- pluimveemestas (BMC/Pluimveehouder);
- ruwe mest (Mest Aanwenden - NL of DE);
- pluimveemestkorrels (Verkorrelen);
- compost (Composteren);
- digestaat (Vergisten).

BMC Moerdijk produceerde in 2015 62 kton pluimveemestas. Deze as bevat kalium (uitgedrukt als K₂O) en fosfor (uitgedrukt als P₂O₅). De stikstof (N) gaat volledig verloren tijdens verbranding. De brandstof, pluimveemest, heeft na uitgebreid mengen bij BMC een constante samenstelling, waardoor de as homogeen van samenstelling is. We gaan ervan uit dat dezelfde hoeveelheid mineralen ook terecht komen in de as bij thermische conversie bij de pluimveehouder als bij de pluimveehouder dezelfde soort pluimveemest wordt verwerkt. De meststof die geproduceerd wordt bij thermische conversie bij BMC Moerdijk en bij de pluimveehouder kunnen dus allebei dezelfde hoeveelheid PK-kunstmest vervangen.

Omdat mest onbewerkt wordt afgezet in Duitsland of Nederland bevat de mest zowel kalium (uitgedrukt als K₂O), fosfor (uitgedrukt als P₂O₅) als stikstof (N). De onbewerkte pluimveemest kan dus een NPK-kunstmest vervangen. Ook het digestaat, de compost, en de pluimveemestkorrel kunnen een NPK-kunstmest vervangen.



Het spuiwater dat ook geproduceerd wordt tijdens het verkorrelen, composteren wordt in Nederland afgezet als N-kunstmestvervanger (NMIa, 2016).

Voor het bepalen van het vermeden kunstmestgebruik hebben we in de LCA-studie gerekend met de eenjarige werkzaamheid van de meststoffen. In Tabel 7 wordt een overzicht gegeven van de hoeveelheden en typen kunstmest die worden vermeden per ton verwerkte mest via de verschillende routes. In Bijlage F zijn de mineralen bepaald die per ton verwerkte mest kunnen dienen als kunstmestvervanging.

Tabel 7 Vervanging kunstmest per ton verwerkte mest

	Kalkammonsalpeter (als N)	Tripelsuperfosfaat (als P ₂ O ₅)	Kaliumsulfaat (als K ₂ O)
BMC/Pluimveehouder	n.v.t.	7,8-21,0 kg	21,0 kg
Mest Aanwenden - NL en DE	14,3 kg	14,7 kg	21,0 kg
Verkorrelen	9,1 kg	14,7 kg	21,0 kg
Composteren	8,9 kg	14,7 kg	21,0 kg
Vergisten	14,4 kg	14,8 kg	21,0 kg
Biomassacentrale	0 kg	0 kg.	0 kg

Bij het toepassen van de verschillende kunstmestvervangers is er bij alle routes vanuit gegaan dat de regels van de mestwetgeving in het land van toepassing worden gevolgd.

3.3 Inventarisatie en datakwaliteit per route

Voor dataverzameling over de verwerking van pluimveemest gaat de voorkeur van CE Delft uit naar het gebruiken van data van de verwerkers van pluimveemest (primaire data). Voor de routes waarbij deze data niet voorhanden was is een modelmatige aanpak gebruikt op basis van praktijkgegevens. In de volgende paragrafen geven we per route een toelichting op de inventarisatie en de datakwaliteit.

3.3.1 Thermische conversie bij BMC Moerdijk

Voor de thermische conversie bij BMC Moerdijk is gebruik gemaakt van procesdata, meetgegevens, onderzoeken en het milieujaarverslag, deze zijn aangeleverd door BMC Moerdijk. De data betreffen het jaar 2015. Deze data zijn betrouwbaar, recent en van goede kwaliteit.

3.3.2 Thermische conversie bij de pluimveehouder

Pluimveemest wordt op dit moment in Nederland nauwelijks gebruikt voor thermische conversie op het terrein van de pluimveehouder. Deze verwerkingsmethode wordt veel toegepast in Ierland en het Verenigd Koninkrijk. De data die gebruikt zijn voor de modellering, zijn afkomstig van BHSL, die lokale thermische conversie in Ierland toepast. De data betreffen het jaar 2015. Deze data zijn betrouwbaar, recent en van goede kwaliteit.

Data over het bruto rendement (elektrisch en thermisch) komen ook van BHSL. CE Delft heeft zelf aannames gedaan voor het netto rendement, op basis van het verschil tussen bruto en netto rendement bij de biomassacentrale.



Conform Europese wetgeving wordt onderscheid gemaakt tussen grote verwerkingsinstallaties zoals BMC (Activiteitenbesluit) en kleine installaties bij de pluimveehouder (EU Verordening 592/2014). Grote verwerkingsinstallaties worden gezien als afvalverwerkingsinstallaties en daarvoor gelden meer en strengere emissienormen. Bovendien moeten deze grote installaties emissies continu monitoren. Dit betekent dat in de LCA enkel gerekend wordt met de emissies die wettelijk gemeten moeten worden en gemeten zijn. Dit houdt in dat er minder emissies meegenomen zijn in de verwerking bij de pluimveehouder dan bij BMC Moerdijk.

Door het directe contact met BHSL zijn de data betrouwbaar, recent en van goede kwaliteit, met uitzondering van het netto rendement. Dit laatste aspect is gestoeld op aannames en daarom van lagere kwaliteit dan bij de BMC-route.

3.3.3 Meevergisten in een centrale in Duitsland

In Groningen is een installatie waar vleeskuikenmest wordt vergist. In Duitsland vindt vergisting op grotere schaal plaats, hier wordt ook Nederlandse mest voor gebruikt. In deze studie gaan we uit van vergisting in Duitsland. Het gaat hierbij om covergisting. In dit proces wordt zowel biogas als digestaat geproduceerd.

Primaire data van een pluimveemestvergister in Duitsland was niet beschikbaar. Daarom is voor een modelmatige aanpak gekozen.

Praktijk informatie over vergisting en opslag in Duitsland zijn gehaald uit het rapport 'Nut en risico's van covergisting' (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015). De theoretische werking van de installatie, de biogasproductie en de werking van de WKK zijn gebaseerd op het rapport 'Duurzaamheid co-vergisting van dierlijke mest' (Zwart, et al., 2006) en het rapport 'Masse- und Trockensubstanzbilanz in landwirtschaftlichen Biogasanlagen' (Reinhold, 2005).

Aangezien er geen primaire data beschikbaar was over deze route is deze modellering gestoeld op aannames. De data kwaliteit voor deze route is daarom ook lager dan voor de BMC-route. Wel geeft de analyse de juiste orde van grootte aan van de impact van verschillende stappen in de keten. Hierdoor kan wel een goed beeld worden verkregen van de mogelijke milieukundige voor- en nadelen van het meevergisten van pluimveemest in een centrale in Duitsland.

3.3.4 Bijstoken in een biomassacentrale op hout

Pluimveemest wordt op dit moment niet bijgemengd voor verbranding in biomassacentrales in Nederland. Er is dus geen primaire data beschikbaar. Daarom is voor een modelmatige aanpak gekozen.

Voor deze route is aangenomen dat de biomassacentrale hetzelfde functioneert als een Nederlandse AVI, zoals beschreven in MER-LAP (AOO, 2002). Hierbij is rekening gehouden met de specificaties van het materiaal dat wordt verbrand. Zo is bijvoorbeeld het gebruik van hulpstoffen aangepast op de aanwezigheid van zwavel, chloride, fluoride en kwik. Ook emissies zijn aangepast op de aanwezigheid van verontreinigingen in de pluimveemest (o.a. zware metalen). De productie van afvalstoffen sluit aan bij het gehalte droge stof en as. De verwerking van deze stoffen is conform Nederlandse wetgeving voor dergelijke afvalstoffen.



Het rendement (elektrisch en thermisch) van de centrale in ons model sluit aan bij de meest efficiënte biomassacentrale in Europa, zodat de biomassa-route niet wordt onderschat, in vergelijking met de thermische conversie bij BMC.

Aangezien deze route niet bestaat, is deze modellering gestoeld op aannames. De datakwaliteit voor deze route is daarom ook lager dan voor de BMC-route. Wel geeft de analyse de juiste orde van grootte aan van de impact van verschillende stappen in de keten.

3.3.5 Directe aanwending in Nederland of in Duitsland

Voor de directe aanwending van mest in Nederland of Duitsland is voor de emissies tijdens opslag en aanwending van de mest gebruik gemaakt van data van het IPCC (IPCC, 2006) en waar beschikbaar van specifiek Nederlandse bronnen (Van der Hoek & van Schijndel, 2006); (CDM, 2013); (Rietberg, et al., 2013).

Voor transport van de mest zijn aannames gemaakt op basis van de aanwezige pluimveehouders en intermediairs in Nederland.

De gebruikte data zijn de best beschikbare data. De datakwaliteit voor deze route is lager dan voor de BMC-route, omdat het geen primaire data zijn. Wel geeft de analyse de juiste orde van grootte aan van de impact van verschillende stappen in de keten.

3.3.6 Composteren

Voor composteren is gebruik gemaakt van data afkomstig uit een productblad en uit een telefonische toelichting door een Nederlandse composteerder (Composteerbedrijf, 2016). De data betreffende verwerking, emissies, energiegebruik en samenstelling van het ingaande product zijn gebaseerd op het telefoongesprek. De data betreffende samenstelling van het uitgaande product zijn afkomstig van een productblad.

Composteren van pluimveemest vindt op verschillende plekken plaats in Nederland. Voor deze studie gaan we uit van de techniek van een bestaande composteerinstallatie in Nederland (Composteerbedrijf, 2016). Hier wordt grotendeels pluimveemest gecomposteerd in twee composteertunnels. 80% van de pluimveemest wordt natuurlijk gecomposteerd en 20% wordt geforceerd gecomposteerd.

Vanwege het directe contact met de composteerder zijn deze data betrouwbaar en recent.

Voor de samenstelling van de ingaande stroom heeft de composteerder een schatting gegeven, namelijk 30% vleeskuikenmest, 45% mestbandmest (leg-hennen), 20% compost en 5% varkensmest. In deze studie wordt uitgegaan van dezelfde ingaande stroom als bij BMC, die afwijkt van deze schatting van de composteerder. De datakwaliteit voor deze route is daarom ook lager dan voor de BMC-route. Wel geeft de analyse van composteren de juiste orde van grootte aan van de impact van verschillende stappen in de keten.



3.3.7 Composteren en verkorrelen

Voor composteren en verkorrelen is gebruik gemaakt van data afkomstig uit een productblad en door gegevens aangeleverd door Ferm O Feed. De data betreffende verwerking, emissies, energiegebruik en samenstelling van het ingaande product zijn beantwoord in een vragenlijst die Ferm O Feed van CE Delft had ontvangen. De data betreffende samenstelling van het uitgaande product zijn afkomstig van een productblad. Vanwege het directe contact met Ferm O Feed zijn deze data betrouwbaar en recent.

Voor de samenstelling van de ingaande stroom heeft Ferm O Feed een schatting gegeven, namelijk 50% vleeskuikenmest en 50% bandenmest (leghennen). De stroom heeft een vergelijkbaar droge stofgehalte, hoewel de samenstelling wel afwijkt van de stroom die in deze studie wordt gebruikt (namelijk de ingaande stroom bij BMC). De datakwaliteit voor deze route is daarom lager dan voor de BMC-route, maar wel hoger dan de composteerroute omdat er alleen pluimveemest wordt gebruikt. De analyse voor composteren en verkorrelen geeft de juiste orde van grootte aan van de impact van verschillende stappen in de keten (Ferm O Feed, 2016).

3.3.8 Composteren en aanwending voor champignonteelt

Voor composteren en aanwending voor champignonteelt hebben we contact gelegd met producenten en openbaar beschikbare informatie gezocht. Het bleek dat geen van de Nederlandse champignonsubstraatproducenten wilde meewerken aan dit onderzoek. Er is dus geen primaire data beschikbaar. Ook is er niet genoeg openbare data voorhanden om een modelmatige aanpak te gebruiken. De volgende aspecten zijn niet bekend:

- Hoeveel fase-3 compost en champost kan worden geproduceerd uit 1 ton kippenmest?
- Welk gedeelte van de OS, EOS, N, P₂O₅, K₂O in de champost kan worden toegerekend aan 1 ton kippenmest?
- Wat is de opbrengst van de champignons per ton mest?
- Wat zou een vervangend product kunnen zijn voor champignonsubstraat?
- Hoeveel energie en hulpstoffen zijn er nodig voor het productieproces?
- Hoeveel emissies komen vrij bij het productieproces? Wordt gewerkt met luchtwassers, hoe effectief zijn deze?
- Wat is de transportafstand waarover de (sub)producten worden vervoerd?

Vanwege de grote onzekerheden bij deze route is besloten om geen aparte route te modelleren voor composteren en aanwending voor champignonteelt. Deze route komt dus ook niet terug in de Mineralenbalans en LCA-studie.

Wel hebben we op basis van publiek beschikbare data kwalitatief aangegeven hoe het transport, hulpstoffen, emissies en vermeden product van de route Champignonteelt zich verhouden tot die van het de route Composteren. Op basis van de kwalitatieve analyse (zie Bijlage A.9) kan worden aangenomen dat de milieubelasting van de route Champignonteelt minimaal vergelijkbaar en waarschijnlijk hoger zal zijn dan die van de route Composteren. Deze analyse geeft een indicatie.



4 Mineralenbalans

Dit hoofdstuk beschrijven we de mineralenbalans van de verschillende routes.

Er is wat betreft de beschikbare mineralen geen onderscheid tussen thermische conversie bij BMC Moerdijk, of op het terrein van een pluimveehouder. Deze twee routes worden in één resultatenbalk weergegeven. Ook is er wat betreft de beschikbare mineralen geen onderscheid tussen directe aanwending van ruwe mest in Nederland of in Duitsland. Daarom worden ook deze twee routes in één resultatenbalk weergegeven.

Vanwege de beperkt beschikbare informatie over de route Champignonteelt, hebben we voor deze route geen mineralenbalans opgesteld.

In totaal beschrijven we in deze mineralenbalans dus zes verschillende routes:

- thermische conversie bij BMC Moerdijk of bij een pluimveehouder (BMC/Pluimveehouder);
- meevergisten in een vergistingscentrale (Vergisten);
- bijstoken in een biomassacentrale op hout (Biomassacentrale);
- directe aanwending van ruwe mest in Nederland of in Duitsland (Mest Aanwenden - NL of DE);
- composteren (Composteren);
- composteren en verkorrelen (Verkorrelen);

Per route is gekeken wat de hoeveelheid en de samenstelling (OS, N, P₂O₅ en K₂O) is van het eindproduct. Vervolgens is per stof gekeken naar de werkzaamheid in de grond, met behulp van de landbouwkundige waarde.

Voor organische stof wordt de landbouwkundige waarde gekarakteriseerd met de stabiliteit van de organische stof, de effectieve organische stof (EOS), ofwel dat deel van de organische stof dat na een jaar nog aanwezig is.

Voor N, P en K kan de landbouwkundige waarde worden uitgedrukt met de werkingscoëfficiënt die aangeeft welk deel van de aangewende stof ook daadwerkelijk door het gewas opgenomen kan worden gedurende het groeiseizoen.

De werkingscoëfficiënt wordt uitgedrukt ten opzichte van de werking van een referentiemeststof. Voor stikstof wordt als referentiemeststof meestal KAS aangehouden, voor fosfor geldt vaak (tripel) superfosfaat als referentie omdat deze mesten vaak gebruikt worden. Voor kaliumoxide wordt bij organische meststoffen in het algemeen uitgegaan van een werkingscoëfficiënt van 100%. De kaliumoxide is aanwezig in de vloeibare fase in een goed beschikbare vorm.

De precieze berekeningen en gebruikte gegevens voor de mineralenbalans zijn terug te vinden in Bijlage F.

Figuur 6 tot en met Figuur 9 geven de mineralenbalans van de verwerking van de pluimveemest tot verschillende producten, via de verschillende routes. In iedere figuur wordt weergegeven welk gedeelte van de ingaande mix er verloren gaat, wat er overblijft in het eindproduct en wat de werkzaamheid hiervan is. Hieronder beschrijven we achtereenvolgens de volgende balansen: Organische stof (OS), stikstof (N), fosfor (uitgedrukt als P₂O₅) en kalium (uitgedrukt als K₂O).



4.1 Mineralenbalans verschillende stoffen

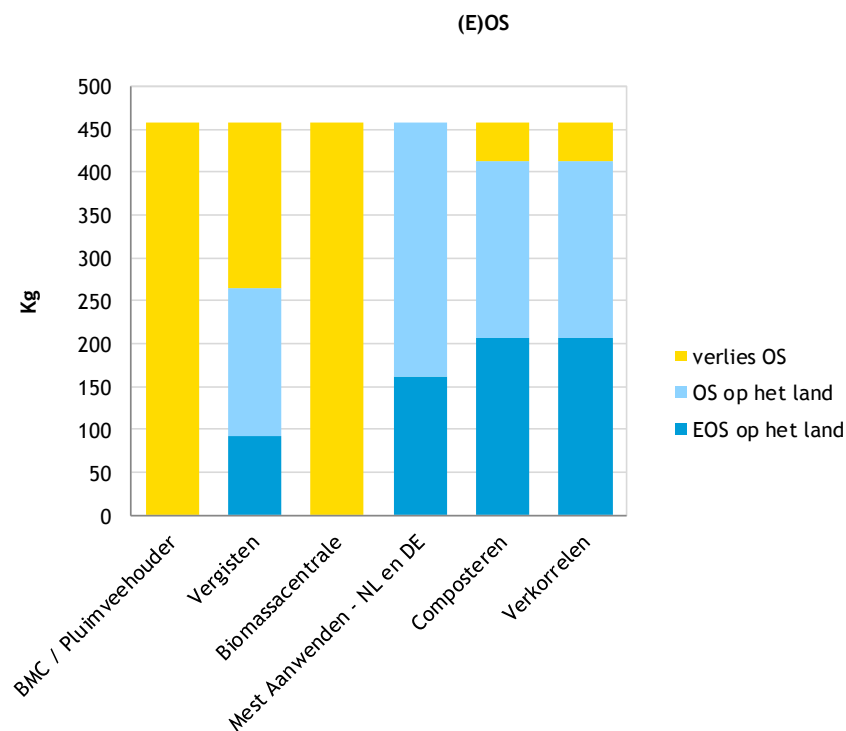
4.1.1 (Effectieve) organische stof

Effectieve organische stof (EOS), oftewel organische stof die na een jaar nog in de bodem aanwezig is, vult de organische stof in de bodem aan. Bodemorganische stof is nodig om de lucht- en waterhuishouding in de bodem op orde te houden en om voedingsstoffen vast te houden. De rest van de organische stof blijft minder dan een jaar gebonden aan de bodem en verrijkt de bodemorganische stof dus niet.

Figuur 6 laat zien dat het verlies aan organische stof varieert tussen 0 en 100%.

- Bij thermische conversie bij BMC Moerdijk en de pluimveehouder gaat alle organische stof verloren. Zij gaat verloren tijdens de thermische conversie.
- Bij aanwending als mest gaat geen organische stof verloren en blijft er 30% EOS over.
- Zowel bij het verkorrelen als bij composteren gaat er organische stof verloren door de emissie van biogene CO₂. Tijdens het composteren en verkorrelen wordt organische stof die eenvoudig afbreekt omgezet naar stabielere humus. Hierdoor komt er meer EOS op het land dan bij het direct aanwenden van mest.
- Tijdens het vergisten van mest gaat er organische stof verloren, deze komt terecht in het geproduceerde gas. Het digestaat uit pluimveemest bevat dus minder organische stof dan bij het direct aanwenden van mest, en daardoor ook minder effectieve organische stof.

Figuur 6 Mineralenbalans organische stof (OS) en effectieve organische stof (EOS) per ton pluimveemest



4.1.2 Stikstof

Op basis van de berekeningen in Bijlage F kwam naar voren dat er een groot verlies zou zijn van stikstof bij composteren en verkorrelen. Echter als we kijken naar een massabalans dan zou alleen de stikstof “verloren” moeten gaan die vervluchtigt tijdens het composteer- en verkorrelproces én het gedeelte van de stikstof dat niet ter beschikking komt van planten tijdens de aanwending ten opzicht van KAS-meststof. Het (te) grote verlies bij de berekening in Bijlage F is mogelijk te verklaren door enerzijds het gebruik van diverse andere meststoffen bij het composteren van pluimveemest en anderzijds het verschil in droge stofgehalte van de inkomende pluimveemest bij het verkorrelen en de pluimveemest die BMC Moerdijk gebruikt. Daarom zijn we in onderstaande figuur uitgegaan van het theoretische ‘verlies’ bij composteren en verkorrelen, bestaande uit de directe ammoniakemissies tijdens de verwerking en de lage werkzaamheid van stikstof in compost/korrels.

Figuur 7 geeft aan dat bij alle routes stikstof verloren gaat. De mate waarin varieert.

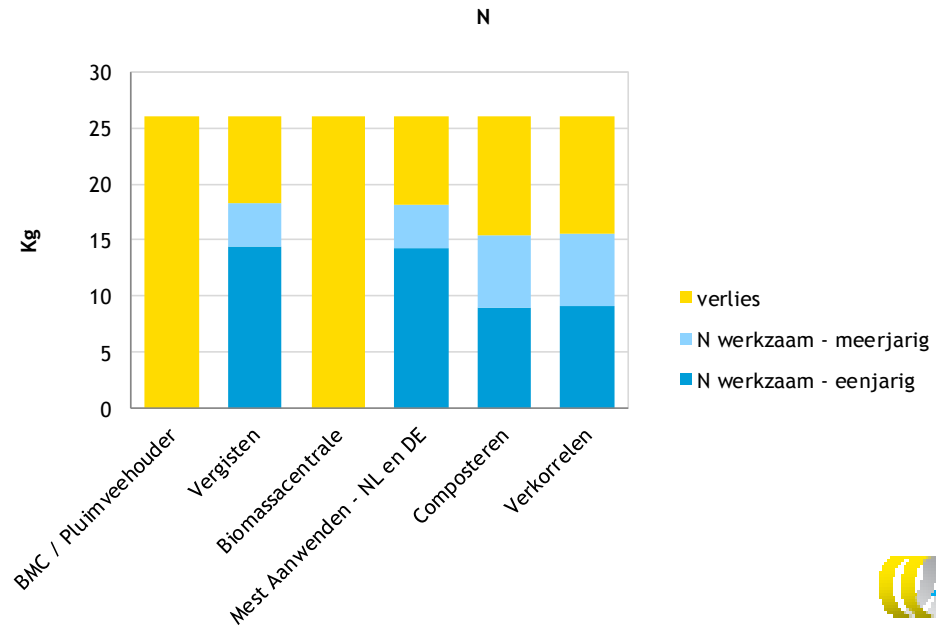
- Bij thermische conversie bij BMC en de pluimveehouder en bijstoken in een biomassacentrale op hout gaat alle stikstof verloren.
- Bij directe aanwending als mest komt 30% van de stikstof niet ter beschikking van planten in vergelijking met KAS-meststof.
- Bij het covergisten van pluimveemest is dit percentage net zo hoog.
- Tijdens het verkorrelen en composteren is het verlies groter. Dit heeft twee redenen. Ten eerste vervluchtigt een groter gedeelte van de stikstof dan bij direct aanwenden van mest, dit wordt deels afgevangen door luchtwassers en komt terecht in het spuiwater³. Ten tweede is de werkzaamheid van de stikstof die in de compost en de korrel zit lager dan in verse pluimveemest.

In Figuur 7 is bij Verkorrelen en Composteren ook de stikstof meegenomen die wordt afgevangen door de luchtwassers en in het spuiwater terecht komt. Bij Vergisten is de balans weergegeven voor de stikstof in het digestaat dat toe te rekenen is aan de pluimveemest.

³ De stikstof die in spuiwater terecht komt wordt niet aangemerkt als verlies omdat het spuiwater ook wordt afgezet.



Figuur 7 Mineralenbalans stikstof (N) per ton pluimveemest



4.1.3 Fosfor (uitgedrukt als P_2O_5)

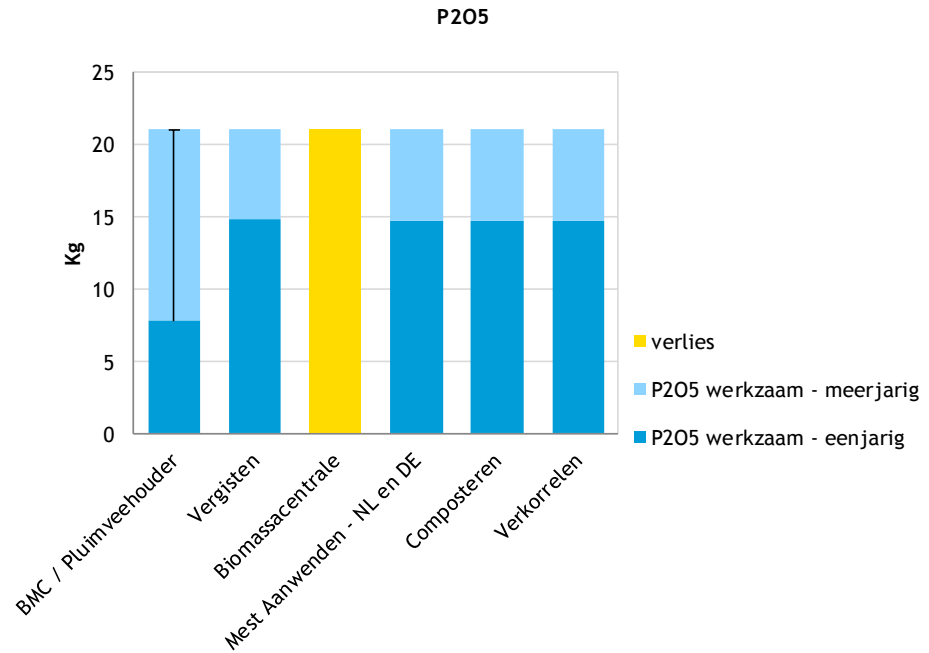
Op basis van de berekeningen in Bijlage F kwam naar voren dat er een verlies zou zijn van P_2O_5 bij de thermische conversie van pluimveemest, bij composteren en bij verkorrelen. In theorie gaat er geen P_2O_5 verloren tijdens deze processen, omdat P_2O_5 niet vervluchtigt. Volgens de wet van behoud van massa moet dus alle P_2O_5 naar de producten gaan. Het berekende ‘verlies’ voor composteren en verkorrelen is te verklaren door het verschil in samenstelling van de pluimveemest die wordt verkorreld en gecomposteerd en de samenstelling van de pluimveemest die bij BMC Moerdijk wordt verwerkt, zie Paragraaf 2.3 en 3.3.6. Het berekende ‘verlies’ voor de pluimveemest is te verklaren door verschillende meetmethodes (zie Bijlage F.1).

In dit onderzoek nemen we aan dat de metingen van de mest juist zijn, omdat die gehalten goed overeenkomen met (RVO, 2016). Omdat P_2O_5 niet vervluchtigt, hebben we in Figuur 8 daarom de uitkomst gecorrigeerd in deze vier routes en zichtbaar gemaakt dat er geen verlies van P_2O_5 is. In het geval van BMC/Pluimveehouder gaat 0,4% van as verloren als offspec as, en dus gaat ook de fosfor verloren. Dit is echter zo weinig dat het niet terug te zien is in Figuur 8.

Figuur 8 laat zien dat P_2O_5 verloren gaat in de route Biomassacentrale. In de vijf andere routes blijft P_2O_5 behouden. De werkzaamheid van de P_2O_5 in zowel Verkorrelen als Composteren is vergelijkbaar met die in Mest Aanwenden.

Bij thermische conversie bij BMC en de pluimveehouder geven verschillende metingen verschillende uitkomsten wat betreft de eenjarige werkzaamheid van fosfor ten opzichte van tripelsuperfosfaat. Dit varieert van 37% (Alterra Wageningen UR, 2015a) en de 100% (Alterra Wageningen UR, 2015b). Deze variatie is in Figuur 8 met de marge zichtbaar gemaakt.

Figuur 8 Mineralenbalans fosfor (uitgedrukt als P₂O₅) per ton pluimveemest



4.1.4 Kalium (uitgedrukt als K₂O)

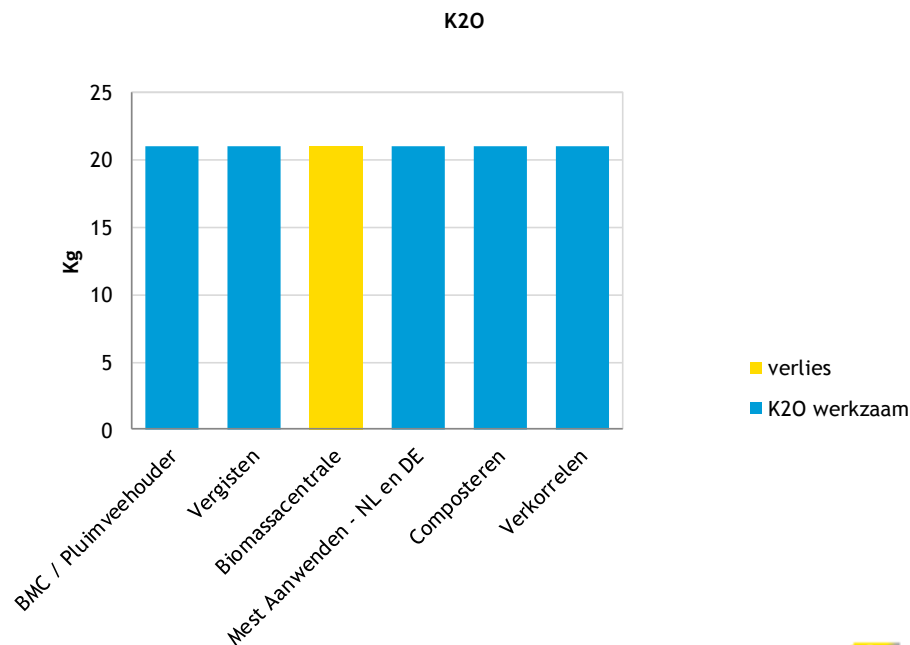
Zowel bij het direct aanwenden van mest, als bij het vergisten gaat er geen kalium verloren. Op basis van de berekeningen in Bijlage F kwam naar voren dat er een verlies zou zijn van kalium bij de thermische conversie van de pluimveemest, bij composteren en bij verkorrelen. In principe gaat er geen kalium verloren tijdens deze processen, omdat kalium niet vervluchtigt. Volgens de wet van behoud van massa moet dus alle kalium naar de producten gaan.

Het berekende 'verlies' voor composteren en verkorrelen is te verklaren door het verschil in samenstelling van de pluimveemest die wordt verkorreld en gecomposteerd en de samenstelling van de pluimveemest die bij BMC Moerdijk wordt verwerkt, zie Paragraaf 2.3 en 3.3.6. Het berekende 'verlies' bij BMC/Pluimveehouder is te verklaren door verschillende meetmethodes (zie Bijlage F).

In dit onderzoek nemen we aan dat de metingen van de mest juist zijn, omdat die gehalten goed overeenkomen met (RVO, 2016). Omdat kalium niet vervluchtigt hebben we in Figuur 9 daarom de uitkomst gecorrigeerd in de betreffende routes en zichtbaar gemaakt dat er geen verlies van kalium is.

Figuur 9 laat zien dat kalium in geen enkele route verloren gaat. De werkzaamheid van kalium is in alle producten die uit de verschillende routes voortkomen vergelijkbaar. We kunnen dus concluderen dat de mineralenbalans van kalium voor alle routes gelijk is.

Figuur 9 Mineralenbalans kaliumoxide (K₂O) per ton pluimveemest



4.2 Conclusie mineralenbalans

Alle organische stof en mineralen verloren bij biomassacentrale

Bij het bijmengen van pluimveemest in een biomassacentrale op hout, wordt er geen product geproduceerd dat kan worden ingezet als kunstmest vervanging. In deze route gaan dus alle grondstoffen organische stof, stikstof, fosfor (uitgedrukt als P₂O₅) en kalium (uitgedrukt als K₂O) verloren.

De volgende paragrafen beschrijven de resultaten van de mineralenbalans per grondstof voor de routes BMC/Pluimveehouder, Vergisten, Mest aanwenden, Composteren en Verkorrelen.

Organische stof

Bij de thermische conversie van pluimveemest bij BMC of de pluimveehouder gaat alle organische stof verloren en wordt er dus minder (effectieve) organische stof aan de bodem toegevoegd dan bij de routes Vergisten, Mest aanwenden, Composteren en Verkorrelen.

Stikstof

In alle routes gaat een deel van de stikstof verloren. Bij de thermische conversie van pluimveemest bij BMC en de pluimveehouder gaat alle stikstof verloren. Wat betreft dit mineraal zijn dus de andere verwerkingsroutes, Vergisten, Mest aanwenden, Composteren en Verkorrelen, beter.



Fosfor (uitgedrukt als P₂O₅)

Voor alle routes geldt dat in de eindproducten (as, digestaat, mest, compost en korrels) per ton verwerkte mest evenveel P₂O₅ zit. Het verschil tussen de as en de andere producten zit in de werkzaamheid van het P₂O₅. De eenjarige werkzaamheid van P₂O₅ in pluimveemest ligt tussen de 37% (Alterra Wageningen UR, 2015a) en de 100% (Alterra Wageningen UR, 2015b). Terwijl de eenjarige werkzaamheid van de andere producten rond de 70% ligt. Mocht de eenjarige werkzaamheid van P₂O₅ onder de 70% liggen dan komt er binnen een jaar minder P₂O₅ beschikbaar bij thermische conversie van pluimveemest dan bij de andere routes.

In deze studie wordt overigens de uitspoeling van fosfaat uit landbouwgrond van de verschillende eindproducten niet meegenomen. De fosfaatuitspoeling is gerelateerd aan de omgevingsfactoren zoals de verzadiging van de bodem en het reliëf van het landbouwgebied en niet zozeer van het meststoftype. Vanwege de complexiteit is dit niet meegenomen in dit onderzoek.

Kalium

De mineralenbalans voor kalium (uitgedrukt als K₂O) geeft aan dat er voor alle routes evenveel kaliumoxide in het eindproduct aanwezig is.

Fosfor en kalium milieukundig belangrijker dan organische stof en stikstof

De grondstoffen fosfor en kalium zijn eindig. Daardoor kan er voor gekozen worden om meer gewicht te geven aan de resultaten voor deze stoffen, ten opzichte van de resultaten voor (effectieve) organische stof of stikstof. De thermische conversie van pluimveemest bij BMC komt er wat betreft behoud van kalium of fosfor evengoed uit als de andere routes. De eenjarige werkzaamheid van fosfor (uitgedrukt als P₂O₅) kan zowel beter als slechter uitpakken (afhankelijk van de soort akkerbouw waar de pluimveemest as wordt toegepast).



5 Resultaten LCA-studie

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de LCA-studie waarin de route van thermische conversie bij BMC wordt vergeleken met zeven andere routes⁴. De resultaten zijn in Figuur 10 weergegeven. Bijlage G geeft de exacte getallen.

5.1 De totale milieu-impact, uitgedrukt in single score

Figuur 10 geeft de resultaten van de LCA van alle routes, uitgedrukt in de ReCiPe single score. Deze score wordt in Bijlage C toegelicht. Hierbij is gebruik gemaakt van de standaardweging van de ReCiPe-methode. Daarin tellen gezondheidseffecten voor 40% mee, ecosysteemeffecten voor 40% en effecten op grondstofuitputting voor 20%.

Basisroute en marge

Voor een aantal routes hebben we zowel een basisroute als een marge doorgerekend.

Tabel 8 geeft voor deze vier routes een beknopt overzicht van de basisroute en de marge. Voor de basisroute is de meest conservatieve keuze gemaakt.

Tabel 8 Definitie basisroute en marge voor vier routes

	Basisroute	Marge
BMC	Laagste gemeten waarde van de eenjarige werkzaamheid van P ₂ O ₅ in de pluimveemest.	Inclusief warmteafzet en hoogste gemeten waarde van de eenjarige werkzaamheid van P ₂ O ₅ in de pluimveemest.
Biomassacentrale	Zonder warmteafzet.	Inclusief warmteafzet.
Pluimveehouder	Zonder warmteafzet en laagst gemeten waarde van de eenjarige werkzaamheid van P ₂ O ₅ in de pluimveemest.	Inclusief warmteafzet en hoogst gemeten waarde van de eenjarige werkzaamheid van P ₂ O ₅ in de pluimveemest.
Vergisten	Zonder warmteafzet.	Inclusief warmteafzet.

Elektriciteitsproductie geeft milieuvoordeel en warmteafzet nog meer

Figuur 10 laat zien dat alle routes waarin elektriciteit wordt geproduceerd een milieuvoordeel opleveren. Dit milieuvoordeel kan in alle gevallen nog groter zijn als ook warmte wordt afgezet (dit is aangegeven met de marge).

Als alle warmte van de pluimveehouder wordt ingezet ter vervanging van warmteopwekking met de gemiddelde Nederlandse gas-mix, dan komt de thermische conversie bij de pluimveehouder er als beste uit.

⁴ Omdat er over het composteren en inzetten voor de champignonenteelt niet genoeg informatie beschikbaar was, hebben we voor deze route geen LCA-studie uitgevoerd (meer informatie hierover in Bijlage A.9).

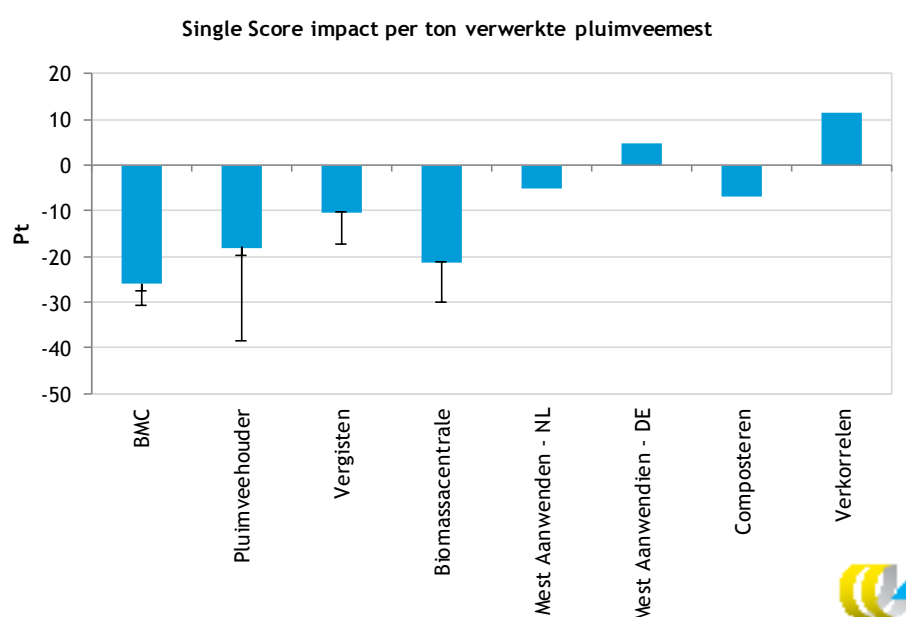


Bij warmteafzet kunnen het bijstoken van pluimveemest in een biomassacentrale op hout en de thermische conversie van pluimveemest bij BMC Moerdijk een vergelijkbaar milieuvoordeel opleveren en vormen een gedeelde tweede/derde plaats. Vergisten komt bij warmteafzet op de vierde plaats qua milieubelasting.

In het geval dat de warmte niet kan worden afgezet, levert thermische conversie van pluimveemest bij BMC Moerdijk het grootste milieuvoordeel op, gevolgd door de biomassacentrale op de tweede plaats. Zowel de thermische verwerking bij de pluimveehouder als vergisting leveren een lager milieuvoordeel op en komen op respectievelijk de derde en vierde plaats, als warmte niet wordt afgezet.

Alle routes die geen elektriciteit of warmte produceren leveren een milieubelasting of klein milieuvoordeel op.

Figuur 10 Single Score impact per ton verwerkte pluimveemest



De dubbele marge geeft deels (het bovenste deel van de marge) de hogere waarde van de eenjarige werkzaamheid van P_2O_5 in pluimveemest weer en deels de afzet van warmte. Een negatieve score, onder de x-as geeft aan dat er geen milieubelasting, maar juist milieuvoordeel is.

Contributie-analyse: Energieopwekking grootste bijdrage milieuwinst

De acht routes hebben elk verschillende positieve en negatieve effecten op het milieu. Figuur 11 geeft een overzicht van de milieu-impact, waarin van elke route te zien is wat het aandeel van de afzonderlijke ketenstappen is. Hierdoor wordt het duidelijk waar de verschillen in de single score impact vandaan komen.

Afzet as verklaart voordeel BMC op Biomassacentrale

Het verschil tussen de BMC-centrale en de biomassacentrale op hout is met name te verklaren door de afzet van de pluimveemest als meststof. Uit de biomassacentrale op hout komt geen meststof voort die kan worden afgezet.

Hogere elektriciteitsopwekking verklaart voordeel BMC op Pluimveehouder

De thermische conversie op het terrein van de pluimveehouder levert minder milieuvoordeel op, dan de thermische conversie bij BMC Moerdijk. Dit komt door de lagere energieopwekking. Het is te verklaren doordat het elektrisch rendement van de installatie lager is dan bij BMC Moerdijk; 13,5 versus 29% netto rendement. Indien de pluimveehouder zijn eigen opgewekte warmte kan benutten in Nederland en daarmee zijn huidige gasgebruik (van de gemiddelde Nederlandse mix) kan uitsparen, dan zou de thermische conversie op het terrein van de pluimveehouder een hoger milieuvoordeel opleveren. Als de BMC-centrale ook warmte af kan zetten leveren beiden vormen van thermische conversie ongeveer hetzelfde milieuvoordeel op.

Hogere energieopwekking en minder transport verklaart voordeel BMC op Vergisten

De energieopwekking door het vergisten van pluimveemest is lager dan in de BMC-centrale. Het milieuvoordeel wordt verder deels opgeheven door het transport van de pluimveemest naar Duitsland in plaats van binnen Nederland.

Lagere emissies bij aanwenden en minder transport verklaart voordeel aanwenden mest in NL op aanwenden in DE

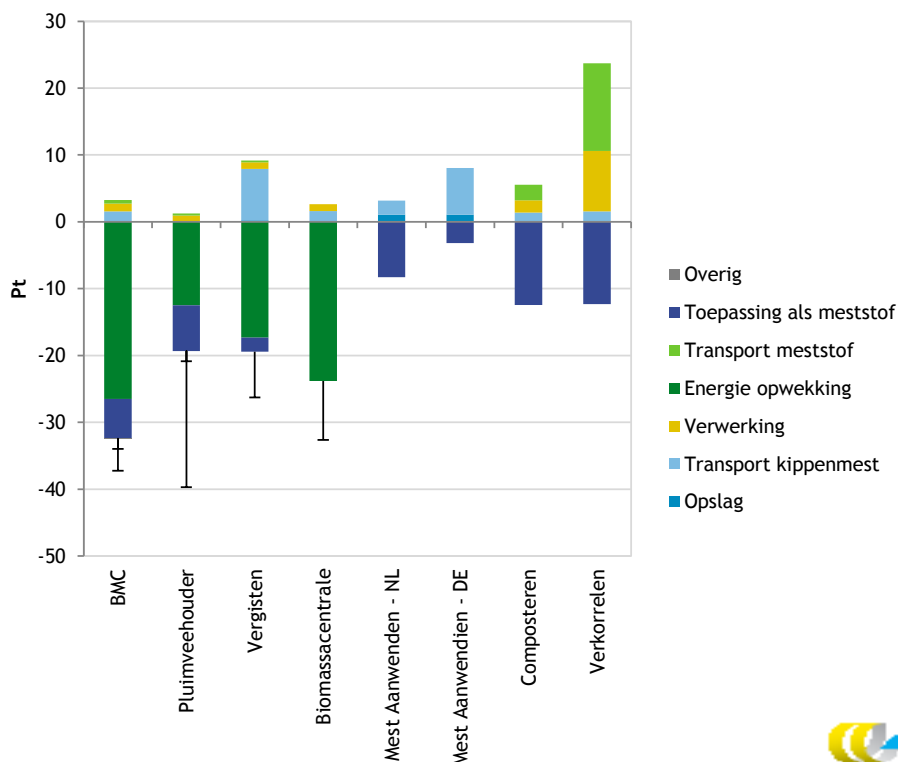
Het direct aanwenden van pluimveemest in Duitsland levert een milieubelasting op. Bij afzet in Duitsland wordt kunstmest vervangen, maar zijn er hogere stikstofemissies tijdens het uitrijden van de mest dan in Nederland. De emissies tijdens uitrijden zijn in Duitsland hoger dan in Nederland vanwege minder strenge wetgeving in Duitsland. Ook is er het transport van Nederland naar Duitsland. Bij afzet in Nederland zijn de emissies lager, door de strengere wetgeving, en daarom levert afzet van ruwe mest in Nederland een klein milieuvoordeel op.

Minder transport verklaart voordeel Composteren op Verkorrelen

Dat verkorrelen een netto milieubelasting oplevert en composteren een netto milieuvoordeel oplevert ligt met name aan het verschil in transport van de meststof na verwerking. In het geval van verkorrelen wordt een groot gedeelte van de korrels afgezet in Azië. Als de transportafstand verminderd zou worden voor beide routes dan kunnen beide routes milieuneutraal scoren, of kunnen ze zelfs een klein milieuvoordeel opleveren. Er is dus een kantelpunt voor de afstand waarop de afzet van organische stof en mineralen omslaat van milieuneutraal naar een milieubelasting.



Figuur 11 Contributieanalyse Single Score impact per ton verwerkte pluimveemest



De dubbele marge geeft deels (het bovenste deel van de marge) de hogere waarde van de eenjarige werkzaamheid van P_2O_5 in pluimveemest weer en deels de afzet van warmte.

De precieze onderverdeling per categorie die is weergegeven in de contributieanalyse, is te vinden in Tabel 9 en Tabel 10.

Tabel 9 Resultaten Single Score - Route 1 t/m 4

	BMC	Pluimveehouder	Vergisten	Biomassacentrale
Emissies opslag	N.v.t.	N.v.t.	0,21 Pt	N.v.t.
Transport pluimveemest	1,54 Pt	0 Pt	7,71Pt	1,61 Pt
Emissies verwerking	1,20 Pt	0,92 Pt	0,97 Pt	1,01 Pt
Directe emissies	0,57 Pt	0,56 Pt	0,97 Pt	0,54 Pt
Hulpstoffen	0,62 Pt	0,36 Pt	0 Pt	0,38 Pt
Afvalverwerking	0 Pt	0 Pt	N.v.t.	0,09 Pt
Energieopwekking	-23,25 tot -26,49 Pt	-12,49 tot -31,32 Pt	-17,33 - tot -31,05	-23,82 tot -32,63 Pt
Warmte	0 tot -3,24 Pt	0 tot -18,83 Pt	0 tot -6,86	0 tot -8,81 Pt
Elektriciteit	-23,25 Pt	12,49 Pt	-17,33	-23,82 Pt
Transport meststof	0,52 Pt	0,22 Pt	0,26 Pt	N.v.t.
Toepassing als meststof	-5,99 tot -10,74 Pt	-6,68 Pt tot -8,38 Pt	-2,08 Pt	N.v.t.
Directe emissies	0 Pt	0 Pt	13,40 Pt	N.v.t.
Uitsparing kunstmest	-5,99 tot -10,74 Pt	-6,68 Pt tot -8,38 Pt	-13,57 Pt	N.v.t.
CO ₂ -vastlegging	N.v.t.	N.v.t.	-1,92 Pt	N.v.t.
Overig	0 Pt	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
TOTAAL	-25,98 tot -33,97 Pt	-18,10 tot -38,45 Pt	-10,26 tot -17,12 Pt	-21,19 tot -30,00 Pt



Tabel 10 Resultaten Single Score - Route 5 t/m 8

	Directe aanwending - NL	Directe aanwending - DE	Composteren	Verkorrelen
Emissies opslag	1,06 Pt	1,06 Pt	0 Pt	0 Pt
Transport pluimveemest	2,10 Pt	7,01 Pt	1,40 Pt	1,58 Pt
Emissies verwerking	N.v.t.	N.v.t.	1,81 Pt	9,02 Pt
<i>Directe emissies</i>	N.v.t.	N.v.t.	1,75 Pt	2,48 Pt
<i>Hulpstoffen</i>	N.v.t.	N.v.t.	0,06 Pt	6,54 Pt
<i>Afvalverwerking</i>	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Energieopwekking	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
<i>Warmte</i>	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
<i>Elektriciteit</i>	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Transport meststof	N.v.t.	N.v.t.	2,35 Pt	13,13 Pt
Toepassing als meststof	-8,30 Pt	-3,18 Pt	-12,45 Pt	-12,32 Pt
<i>Directe emissies</i>	8,37 Pt	13,49 Pt	1,55 Pt	2,70 Pt
<i>Uitsparing kunstmest</i>	-13,50 Pt	-13,50 Pt	-11,39 Pt	-12,77 Pt
<i>CO₂-vastlegging</i>	-3,16 Pt	-3,16 Pt	-2,61 Pt	-2,25 Pt
Overig	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
TOTAAL	-5,14 Pt	4,89 Pt	-6,89 Pt	11,42 Pt

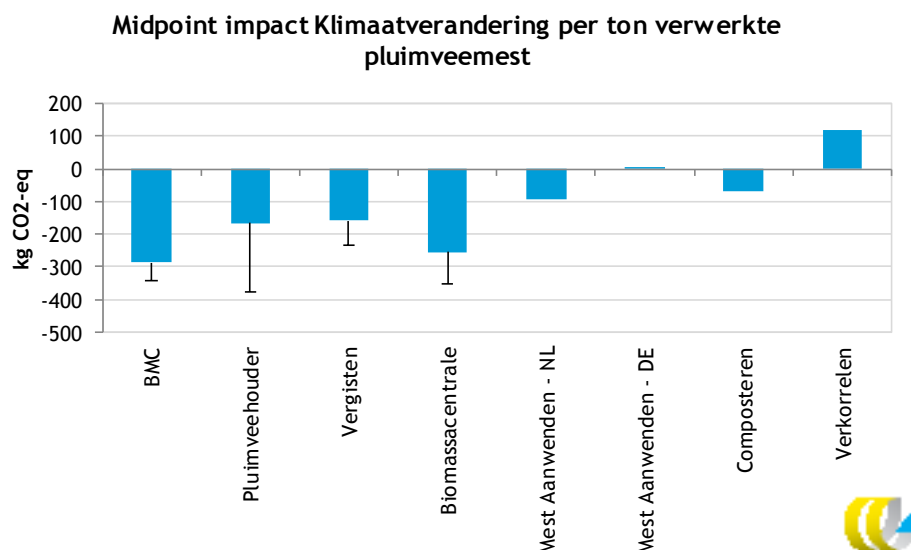
De uitgebreide contributieanalyse voor de thermische conversie bij BMC is te vinden in Bijlage H.1. Bijlage I geeft een uitgebreidere contributieanalyse voor alle andere routes.

5.2 Resultaten analyse milieuthema's

In dit hoofdstuk geven we resultaten van de analyse op milieuthema's weer voor de midpoint-categorieën: klimaatverandering, menselijke toxiciteit, fijnstofvorming, mineralen/metalen uitputting en uitputting fossiele grondstoffen. Dit zijn de categorieën die in één of meer van de acht routes minimaal 10% bijdragen aan de single score. De onderbouwing voor de keuze van deze midpoints is terug te vinden in Bijlage G.3.

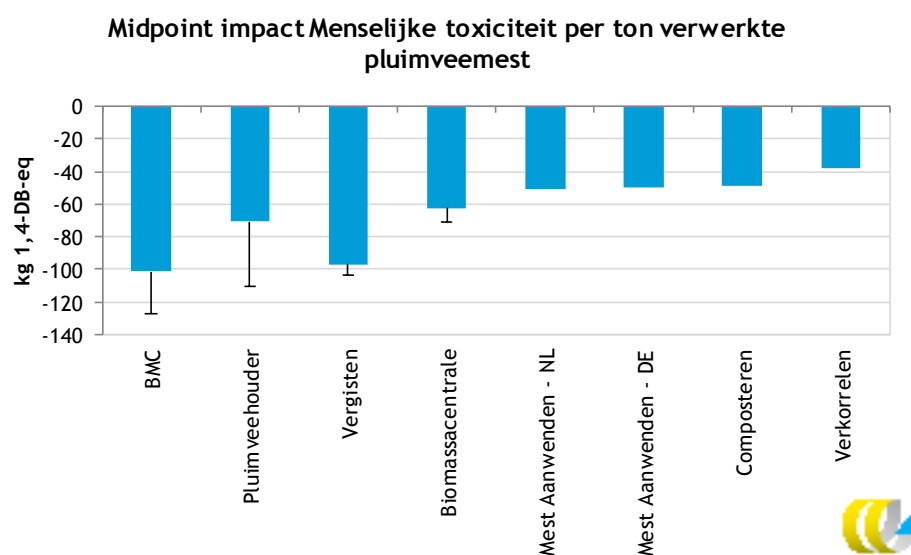
In Figuur 12 is te zien dat bijna alle routes, behalve mestaanwending in Duitsland en verkorrelen een milieuvoordeel opleveren in de categorie klimaatverandering. Dit betekent dat er bijna alle routes dus minder bijdragen aan klimaatverandering dan bij gebruik van elektriciteit uit het reguliere elektriciteitsnet en de inzet van kunstmest. Als er ook warmte afgezet kan worden dan kan verwerking bij de pluimveehouder en verwerking in de biomassacentrale op hout een iets groter milieuvoordeel opleveren dan de BMC-route. Als er geen warmte wordt afgezet, levert de thermische conversie bij BMC het grootste milieuvoordeel.

Figuur 12 Resultaten klimaatverandering



In Figuur 13 is te zien dat alle routes leiden tot een milieuvoordeel voor menselijke toxiciteit. De impact categorie ‘menselijke toxiciteit’ laat de schade zien van giftige stoffen op de menselijke gezondheid. In dit geval is er bij alle routes minder schade door giftige stoffen dan er zou zijn bij gebruik van elektriciteit uit het reguliere elektriciteitsnet en de inzet van kunstmest. Thermische conversie bij BMC levert het meeste milieuvoordeel op, maar ook vergisten biedt een groot milieuvoordeel.

Figuur 13 Resultaten menselijke toxiciteit

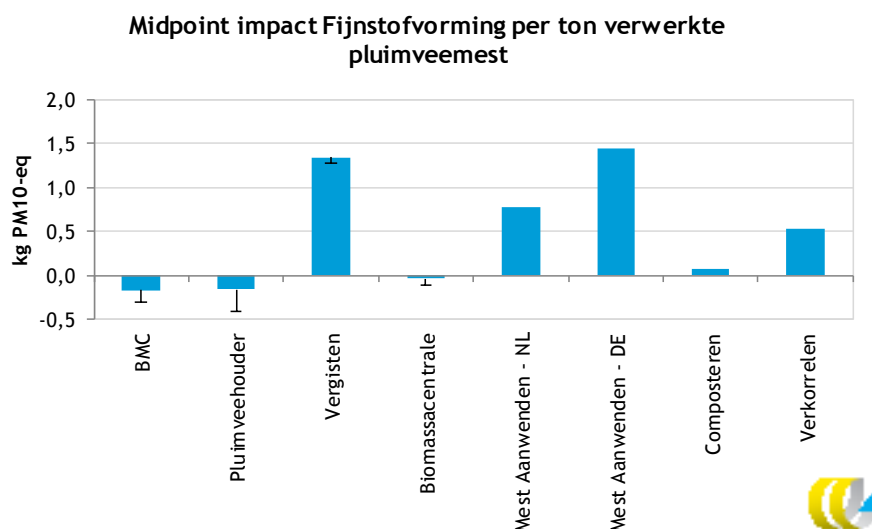


In Figuur 14 is te zien dat de routes waarin geen stikstofhoudende producten worden afgezet in de landbouw een milieuvoordeel hebben. De hoge impact bij het direct aanwenden van mest en het vergisten van mest zijn de ammoniakemissies tijdens de landbouw uit ruwe mest en digestaat.



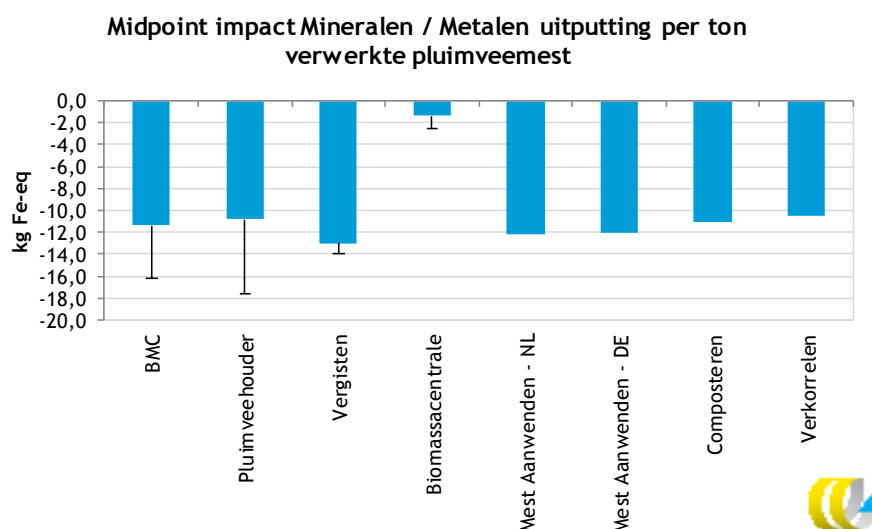
Ook de fijnstofemissies tijdens transport zijn terug te zien, vooral bij de het verkorrelen van pluimveemest. Thermische conversie bij BMC levert het grootste milieuvoordeel op. Als er ook warmte afgezet kan worden dan kan verwerking bij de pluimveehouder een iets groter milieuvoordeel opleveren dan de BMC-route.

Figuur 14 Resultaten fijnstofvorming



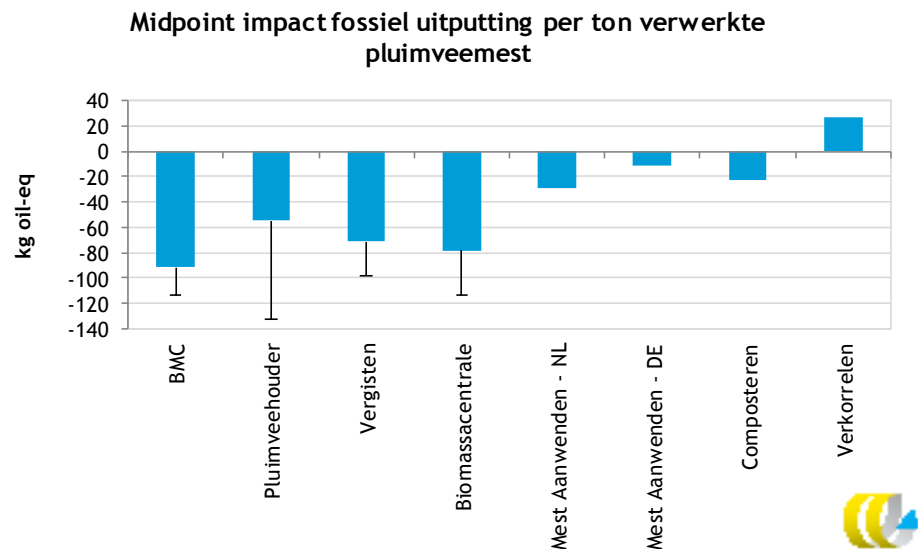
In Figuur 15 is te zien dat het milieuvoordeel voor mineralen- en metalen-uitputting voor alle routes vergelijkbaar is behalve bij het bijstoken van pluimveemest in een biomassacentrale. Dit is dan ook de enige route waarbij geen fosfor (uitgedrukt als P_2O_5) en kalium (uitgedrukt als K_2O) wordt afgezet in de landbouw. Als de werkzaamheid van P_2O_5 100% blijkt te zijn in plaats van 37% leveren zowel de thermische conversie bij BMC en bij de pluimveehouder een groter milieuvoordeel. Als de werkzaamheid van P_2O_5 37% zou zijn, dan heeft verkorrelen het grootste milieuvoordeel.

Figuur 15 Resultaten mineralen/metalen-uitputting



In Figuur 16 is te zien dat alle routes behalve het verkorrelen van pluimveemest een milieuvoordeel opleveren op het gebied van uitputting van fossiele grondstoffen. Dit milieuvoordeel wordt vooral gerealiseerd door het uitsparen van N-kunstmest en elektriciteitsopwekking. Thermische verwerking bij BMC Moerdijk levert het grootste milieuvoordeel op. Als ook de warmte wordt afgezet bij thermische conversie bij de pluimveehouder en biomassacentrale op hout, dan zouden deze twee routes een hogere milieuvoordeel kunnen hebben dan thermische conversie bij BMC, als daar geen warmte wordt afgezet.

Figuur 16 Resultaten fossieluitputting



5.3 Conclusie LCA-studie

BMC, Pluimveehouder en Biomassacentrale hebben grootste milieuvoordeel

De meest voordelige verwerkingsroutes vanuit milieuoogpunt zijn thermische conversie bij BMC Moerdijk, bijstoken in een biomassacentrale op hout en thermische conversie bij de pluimveehouder. Deze leveren op alle midpoints en in de single score een milieuvoordeel op. Vergisten van pluimveemest levert in veel gevallen een milieuvoordeel op, behalve op het midpoint fijnstofvorming. Daar heeft vergisten een milieubelasting door emissies uit het digestaat in de landbouw.

In de basismodellering heeft thermische conversie bij BMC Moerdijk in de meeste midpoints en de single score het grootste milieuvoordeel. Dit zou anders kunnen zijn als de warmte bij de pluimveehouder of bij de biomassacentrale nuttig kan worden afgezet. Hierbij zijn echter veel onzekerheden, omdat beide routes nog niet (veel) gebruikt worden in Nederland. Een aanbeveling aan BMC Moerdijk is daarom ook om te onderzoeken of de warmte die wordt geproduceerd in de centrale kan worden afgezet.

We kunnen concluderen dat alle verwerkingsroutes die geen elektriciteit produceren óf in de single score óf op een aantal midpoint-categorieën een (kleine) milieubelasting hebben.

Beperkingen van de methode

De gebruikte LCA-methode kent een aantal beperkingen:

- nitraatmissies naar water worden niet doorgerekend naar de ReCiPe single score;
- bij het normaliseren en wegen van de toxiciteitsemissies, leveren deze toxiciteitsemissies ten opzichte van de andere midpoints maar een zeer beperkte bijdrage aan de ReCiPe single score, waardoor de toxiciteits-emissies vrijwel niet meer zichtbaar zijn in de uiteindelijke single score.

De getrokken conclusies zullen door deze twee beperkingen niet veranderen. De nitraatmissies vinden alleen plaats bij het direct aanwenden van mest, composteren, verkorrelen en vergisten. Deze zullen dus een iets grotere milieubelasting of kleiner milieuvoordeel hebben als de nitraatmissies wel zouden worden meegerekend.

De zware metalen die niet zijn meegerekend, zoals aangegeven in Bijlage D hebben maar een kleine bijdrage aan de ReCiPe single score. Dit is niet raar omdat toxiciteitsemissies door normaliseren bijna volledig wegvallen in de ReCiPe single score. Echter omdat de hoeveelheid zware metalen in pluimveemest as voor bijna alle metalen lager is, of vergelijkbaar met de hoeveelheid zware metalen in de onbewerkte mest zal dit de getrokken conclusies niet veranderen.

Beperkingen van droogproces buiten de systeemgrenzen

Bij de afbakening van de systeemgrenzen is besloten om de droging van pluimveemest buiten de systeemgrenzen te laten vallen. Op basis van gegevens van RVO, blijkt het volgende: Voor het drogen van pluimveemest naar het droge stofgehalte van 1 ton pluimveemest die bij BMC wordt verbrand (namelijk 57%) is ongeveer 1,5 keer zoveel energie nodig als er per ton wordt opgewekt bij BMC door thermische conversie van pluimveemest⁵.

Welk deel er van deze energie binnen de systeemgrenzen zou kunnen vallen, en wat er wordt uitgespaard, is niet bekend om twee redenen.

De eerste reden heeft te maken met allocatie. Zoals aangegeven in Paragraaf 2.5 zijn er verschillende redenen om de pluimveemest te drogen. Ook redenen die niets te maken hebben met de verwerking van de pluimveemest. De benodigde energie zou dus moeten worden gealloceerd. Aan de inputstroom die in deze studie wordt gebruikt moet dan alleen het gedeelte van de energie worden toegerekend dat nodig is voor de toevoer van mest aan BMC.

De tweede reden heeft te maken met de warmtebron. De gebruikte warmte voor het drogen van de pluimveemest kan voortkomen uit restwarmte uit de stallen van het pluimvee, met name in de zomer. In dat geval is er dus geen extra energieopwekking nodig voor de benodigde hoeveelheid energie. Dit neemt niet weg dat het niet modelleren van het proces van droging wel een beperking van de studie is die invloed zou kunnen hebben op de resultaten.

⁵ Drogen van 30% droge stof naar 57% droge stof zoals gebruikt bij BMC houdt in dat er per ton mest die bij BMC verwerkt wordt $(57/30) * 570 - 300 = 513$ kg aan water uit de mest gehaald moet worden. Bij het gebruik van een tunnel- of banddroger wordt hiervoor maximaal 6 MJ/kg water gebruikt (RVO, 2015). Per ton mest is dit dus ongeveer 3.000 MJ die nodig is voor de droging. Bij BMC wordt ongeveer 2.100 MJ elektriciteit geproduceerd per ton verwerkte pluimveemest.



6 Gevoeligheidsanalyse

Op basis van de contributieanalyses die zijn weergegeven in Bijlage I is bepaald welke gevoeligheidsanalyses we uitvoeren. Bij BMC hebben we gekeken naar processen die meer dan 1% van de totale milieubelasting uitmaken. Voor de andere routes hebben we gekeken naar de processen die meer dan 5% van de totale milieubelasting uitmaken.

Bij de gevoeligheidsanalyses variëren we de data-input van ófwel de gemaakte aannames ófwel het jaar waarop de data betrekking hebben: we kijken dan niet naar 2015, maar naar het meerjarige gemiddelde van 2010 tot 2015.

Een overzicht van de gevoeligheidsanalyses is terug te vinden in Tabel 11 en Tabel 12. De gevoeligheidsanalyse van BMC wordt besproken in Bijlage H.2, de gevoeligheidsanalyses van alle andere routes zijn weergegeven in Bijlage J.

Tabel 11 Gevoeligheidsanalyses voor alle routes

Gevoeligheidsanalyse	Omschrijving
Fossiele koolstof in pluimveevoer	In pluimveevoer kan qua gewicht ongeveer 10% kalk zitten met een fossiele herkomst. CaCO_3 bevat qua gewicht 12% koolstof, terwijl de overige 90% van het gewicht van het voer ongeveer 40% koolstof bevat. Dit betekent dat pluimveevoer ongeveer $(10\% \cdot 12\%) / ((10\% \cdot 12\%) + (90\% \cdot 40\%)) = 3,2\%$ fossiele koolstof bevat. We gaan ervan uit dat deze verhouding ook geldt voor de mest en er dus 3% van de koolstof in de mest fossiel is.



Tabel 12 Samenvatting gevoeligheidsanalyses - per route

Route	Gevoeligheidsanalyse	Omschrijving
BMC	Gebruik dieselolie	Variërend van 446.875 tot 824.713 l per jaar tussen 2010 en 2015. Variatie wordt met name veroorzaakt door aantal keren af- en opstoken. (BMC Moerdijk, 2016a)
	Gebruik aardgas	Variërend van 246.945 tot 1.682.936 m ³ per jaar tussen 2010 en 2015. Door structurele aanpassingen in het proces heeft BMC het aardgasverbruik verlaagd met 85%. (BMC Moerdijk, 2016a)
	Elektriciteitslevering aan net	Variërend van 0,54 tot 0,58 MWh per ton mest verwerkt tussen 2010 en 2015. (BMC Moerdijk, 2016a)
	Werkzaamheid K ₂ O	80 tot 100%
	P ₂ O ₅ -gehalte in pluimveemest	18 tot 21 kg per ton mest. Er is een discrepantie tussen de gemeten hoeveelheid P ₂ O ₅ in de mest en de hoeveelheid gemeten in de pluimveemest, daarom is gekozen voor een variatie op basis van het werkelijk gemeten gehalte in pluimveemest.
	K ₂ O-gehalte in pluimveemest	17 tot 21 kg per ton mest. Er is een discrepantie tussen de gemeten hoeveelheid K ₂ O in de mest en de hoeveelheid gemeten in de pluimveemest, daarom is gekozen voor een variatie op basis van het werkelijk gemeten gehalte in pluimveemest.
	Afstand transport pluimveemest	Variërend van 50 tot 150 km.
Biomassacentrale	Stookwaarde van pluimveemest	Variërend van 7,15 tot 7,38 GJ per ton mest tussen 2010 en 2015. (BMC Moerdijk, 2016a)
	Elektrisch rendement	Variërend van laagste elektrische rendement in Europa voor CHP plant >20 MW (BASIS, 2015) van 16% bruto (15,4 netto) tot 29,4% netto.
	Afstand transport pluimveemest	Variërend van 50 tot 150 km.
Thermische conversie bij de pluimveehouder	Stookwaarde van pluimveemest	Variërend van 7,15 tot 7,38 GJ per ton mest tussen 2010 en 2015. (BMC Moerdijk, 2016a)
	Netto elektrisch rendement	Variërend van 15 tot 10%.
	P ₂ O ₅ -gehalte in pluimveemest	18 tot 21 kg per ton mest. Net als bij thermische conversie bij BMC.
	K ₂ O-gehalte in pluimveemest	17 tot 21 kg per ton mest. Net als bij thermische conversie bij BMC.
Directe aanwending mest NL	Ammoniak en lachgasemissies direct toepassen meststof	-20 tot +20%.
	Geen vervangende waarde mest	In Nederland is er een mestoverschot en er moet worden betaald om ruwe mest af te zetten door de pluimveehouder. Voor het nuttig inzetten van de ruwe pluimveemest moeten nog flinke hoeveelheden aan stikstof en kalium kunstmest worden toegevoegd voor een aantal verschillende gewassen die in Nederland verbouwd worden (NMIa, 2016). De stikstoflevering van pluimveemest aan gewassen is veel lager dan bij varkensdrijfmest en dus is er een voorkeur voor varkensdrijfmest waar ook een overschot van is. We nemen de vervanging van kunstmest niet mee.
	Vastlegging koolstof	-20 tot +20%.
	Afstand transport pluimveemest	Variërend van 50 tot 150 km.

Route	Gevoeligheidsanalyse	Omschrijving
Directe aanwending mest DE	Afstand transport naar Duitsland	Variërend van 150 km tot 500 km.
	Ammoniakemissie direct toepassen	Minimaal emissie zoals in Nederland. Maximaal +30% ammoniakemissie factor (N/Norg) en aandeel urinezuur in pluimveemest 0,7 kg per kg Norg. Onzekerheid ammoniakemissiefactor als aangegeven door (Dämmgen, 2009) en aandeel urinezuur door (NMI, 2016b).
	Lachgasemissie direct toepassen	Emissie in Nederland tot +100%. Onzekerheid als aangegeven door (Dämmgen, 2009).
	Vastlegging koolstof	-20 tot +20%.
Composteren	N-gehalte in compost	-20 tot +20%.
	P ₂ O ₅ -gehalte in compost	12,6 tot 14,7 kg per ton mest verwerkt. Er is een discrepantie tussen de berekende hoeveelheid P ₂ O ₅ in compost en de theoretische hoeveelheid P ₂ O ₅ in compost. Daarom is gekozen voor een variatie op basis van de berekende hoeveelheid in compost.
	K ₂ O-gehalte in compost	18 tot 21 kg per ton mest verwerkt. Er is een discrepantie tussen de berekende hoeveelheid K ₂ O in compost en de theoretische hoeveelheid K ₂ O in compost. Daarom is gekozen voor een variatie op basis van de berekende hoeveelheid in compost.
	Vastlegging koolstof	-20 tot +20%.
	Afstand transport meststof	Naar Duitsland (150 km) i.p.v. naar Frankrijk (300 km)
	Ammoniakemissie s verwerken	-20 tot +20%.
	Lachgasemissie toepassen	-20 tot +20%.
Composteren en verkorrelen	N-gehalte in korrels	-20 tot +20%.
	K ₂ O-gehalte in korrels	15 tot 21 kg per ton mest verwerkt. Er is een discrepantie tussen de berekende hoeveelheid K ₂ O in korrels en de theoretische hoeveelheid K ₂ O in korrels. Daarom is gekozen voor een variatie op basis van de berekende hoeveelheid in korrels.
	P ₂ O ₅ -gehalte in korrels	9,4 tot 14,7 kg per ton mest verwerkt. Er is een discrepantie tussen de berekende hoeveelheid P ₂ O ₅ in korrels en de theoretische hoeveelheid P ₂ O ₅ in korrels. Daarom is gekozen voor een variatie op basis van de berekende hoeveelheid in korrels.
	Vastlegging koolstof	-20 tot +20%.
	Afstand transport meststof	100% afzet in Spanje i.p.v. deels afzet in Azië
	Aardgasgebruik	-20 tot +20%.
	Ammoniakemissie toepassen	-20 tot +20%.
Lachgasemissie toepassen	-20 tot +20%.	
Meevergisten in een centrale in DE	Biogasproductie	-20
	Elektrisch rendement	-10 tot +10%.
	P ₂ O ₅ -gehalte in digestaat	-20
	K ₂ O-gehalte in digestaat	-20
	N-gehalte in digestaat	-20 tot +20%.
	Lachgasemissies toepassen	-20 tot +20%.
	Ammoniakemissie s toepassen	-20 tot +20%.



6.1 Conclusie gevoeligheidsanalyse

Figuur 17 geeft de resultaten van alle gevoeligheidsanalyses, toegepast op de basisroutes van de LCA. De figuur laat zien dat ondanks de gevoeligheden in de basisanalyse de resultaten vergelijkbaar blijven. We bespreken de gevoeligheden per route.

Thermische verwerking en biomassacentrale

Zowel voor thermische conversie bij BMC, thermische conversie bij de pluimveehouder en de verwerking in de biomassacentrale op hout komt de grootste onzekerheid door het elektrisch rendement van de centrales.

Verwerking bij BMC Moerdijk en bij de pluimveehouder kan nog iets positiever uitpakken als de werkzaamheid van de fosfor in de pluimveemesttas hoger blijkt te zijn dan 37%. Veel positiever zullen deze routes niet uitpakken behalve als er ook warmte kan worden afgezet, zoals eerder al aangegeven in Hoofdstuk 5.

Vergisten

Het vergisten van pluimveemest levert hoogstwaarschijnlijk een milieuvoordeel op. Hoeveel is echter vrij onzeker omdat deze verwerkingsmethode nu niet wordt toegepast in Nederland. Vooral het elektrisch rendement van de aangesloten WKK die elektriciteit produceert en de hoeveelheid biogas die kan worden geproduceerd leveren een onzekerheid op.

Mest aanwending in Nederland

De grootste onzekerheid bij het aanwenden van ruwe mest in Nederland is of de mest wel kan worden afgezet in Nederland, omdat er een mestoverschot is. Als de mest wel afgezet kan worden, dan leidt mestaanwending in Nederland tot een klein milieuvoordeel.

Mest aanwending in Duitsland

De onzekerheden bij aanwending ruwe mest in Duitsland, komen vooral door de directe emissies bij het uitrijden van de mest op het land. Aanwending in Duitsland kan zowel hoger als lager uitvallen dan de mestaanwending in Nederland. De meest positieve aannames voor aanwending in Duitsland leiden tot een klein milieuvoordeel.

Composteren

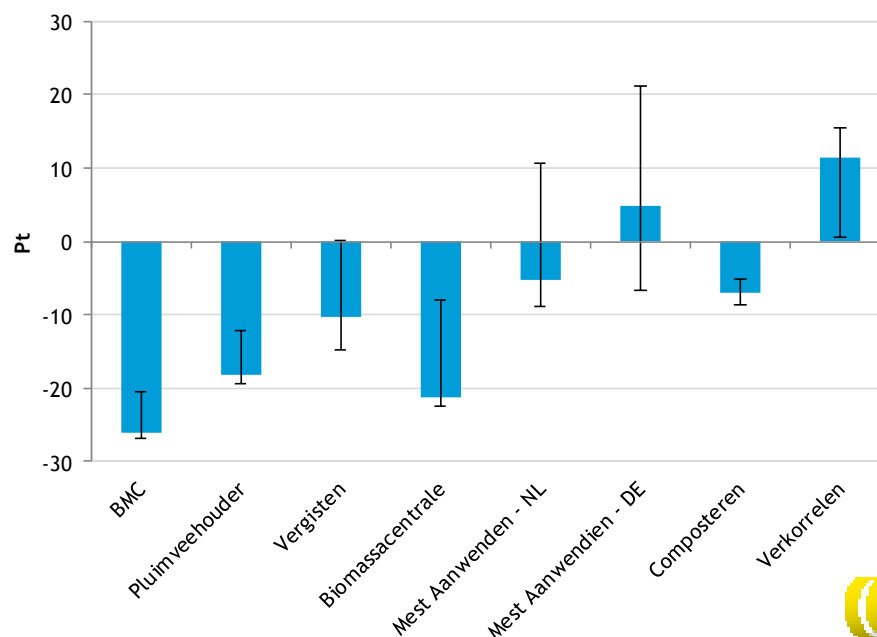
Het composteren van pluimveemest levert hoogstwaarschijnlijk een milieuvoordeel op maar zal niet in de buurt komen van het milieuvoordeel van routes waarin energie wordt geproduceerd. Zeker niet als deze ook hun warmte kunnen afzetten.

Verkorrelen

Het verkorrelen van pluimveemest kan een stuk minder milieubelasting opleveren door de korrel minder ver te vervoeren, maar zal hoogstwaarschijnlijk geen milieuvoordeel kunnen opleveren.



Figuur 17 Vergelijking op basis van gevoeligheidsanalyse - zonder eerdere onzekerheden



Gedetailleerde gevoeligheidsanalyses per route zijn te vinden in Bijlage J behalve voor de BMC-route, deze is te vinden in Bijlage G.

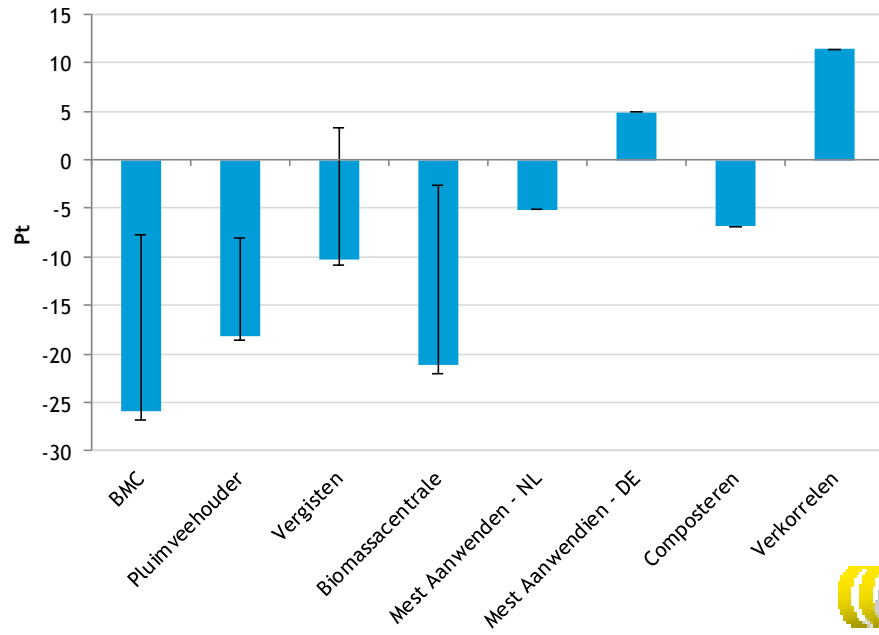
Gevoeligheidsanalyse vervanging elektriciteitsmix

Naast de gevoeligheidsanalyses die hierboven zijn weergegeven zijn de resultaten afhankelijk van de gemiddelde elektriciteitsmix in Nederland. We hebben in de analyse aangenomen dat de geproduceerde elektriciteit in verschillende routes de gemiddelde Nederlandse elektriciteitsmix vervangt. De Nederlandse mix bestaat op dit moment voor een groot gedeelte uit grijze stroom.

Mocht er in de toekomst meer groene stroom gebruikt worden dan vallen de resultaten mogelijk anders uit. Dit is in Figuur 18 te zien als de marge omhoog, richting milieubelasting. De kleine marge richting milieuvoordeel geeft een nog grijzere mix aan dan in Nederland nu in gebruik is.

Mocht de stroommix in Nederland ooit volledig groen worden dan is het vergisten van pluimveemest hoogstwaarschijnlijk geen goede optie. Verwerking van pluimveemest bij BMC Moerdijk, in een biomassacentrale op hout en bij de pluimveehouder zouden nog wel een milieuvoordeel op kunnen leveren. Thermische conversie van pluimveemest zou dan een vergelijkbaar milieuvoordeel hebben als het direct aanwenden van mest in Nederland en het composteren van pluimveemest.

Figuur 18 Gevoeligheidsanalyse vervanging elektriciteitsmix



Vervanging grijze mix is gebaseerd op de grijze stroom nu in het Nederlandse net en de groene mix is gebaseerd op de groene stroom nu in het Nederlandse net zoals aangegeven in (CE Delft, 2014).

7 LCA-studie met systeem-uitbreiding

In Bijlage K hebben we de LCA uitgevoerd op basis van systeemuitbreiding in plaats van allocatie op basis van fysieke relaties, zoals in de basis-LCA is toegepast. Dit hoofdstuk beschrijft de belangrijkste conclusies van de LCA-studie met systeemuitbreiding.

Volgens systeemuitbreiding worden alle routes aangevuld, zodat de eindproducten vergelijkbaar zijn. Bij systeemuitbreiding wordt dan ook een andere functionele eenheid gehanteerd.

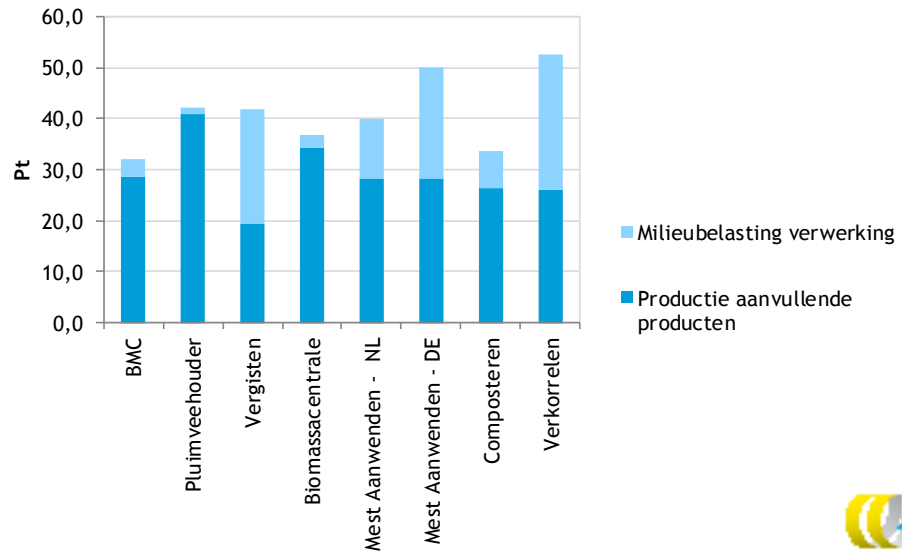
In de studie met systeemuitbreiding wordt deze functionele eenheid gebruikt: “De verwerking van 1 ton pluimveemest en de productie van 597 kWh elektriciteit, 14,4 kg eenjarig werkzame stikstof, 14,8 kg eenjarige werkzame fosfor (uitgedrukt als P_2O_5), 21 kg eenjarige werkzame kalium (uitgedrukt als K_2O) en 207 kg effectieve organische stof”.

Deze functionele eenheid is een combinatie van de maximale hoeveelheid van de productie van elektriciteit, mineralen en effectieve organische stof uit de verschillende routes. Voor de duidelijkheid: we vullen de routes dus niet aan naar de maximale hoeveelheid van bijvoorbeeld mineralen die in de mest aanwezig was, maar de maximale eenjarige werkzame stof die in het eindproduct van één van de routes aanwezig is. In het geval van BMC houdt dit in dat dus niet voor alle verloren stikstof gecompenseerd hoeft te worden, maar alleen die stikstof die in de route van vergisten wordt behouden. Vergisten is de route waarin de meeste stikstof behouden blijft.

Figuur 19 (die gelijk is aan Figuur 57) geeft voor elke route de totale milieubelasting weer, na systeemuitbreiding. In deze figuur is te zien welk deel van de milieubelasting wordt veroorzaakt door de verwerking van 1 ton pluimveemest (in lichtblauw), en welk gedeelte van de milieubelasting wordt veroorzaakt door de productie van aanvullende producten (in donkerblauw), om aan de functionele eenheid te kunnen voldoen.

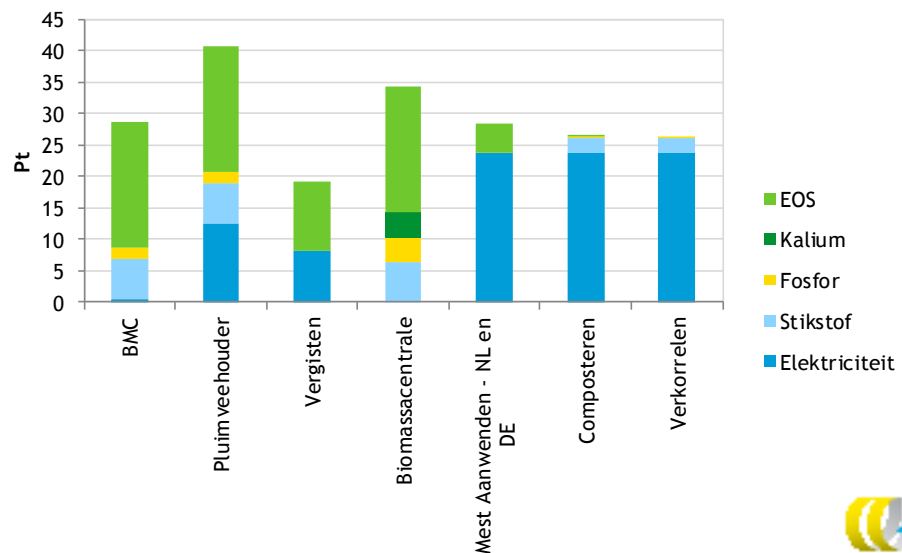


Figuur 19 Vergelijking milieubelasting systeemuitbreiding



De milieubelasting voor verwerking, weergegeven als lichtblauwe balk in Figuur 19 is gelijk aan de milieubelasting die in Figuur 11 boven de x-as wordt weergegeven. Het milieuvoordeel, dat in Figuur 11 onder de x-as wordt weergegeven, komt in deze systeemuitbreiding niet terug als milieuvoordeel, maar wordt juist in de andere routes zichtbaar als nadeel. Een voorbeeld: Bij BMC is de elektriciteitsproductie in Figuur 11 onder de x-as weergegeven als milieuvoordeel. In de LCA-studie met systeemuitbreiding komt dit in de routes zonder elektriciteitsproductie (zoals directe aanwending van mest) terug als milieubelasting van het aanvullende product 'electriciteit'.

Figuur 20 Milieu-impact van de aangevulde producten per route



7.1 Conclusie LCA-studie met systeembreiding

Bij de LCA-studie met systeembreiding kunnen we concluderen dat de BMC-route de laagste milieubelasting heeft. Deze is dus vanuit milieuoogpunt het meest aantrekkelijk, net zoals in de basis-LCA. Het composteren van pluimveemest komt qua milieubelasting erg in de buurt, terwijl deze bij basis-LCA niet zo positief uitkwam.

Als we Figuur 19 vergelijken met Figuur 10 zien we dat Composteren van de vijfde plaats naar de tweede plaats opschuift. Mest aanwenden in Nederland verschuift van de zesde naar de vierde plaats.

Deze verandering is vreemd want in principe zouden de absolute verschillen tussen de verschillende routes met de substitutiemethode en de systeembreiding gelijk moeten zijn. De volgorde van de routes ten opzichte van elkaar zouden dus door het gebruik van systeembreiding niet moeten veranderen ten opzichte van de basis-LCA. Degene met de hoogste milieubelasting blijft de hoogste milieubelasting houden, en degene met de laagste milieubelasting blijft de laagste milieubelasting houden.

De verandering komt door het feit dat in de modellering van de basis-LCA de toegevoegde EOS in de bodem niet als product wordt gezien dat kan worden vervangen (gesubstitueerd). In de praktijk wordt de EOS in de landbouw namelijk niet aangevuld. In plaats daarvan zijn we in de basis-LCA uitgegaan van een vastlegging van CO₂. Omdat we in de systeemexpansie de EOS wel aanvullen, zorgt dit voor een verschuiving.

Ter illustratie; in het geval van elektriciteit aanvullen gaan we in de basis-LCA uit van een vervanging (en dus een milieuvoordeel), terwijl er in de LCA-studie met systeembreiding extra elektriciteit moet worden geproduceerd (en dus een milieubelasting). Het milieuvoordeel voor de biomassacentrale in de basis-LCA en het milieunadeel voor het direct aanwenden van mest zijn in dit geval precies hetzelfde. Omdat het milieuvoordeel voor de EOS in de basis-LCA anders is (namelijk CO₂-vastlegging) dan het milieunadeel voor de EOS in de LCA met systeembreiding (aanvullen van EOS), zorgt dit voor een verschuiving.

De laagste milieubelasting wordt in de LCA met systeembreiding gerealiseerd door thermische conversie bij BMC. Dit is in lijn met de basis-LCA, waar deze route het grootste milieuvoordeel leverde.

De grootste milieubelasting wordt in de LCA met systeembreiding gerealiseerd door het verkorrelen en het aanwenden van ruwe mest in Duitsland. Deze twee routes waren ook in de basis-LCA de meest milieubelastende routes.



8 Conclusies en aanbevelingen

De eindconclusie in Paragraaf 8.1 is gebaseerd op de conclusies van de verschillende losse onderdelen van deze studie die zijn beschreven in de volgende hoofdstukken:

Mineralenbalans	Paragraaf 4.2
LCA-studie	Paragraaf 5.3
Gevoeligheidsanalyse	Paragraaf 6.1
LCA met systeembuitbreiding	Paragraaf 7.1

8.1 Eindconclusie

Mineralenbalans: In biomassacentrale gaan alle mineralen verloren, bij thermische conversie blijven fosfor en kalium behouden

De mineralenbalans laat zien dat bij bijstoken in een biomassacentrale alle mineralen voor de landbouw verloren gaan. Bij thermische conversie gaan de grondstoffen organische stof en stikstof verloren, maar blijven fosfor (uitgedrukt als P_2O_5) en kalium (uitgedrukt als K_2O) behouden. In de andere routes blijven alle vier de elementen behouden.

LCA: Routes met energieopwekking leveren milieuvoordeel

De LCA-studie laat zien dat alle routes waarin elektriciteit wordt geproduceerd vanuit milieuoogpunt het meest voordelig zijn. Het gaat om thermische conversie bij BMC of de pluimveehouder, bijstoken in de biomassacentrale en vergisten. Zij hebben een positieve score voor zowel de totale milieubelasting als voor alle afzonderlijke milieueffecten, behalve vergisten die een negatieve bijdrage heeft wat betreft fijnstofvorming. Het totale milieuvoordeel van deze routes kan in alle gevallen nog groter zijn als ook warmte wordt afgezet. De warmteafzet kan dus bepalend zijn voor het verschil tussen deze routes die energie opwekken.

Totaalbeeld LCA en mineralenbalans: BMC en Pluimveehouder meeste milieuvoordeel

Bij het combineren van beide onderdelen van de studie, de mineralenbalans en de LCA-studie, komen zowel de thermische conversie bij BMC als bij de pluimveehouder positief naar voren.

Bij deze routes gaan organische stof en stikstof verloren. De grondstoffen fosfor en kalium zijn eindig, en dus belangrijk vanuit de gedachte van de circulaire economie en behoud van grondstoffen. Daardoor kan er voor gekozen worden om meer gewicht te geven aan de resultaten voor deze stoffen, ten opzichte van de resultaten voor (effectieve) organische stof of stikstof. De thermische conversie van pluimveemest bij BMC komt er wat betreft behoud van kalium of fosfor evengoed uit als de andere routes. De eenjarige werkzaamheid van fosfor (uitgedrukt als P_2O_5) kan zowel beter als slechter uitpakken (afhankelijk van het soort akkerbouw waar de pluimveemest as wordt toegepast).



Organische stof en stikstof zijn echter ook belangrijke elementen, want door de afname van bodemorganische stof en stikstof in de bodem, kan de productiviteit van landbouwgrond ook dalen. Deze stoffen kunnen ook worden aangevuld vanuit een andere bron. Bijlage K geeft aan dat de combinatie van thermische verwerking van BMC en het aanvullen van organische stof en stikstof op een ander manier, bijvoorbeeld met kunstmest, nog steeds een milieuvoordeel oplevert.

Ook bij volledig groene stroom levert BMC Moerdijk milieuvoordeel op

Bij volledige groene stroomlevering in Nederland zou thermische conversie van pluimveemest een stuk minder milieuvoordeel opleveren.

Zowel thermische conversie bij de pluimveehouder als bij BMC Moerdijk blijven nog wel een klein milieuvoordeel opleveren en zullen vergelijkbaar scoren als het direct aanwenden van mest in Nederland en het composteren van pluimveemest.

Biomassacentrale scoort positief in LCA maar negatief in mineralenbalans

Bijstoken in een biomassacentrale komt positief naar voren in de LCA, maar de mineralenbalans laat zien dat in deze route alle mineralen voor de landbouw verloren gaan. Daarom scoort deze route in totaal toch niet positief.

Vergisten scoort middelmatig in zowel LCA als mineralenbalans

Over het vergisten van pluimveemest kan geen eenduidige conclusie worden getrokken door de hoge gevoeligheden in de analyse. Het milieuvoordeel zal waarschijnlijk lager zijn dan bij thermische conversie. In de mineralenbalans komt vergisten er voor de grondstoffen fosfor (uitgedrukt als P_2O_5) en kalium (uitgedrukt als K_2O) vergelijkbaar uit met de andere routes, wat betreft stikstof beter, maar wat betreft organische stof slechter.

Mest aanwenden, composteren en verkorrelen scoren laag in LCA en positief in mineralenbalans

Direct aanwenden van mest in Duitsland en verkorrelen leveren een (kleine) milieubelasting op in de LCA-studie. Direct aanwenden van mest in Nederland en Composterende leveren een klein milieuvoordeel op. De mineralenbalans laat zien dat in al deze routes, die geen elektriciteit of warmte produceren, organische stof en stikstof wel worden behouden, net zoals fosfor (uitgedrukt als P_2O_5) en kalium (uitgedrukt als K_2O).

Antwoord op de centrale vraag: BMC is milieukundig gezien aantrekkelijk

Deze studie heeft aangetoond dat het milieukundig gezien aantrekkelijk is om pluimveemest in de centrale van BMC in te zetten voor thermische conversie, als we dit vergelijken met acht andere routes voor het verwerken van pluimveemest. Indien bij de thermische conversie bij de pluimveehouder ook de warmte kan worden afgezet, is deze route milieukundig gezien het meest aantrekkelijk.



8.2 Aanbevelingen aan BMC

BMC Moerdijk kan het milieuvoordeel dat zij behaalt met de thermische conversie van pluimveemest verder verhogen door de warmte die wordt geproduceerd in de centrale nuttig af te zetten. Het is daarom aan te bevelen om te onderzoeken of dit mogelijk is.

Het grootste gedeelte van de milieubelasting door BMC komt voort uit de CO₂- en NO_x-emissies van het transport van de pluimveemest en het transport van de pluimveemestas. Het is daarom aan te bevelen om te onderzoeken of het mogelijk is om emissies te verlagen door efficiency- en besparingsmaatregelen te treffen bij het transport.



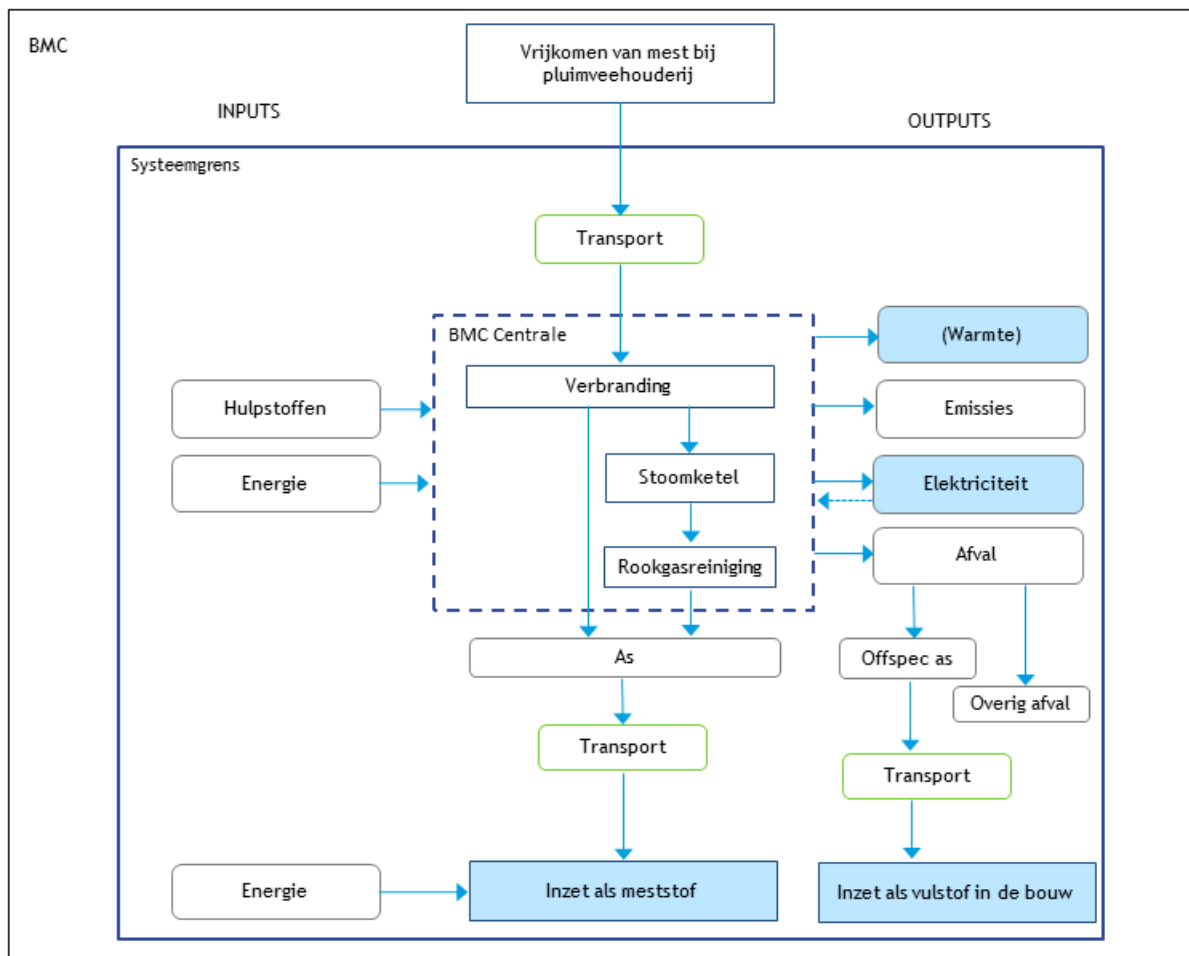
Bijlage A Inventarisatie

Deze bijlage bevat alle data die als input is gebruikt bij het maken van de levenscyclusanalyse. Per route worden eerst de systeemgrenzen aangegeven, en daarna de gebruikte data beschreven.

A.1 Thermische conversie bij BMC Moerdijk

BMC Moerdijk heeft in 2015 bij 438 kton pluimveemest verwerkt. Dit is een derde van de in totaal in Nederland geproduceerde pluimveemest.

A.1.1 Systeemgrenzen



Daar waar **Transport** staat, worden ook de energievraag en emissies meegenomen die gepaard gaan met dit transport. Een **blauwe** box geeft een vermeden product aan.

A.1.2 Beschrijving inventarisatie

Transport pluimveemest

De pluimveemest wordt van de pluimveehouder naar BMC in Moerdijk getransporteerd. De transportafstand van deze mest is gemiddeld 124 km en de mest wordt voor 30% getransporteerd in een vrachtwagen met containers, en voor 70% in een 'walking floor' vrachtwagen. Deze vrachtwagens gaan vol heen en leeg terug. Beiden transporten worden toegerekend aan BMC Moerdijk. De milieu-impact van de vrachtwagens is gemodelleerd op basis van STREAM (Study on Transport Emissions of All Modes) (CE Delft, 2011)⁶.

Hulpstoffen

In de BMC-centrale wordt een aantal hulpstoffen gebruikt. Deze hulpstoffen zijn te vinden in Tabel 13. BMC Moerdijk verwerkte in 2015 1 kton houtchips om de verbrandingswaarde van de pluimveemest in de winterperiode te verhogen. De houtchips bestaan voor 30% uit onbehandeld A-hout en voor 70% uit snoeihout. We modeleren deze als 100% houtpellets.

Energiegebruik en elektriciteitsproductie

Per jaar wekt de centrale 285 GWh aan stroom op. Een deel wordt aangewend voor eigen gebruik. Netto gaat 254 GWh naar het elektriciteitsnet; genoeg om 70.000 huishoudens van stroom te voorzien. Dit komt neer op een netto-rendement van 29%.

Op dit moment zet BMC de warmte die ze produceert niet af. Dit zou echter wel kunnen. Het gaat hierbij om 60.000 MWh per jaar.

Emissies verwerking

Directe emissies zoals gerapporteerd door BMC zijn te vinden in Tabel 13. Naast deze emissies ontstaan ook emissies door het verstoken van aardgas en gasolie. Deze emissies zijn berekend op basis van kentallen van het RVO voor energie-inhoud en CO₂-emissies per GJ (Vreuls & Zijlema, 2012).

Afvalverwerking

Het afvalwater van BMC Moerdijk gaat het riool in en wordt dus verwerkt in de rioolwaterzuivering. Er vindt geen voorzuivering plaats. Sita en Wubben verwerken de overige afvalstromen.

Afzet als meststof

BMC Moerdijk verkoopt pluimveemestas in het buitenland, zowel in Frankrijk als in België. In veel gevallen wordt de as rechtstreeks toegepast, in sommige gevallen wordt de as gemengd met andere meststoffen om zo een product op maat te maken. De as die ingezet wordt als meststof wordt 5 km getransporteerd naar de opslag, vanaf waar 40% van de as getransporteerd wordt naar Wallonië en 60% naar Noord-Frankrijk. De as die naar Wallonië gaat wordt voor 160 km getransporteerd per vrachtwagen en het transport naar Frankrijk gaat over 500 km per binnenvaartschip. In Frankrijk transporteert een vrachtwagen de as van de haven naar de akkerbouwer. We gaan uit van een afstand van 100 km. De milieu-impact van de vrachtwagens en het binnenvaartschip zijn gemodelleerd op basis van STREAM (CE Delft, 2011)⁷.

⁶ Er is uitgegaan van truck trailers met heavy cargo, met een load factor van 1, en een loadkilometerfactor en sharecontainersloaded van 0,5.

⁷ Er is uitgegaan van een truck >20 tonne met heavy cargo, en een Rhine Herne Canal Ship in een CEMT VI-kanaal met heavy bulk en general cargo.



Het dieselgebruik tijdens het uitrijden van de as is gebaseerd op het energieverbruik tijdens het uitrijden van mest uit een rapport van Ecoinvent (Nemecek & Kägi, 2007).

Afzet als vulstof

Ongeveer 0,4% van de geproduceerde pluimveemest kan niet worden afgezet als meststof. Deze pluimveemest levert BMC Moerdijk aan een verwerker die er vulstof van maakt. Deze vulstof wordt gebruikt in de bouwsector. We gaan ervan uit dat deze vulstof kalk vervangt en dat het transport van deze vulstof hetzelfde is als het transport van normale kalk.

Tabel 13 geeft een volledig overzicht van de inventarisatie van de thermische conversie bij BMC Moerdijk. Dit overzicht is gebaseerd op gegevens geleverd door BMC Moerdijk voor het jaar 2015, behalve als dit anders is aangegeven.

Tabel 13 Inventarisatie: BMC Moerdijk, per ton verwerkte pluimveemest, voor het jaar 2015

Onderdeel	Beschrijving	Hoeveelheid	Toelichting
Transport pluimveemest	Vrachtwagen	124 km	Vol heen, leeg terug
Hulpstoffen	Aardgas	0,564 m ³ /ton mest	70% snoeihout, 30% A-hout
	Gasolie	1,02 liter/ton mest	
	Houtchips	2,32 kg/ton mest	
	Ammoniak	0,08 kg/ton mest	
	Kalk	1,98 kg/ton mest	
	Smeerolie	2,74 gram/ton mest	
	Natriumhypochloriet	0,04 kg/ton mest	
	P3-Incidin 05	0,09 gram/ton mest	
	Performax 1085	0,01 kg/ton mest	
	Zand	14,06 kg/ton mest	
	Zwavelzuur	0,48 kg/ton mest	
	Koelwater	0,990 m ³ /ton mest	
	Drinkwater	0,003 m ³ /ton mest	
	Industriewater	0,129 m ³ /ton mest	
Directe emissies naar lucht	Biogene CO ₂	810,460 kg/ton mest	
	Fossiele CO ₂	3,794 kg/ton mest	
	CO	0,026 kg/ton mest	
	NO _x	0,329 kg/ton mest	
	TOC	0,003 kg/ton mest	
	SO ₂	0,006 kg/ton mest	
	HCl	0,003 kg/ton mest	
	Stof	0,001 kg/ton mest	
	NH ₃	0,003 kg/ton mest	
	HF	0,626 gram/ton mest	
	Kwik	0,001 gram/ton mest	
	SO ₃	0,039 gram/ton mest	
	Cadmium	0,004 gram/ton mest	
Afvalverwerking	Afvalwater	0,012 m ³ /ton mest	
	Bedrijfsafval	0,059 kg/ton mest	
	Afgewerkte olie	0,006 kg/ton mest	
Energieproductie	Elektriciteit	581,96 kWh/ton mest	In 2015 geleverd aan het net Mogelijk te leveren aan afnemer
	Warmte	137,12 kWh/ton mest	
Inzet als meststof	Pluimveemest	141,26 kg/ton mest	Enkele reis, as naar opslag Enkele reis, as naar klanten in Wallonië Enkele reis, as naar haven in Frankrijk Van haven in Frankrijk naar klanten in Frankrijk Dieselgebruik door tractor (Nemecek & Kägi, 2007)
	Vrachtwagen	5 km	
	Vrachtwagen	160 km	
	Binnenvaartschip	500 km	
	Vrachtwagen	100 km	
	Uitrijden meststof	0,0531 kg/ton pluimveemest	
Afzet als vulstof	Pluimveemest	0,62 kg/ton mest	Enkele reis, as naar verwerker
	Vrachtwagen	3 km	
Vermeden product	Tripelsuperfosfaat (als P ₂ O ₅)	7,8 kg/ton mest	Gebaseerd op 37% eenjarige werkzaamheid
	Kaliumsulfaat (als K ₂ O)	21,0 kg/ton mest	Gebaseerd op 100% eenjarige werkzaamheid



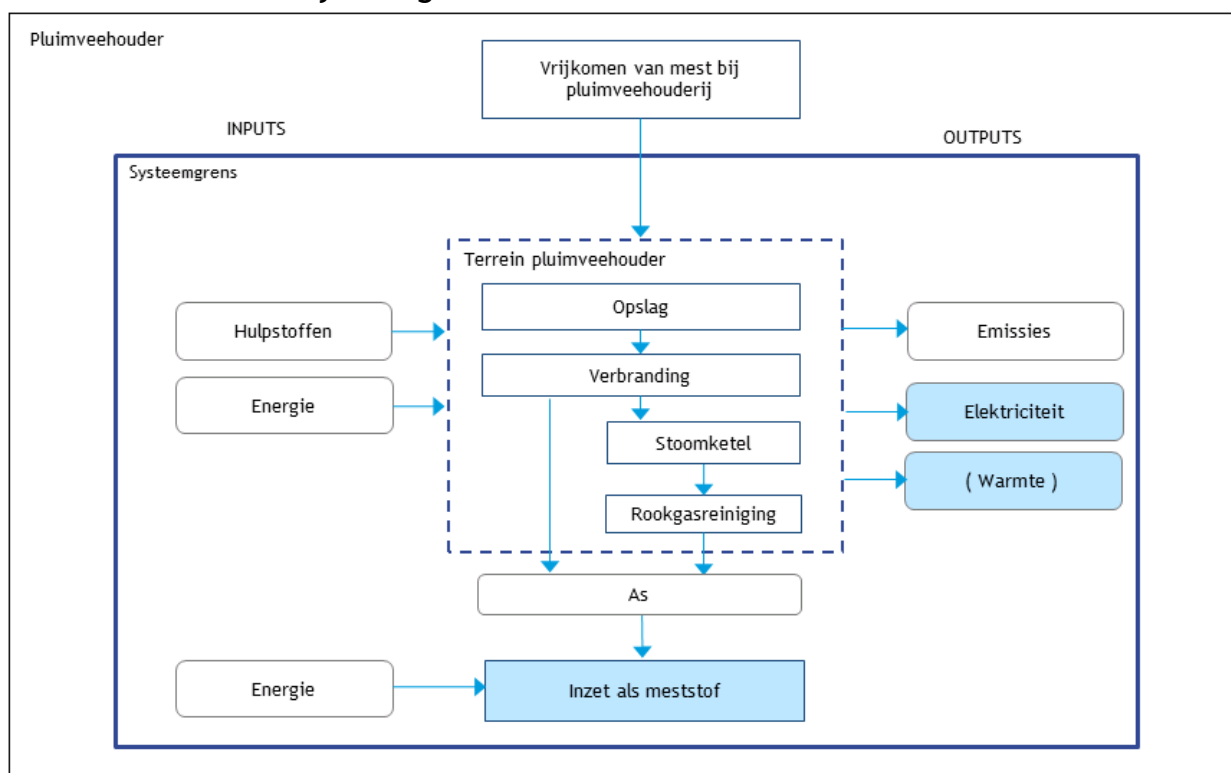
A.2 Thermische conversie bij de pluimveehouder

Pluimveemest kan worden verwerkt met decentrale thermische conversie op het terrein van de pluimveehouder. Dit vindt nog niet plaats in Nederland, maar er is wel een voorbeeld van deze route in Ierland bij BHSL (BSHL, 2016a). De pluimveehouder kan hiermee energie terugwinnen in de vorm van elektriciteit en warmte.

De pluimveemest die verwerkt wordt door BHSL is van een andere samenstelling dan die verwerkt wordt door BMC. Het droge stofgehalte komt wel overeen. We gaan ervan uit dat BHSL ook pluimveemest zou kunnen verwerken met dezelfde samenstelling als die door BMC verwerkt wordt.

Per dag verwerkt BHSL ongeveer 10 ton pluimveemest (BHSL, 2016c). Ter vergelijking, BMC verwerkt gemiddeld meer dan 1.250 ton pluimveemest per dag.

A.2.1 Systeemgrenzen



Daar waar **Transport** staat, worden ook de energievraag en emissies meegenomen die gepaard gaan met dit transport. Een **blauwe** box geeft een vermeden product aan.

A.2.2 Beschrijving inventarisatie

Emissies tijdens opslag

De totale opslagtijd van de mest kan oplopen tot zes weken, maar alle luchtzuivering uit de opslag gaat de verbrandingsoven in (BHSL, 2016c). Er zijn dus geen emissies. We gaan ervan uit dat dit ook zo is als deze methode in Nederland wordt toegepast.

Transport pluimveemest

Omdat de verwerking plaatsvindt bij de pluimveehouder is er geen transport nodig van de pluimveehouder naar de verwerker.

Hulpstoffen

Omdat de BHSL-reactor een wervelbedketel is wordt tijdens de verbranding van pluimveemest zand gebruikt. Er is geen data beschikbaar voor het gebruik van zand bij BHSL. Daarom gaan we uit van dezelfde hoeveelheid zand die ook gebruikt wordt bij BMC. Het gaat dan om 14,06 kg zand per ton verwerkte pluimveemest⁸.

Om de verbranding op gang te brengen wordt er 10 liter diesel gebruikt (BHSL, 2016c). Het proces wordt elke 6 weken opnieuw gestart (BHSL, 2016c). Dit betekent dat er ongeveer 0,24 liter diesel wordt gebruikt per dag, oftewel 0,024 liter per ton pluimveemest.

Er wordt per week maximaal 5 liter water gebruikt (BHSL, 2016c). We gaan uit van 250 liter per jaar.

Tot slot wordt er kalk gebruikt. Omdat er geen data beschikbaar is voor het gebruik van kalk bij BHSL gaan we uit van dezelfde hoeveelheid kalk die gebruikt wordt bij BMC. Het gaat dan om 1,98 kg kalk per ton verwerkte pluimveemest.

Energieproductie

Bij thermische conversie bij de pluimveehouder wordt zowel warm water als elektriciteit geproduceerd. Het bruto rendement van de installatie is volgens BHSL 15% elektrisch en 85% warmte (BHSL, 2016b). Dit aangegeven rendement is in de praktijk niet mogelijk, omdat er bij omzetten van energie altijd een verlies is. We gaan daarom uit van een zelfde totaal bruto rendement als bij de biomassacentrale; 53%. Dit betekent dat er 38% bruto warmterendement is. Omdat het netto rendement onduidelijk is gaan we net als bij het bijstoken van pluimveemest in een biomassacentrale uit van een netto rendement dat 8% lager ligt. Hiermee gaan we dus uit van een nettorendement van 13,8% elektrisch en 35,0% warmte.

De warmte wordt nu alleen afgezet op de boerderij. Het is onduidelijk of de warmte in de Nederlandse situatie kan worden afgezet. We gaan er daarom in deze basismodellering vanuit dat dit niet het geval is.

Het behaalde rendement wordt berekend over een stookwaarde van 7,3 MJ/kg pluimveemest, dit is de gemiddelde stookwaarde van de pluimveemest verwerkt door BMC Moerdijk.

⁸ Deze hoeveelheid klopt ongeveer volgens BHSL (BHSL, 2016c).



Emissies verwerking

BHSL heeft twee analyses laten uitvoeren van de emissies uit de thermische conversie installatie. De emissies tijdens deze analyse wijken van elkaar af. De gemiddelde emissies zijn echter; fijnstof 1,37 gram/uur, SO₂ 0,038 gram/uur en NO₂ 108 gram/uur. We gaan uit van een continu proces waarbij het proces 24 uur op een dag draait.

Conform Europese wetgeving wordt onderscheid gemaakt tussen grote verwerkingsinstallaties zoals BMC (Activiteitenbesluit) en kleine installaties bij de pluimveehouder (EU Verordening 592/2014). Grote verwerkingsinstallaties worden gezien als afvalverwerkingsinstallaties en daarvoor gelden meer en strengere emissienormen. Bovendien moeten deze grote installaties emissies continu monitoren. Dit betekent dat in de LCA enkel gerekend wordt met de emissies die wettelijk gemeten moeten worden en gemeten zijn. Dit houdt in dat er minder emissies meegenomen zijn in de verwerking bij de pluimveehouder dan bij BMC Moerdijk.

Afvalverwerking

Alle as wordt afgezet als meststof (BHSL, 2016c), en er is dus geen afval uit het proces.

Afzet als meststof

Voor Nederlandse pluimveehouders is het niet erg waarschijnlijk dat de as wordt verkocht, omdat het maar om kleine hoeveelheden gaat. In theorie zou het wel kunnen maar de as zal dan moeten worden afgezet buiten Nederland. We gaan ervan uit dat de as wél wordt afgezet.

De concentratie van de mineralen is hoger in de as geproduceerd door BHSL dan in de as geproduceerd bij BMC Moerdijk, omdat er minder as wordt geproduceerd. Dit heeft een gevolg voor hoeveelheid getransporteerde as. Bij BHSL wordt 1 ton pluimveemest geproduceerd bij de verwerking van 10 ton pluimveemest. We gaan ervan uit dat de as dezelfde afstand wordt getransporteerd als bij de BMC-centrale.

Het dieselgebruik tijdens het uitrijden van de as is gebaseerd op het energieverbruik tijdens het uitrijden van mest uit een rapport van Ecoinvent (Nemecek & Kägi, 2007).



Tabel 14 Inventarisatie: Decentrale thermische conversie op het terrein van de pluimveehouder

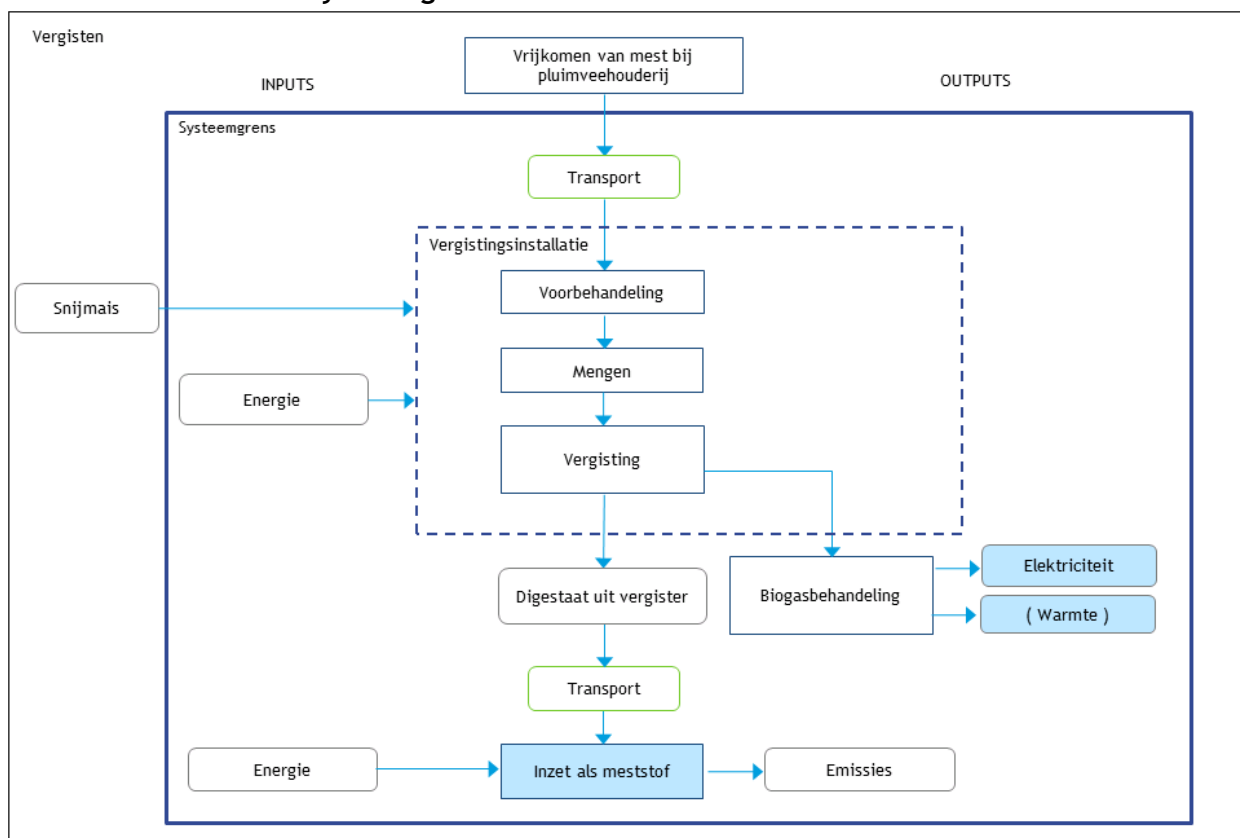
Onderdeel	Beschrijving	Hoeveelheid	Toelichting
Netto rendement	Elektrisch rendement Warmte rendement	13,8 % van stookwaarde 35,0% van stookwaarde	Bruto is elektrisch rendement is 15% en bruto warmte rendement is 38%. 8% reductie voor netto rendement.
Stookwaarde		7,3 GJ/ton mest	Gemiddelde stookwaarde van de pluimveemest verwerkt door BMC Moerdijk
Emissies	SO ₂ Fijnstof CO ₂ NO ₂	0,0812 g/ton mest 3,29 g/ton mest 2,72 kg/ton mest 259 g/ton mest	0,038 gram/uur. 24 uur operatie per dag, 10 ton verwerkt per dag. 1,37 gram/uur. 24 uur operatie per dag, 10 ton verwerkt per dag. Emissies uit verbranden diesel 108 gram/uur. 24 uur operatie per dag, 10 ton verwerkt per dag.
Hulpstoffen	Zand Diesel Water	14 kg/ton mest 0,024 liter/ton mest 0,07 liter/ton mest	
Inzet als meststof	Pluimveemestas Vrachtwagen Vrachtwagen Binnenvaartschip Vrachtwagen Uitrijden meststof	0,1 ton/ton mest 5 km 160 km 500 km 10 km 0,0531 kg/ton pluimveemestas	Voor het jaar 2015 Enkele reis, as naar opslag Enkele reis, as naar klanten in Wallonië Enkele reis, as naar haven in Frankrijk Van haven in Frankrijk naar klanten in Frankrijk Dieselgebruik door tractor (Nemecek & Kägi, 2007)
Vermeden product	Tripelsuperfosfaat (als P ₂ O ₅) Kaliumsulfaat (als K ₂ O)	7,8 kg/ton mest 21,0 kg/ton mest	Gebaseerd op 37% eenjarige werkzaamheid Gebaseerd op 100% eenjarige werkzaamheid

A.3 Meevergisten in een centrale in Duitsland

Pluimveemest kan worden vergist in een vergistingscentrale in Duitsland. Het gaat hierbij om covergisting. In dit proces wordt zowel biogas als digestaat geproduceerd. Productie van elektriciteit uit het verstoken van biogas dat is ontstaan uit covergisting is economisch niet rendabel zonder subsidie en zonder benutting van restwarmte en digestaat (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015). We gaan er daarom vanuit dat het digestaat wordt afgezet als meststof en dat het biogas direct wordt verstoekt in een WKK.



A.3.1 Steemgrenzen



Daar waar **Transport** staat, worden ook de energievraag en emissies meegenomen die gepaard gaan met dit transport. Een **blauwe** box geeft een vermeden product aan.

A.3.2 Beschrijving inventarisatie

Co-vergisting

Pluimveemest wordt nauwelijks monovergist. Door energie-gewassen bij te mengen kan een hogere opbrengst worden behaald en de kwaliteit worden gewaarborgd. In Duitsland wordt in covergistingsinstallaties 49% energie-gewassen en 43% dierlijke mest vergist (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015). Deze energiegewassen bestaan bijna volledig uit snijmais (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015).

De dierlijke mest kan een samenstelling zijn van verschillende mesten. Echter bestaan er uiteenlopende installaties die met verschillende samenstellingen covergisten (zie bijvoorbeeld (UTS Biogastechniek, 2014)). In deze modellering gaan we ervan uit dat 50% van het materiaal in de covergistingsinstallatie snijmais is en 50% bestaat uit pluimveemest.

Omdat het om co-vergisting gaat wordt de bedrijfsvoering toegerekend aan de verschillende inputstromen. Allocatie vindt plaats op basis van fysieke eigenschappen.

Emissies tijdens opslag

Verse mest vergist beter, daarom wordt pluimveemest snel toegepast. Vanwege het transport naar Duitsland gaan we er wel vanuit dat de opslag langer is dan 2 weken. Door de korte opslag zijn de emissies beperkt (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015). In dit geval wordt volgens

Zwart et al. (2006) 5% van de CH₄-, N₂O- en NH₃-emissies uitgestoten van standaard opslag. We gaan uit van 5% van de emissies zoals deze toegelicht zijn bij directe aanwending van ruwe mest.

Transport pluimveemest

Net als bij aanwending van ruwe mest in Nederland gaan we ervan uit dat de mestintermediair in dezelfde provincie zit als de pluimveehouder, met een transport van 50 km.

Er zijn in Duitsland 7.800 covergistingsinstallaties waarin mest covergist kan worden (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015). Omdat de mest vanuit Nederland verwerkt kan worden in een covergistingsinstallatie in West-Duitsland gaan we uit van een transportafstand van 200 km.

Hulpstoffen

Er is water nodig in het proces om de relatief droge pluimveemest en snijmais makkelijker te laten vergisten. Ook zijn er enzymen en bacteriën nodig. Voor beiden zijn geen gegevens bekend en deze worden dus niet meegenomen. Over het algemeen is de bijdrage van watergebruik en het gebruik van enzymen aan de totale milieu-impact klein.

Energieproductie

Volgens Reinhold (2005) kan uit droge kippenmest 500 liter biogas worden geproduceerd per kilogram droge organische stof. Ook uit vleeskuikenmest is dit het geval (StMELF, 2016). We gaan ervan uit dat deze productie ook geldt voor de pluimveemestmix die bij BMC Moerdijk wordt verwerkt. Een droge organische stofgehalte van 458 kg per ton pluimveemest levert dus 229 m³ aan biogas op. Dit biogas heeft een methaangehalte van 65% (Reinhold, 2005).

Dit houdt in dat tijdens de verwerking van pluimveemest in een covergistingsinstallatie 229 m³ aan biogas wordt geproduceerd per ton verwerkte pluimveemest. Op basis van de massabalans van CO₂ en methaan blijkt dat het biogas dan een methaangehalte heeft van 55%.

Het geproduceerde biogas kan worden ingezet in een WKK om warmte en elektriciteit te produceren. Biogas met een methaangehalte van 55% heeft een energie-inhoud van 22 MJ per m³ (Zwart, et al., 2006).

Een WKK op basis van biogas heeft een netto elektrisch rendement van 31% en een netto warmterendement van 36,4%⁹ (Organic Waste Systems, 2013).

Emissies verwerking

Tijdens het covergisten van pluimveemest is een lekverlies van 1% van de methaanproductie (Zwart, et al., 2006). Er kunnen ook lekverliezen van ammoniak plaatsvinden. Het is onduidelijk hoeveel dit precies is en de hoeveelheid waarschijnlijk laag. Daarom wordt dit buiten beschouwing gelaten.

Omdat er water wordt toegevoegd voor vergisting zal er ook afvalwater worden geproduceerd. Ook hiervan is onduidelijk hoeveel dit is. Over het algemeen heeft afvalwater met enkel biologische vervuiling weinig impact op het milieu, daarom wordt dit buiten beschouwing gelaten.

⁹ 40% van de energie-inhoud in gas wordt omgezet in benutbare warmte, hiervan is 9% nodig om de vergistingsreactoren op temperatuur te houden (Organic Waste Systems, 2013).



Afzet als meststof

Het digestaat dat wordt ingezet als meststof wordt getransporteerd naar de akkerbouwer. We gaan uit van een afstand van 50 km. De vrachtwagen is gemodelleerd op basis van de Europese transportmilieueffectendatabase STREAM (CE Delft, 2011)¹⁰.

Emissies tijdens afzet

De ammoniakemissies en nitraatuitspoeling bij het toepassen van digestaat zijn ongeveer gelijk als bij het aanwenden van ruwe mest (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015). De lachgasemissies kunnen iets afwijken (Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015), we gaan uit van een reductie van 5% ten opzichte van aanwending van ruwe mest in Duitsland.

Het dieselgebruik tijdens het uitrijden van het digestaat is gebaseerd op het energieverbruik tijdens het uitrijden van mest uit een rapport van Ecoinvent (Nemecek & Kägi, 2007).

Tabel 15 Inventarisatie: meevergisten in vergistingscentrale in Duitsland

Onderdeel	Beschrijving	Hoeveelheid	Toelichting
Emissies tijdens opslag	CH ₄ N ₂ O NH ₃	0,136 kg/ton mest 0,00196 kg/ton mest 0,029 kg/ton mest	5% van emissies van directe aanwending van ruwe mest
Transport	Vrachtwagen Vrachtwagen Vrachtwagen	50 km 200 km 50 km	Van pluimveehouder naar mestintermediar Van mestintermediar naar vergister in Duitsland Van vergister naar digestaat afzet in landbouw
Emissies tijdens proces	CH ₄	0,86 kg/ton mest	1% van methaanproductie
Biogasproductie	Biogas	229 m ³ /ton mest	
Energie-inhoud biogas		22 MJ/m ³ biogas	55% methaangehalte
Rendement WKK	Netto elektrisch rendement Netto warmte rendement	31% 36,4%	
Uitrijden mest	Dieselgebruik	0,0531 kg/ton digestaat	Dieselgebruik door tractor (Nemecek & Kägi, 2007)
Emissies na uitrijden	N ₂ O NH ₃ NO ₃	0,41 kg/ton mest 4,69 kg/ton mest 18,7 kg/ton mest	Zelfde % als bij direct aanwenden ruwe mest Reductie van 5% emissies van lachgas
Vastlegging CO ₂	Opslag van organische stof in de bodem	42,4 kg/ton mest	
Vermeden product	Kalkammonsalpeter (N) Tripelsuperfosfaat (als P ₂ O ₅) Kaliumsulfaat (als K ₂ O)	7,9 kg/ton mest 10,4 kg/ton mest 21,0 kg/ton mest	Gebaseerd op 55% eenjarige werkzaamheid Gebaseerd op 70% eenjarige werkzaamheid Gebaseerd op 100% eenjarige werkzaamheid

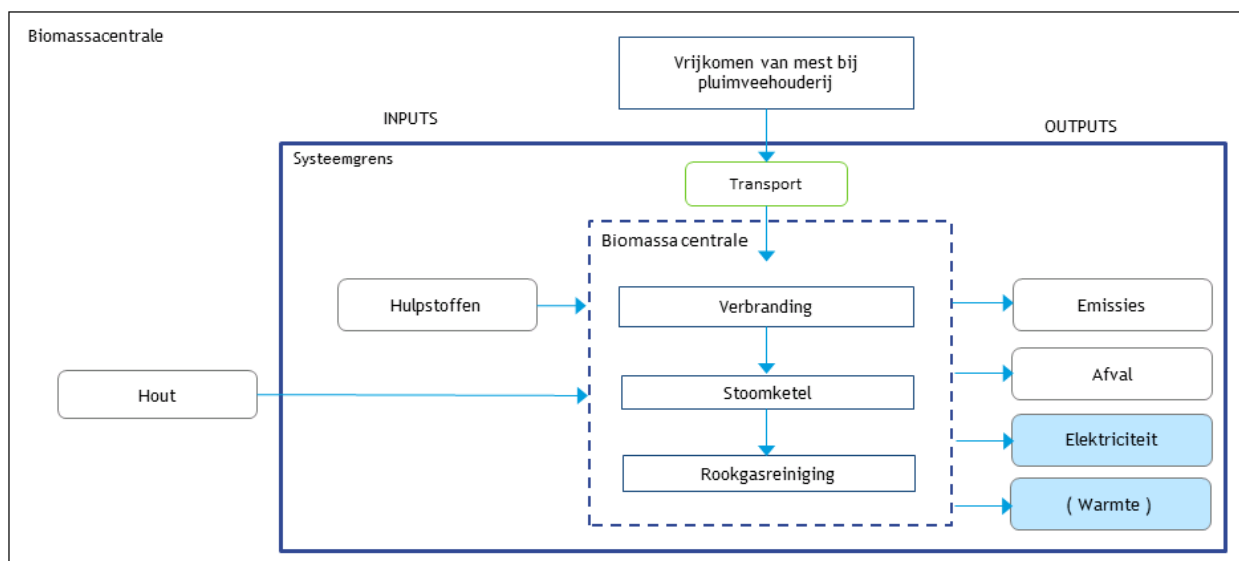
¹⁰ Er is uitgegaan van een truck >20 ton met heavy cargo.



A.4 Bijstoken in een biomassacentrale op hout

Pluimveemest wordt op dit moment niet bijgemengd voor verbranding in biomassacentrales in Nederland. Gezien de samenstelling van het materiaal is het onwaarschijnlijk dat bijmenging in een onaangepaste centrale aantrekkelijk is. Door bijmenging van pluimveemest kan een biomassacentrale minder optimaal functioneren. In deze route gaan we er daarom van uit dat de biomassacentrale geoptimaliseerd is voor verbranding van pluimveemest, net zoals de centrale van BMC Moerdijk. We gaan ervan uit dat maximaal 15% aan pluimveemest bijgemengd wordt in de biomassacentrale.

A.4.1 Systeemgrenzen



Daar waar **Transport** staat, worden ook de energievraag en emissies meegenomen die gepaard gaan met dit transport. Een **blauwe** box geeft een vermeden product aan.

A.4.1 Beschrijving inventarisatie

Transport pluimveemest

Om de routes vergelijkbaar te houden nemen we aan dat het transport van de pluimveehouder naar de biomassacentrale dezelfde afstand is als van de pluimveehouder naar BMC Moerdijk. Ook in dit geval wordt de mest dus 124 km vervoerd met een volle vrachtwagen en rijdt de vrachtwagen leeg terug.

Hulpstoffen

De benodigde hulpstoffen zijn bepaald op basis van de hulpstoffen die nodig zijn voor verbranding in een AVI, volgens het MER-LAP (AOO, 2002). Hierin is de relatie gegeven tussen de chemische samenstelling van de ingaande stroom en de benodigde hulpstoffen.

Daarnaast gaan we voor het opstarten van de biomassacentrale uit van hetzelfde verbruik van gasolie als nodig is voor het opstarten van de BMC-centrale.

Energieproductie

We nemen aan dat het rendement van de biomassacentrale gelijk is aan het rendement van de gemiddelde biomassacentrale op basis van enkel hout.

Het bruto elektrisch rendement van biomassacentrales ligt tussen de 30 en 35% (RWE, 2016). In de nieuwste biomassacentrale in Nederland, de Bio Golden Raand, is het bruto rendement zelfs 37% (Eneco, 2016).

Deze centrale wordt echter nog niet ingezet om ook warmte te produceren. Als warmte wel wordt afgezet zal het elektrisch rendement iets afnemen (RVO, 2015).

Voor deze studie gaan we uit van de gegevens van de EON Blackburn Meadows centrale¹¹. Dit is een gecombineerde warmte en elektriciteitscentrale gestookt op biomassa uit 2014. Het bruto elektrisch rendement van deze centrale ligt op 32% en het bruto warmte rendement op 20% (BASIS, 2015). Het netto rendement voor een biomassacentrale ligt 8% lager (Liu, et al., 2014). Daarmee komen we op een netto elektrisch rendement 29,4% en het netto warmte rendement 18,4%.

Het behaalde rendement wordt berekend over een stookwaarde van 7,3 MJ/kg pluimveemest, dit is de gemiddelde stookwaarde van de pluimveemest verwerkt door BMC Moerdijk. Dit betekent dat 29,5% van de stookwaarde van 7,3 MJ per kg pluimveemest wordt omgezet in elektriciteit en 18,5% in warmte.

Emissies verwerking

Het hout is de grootste input in de centrale en de pluimveemest wordt bijgemengd. In deze studie rekenen we alleen de emissies van het verbranden van de pluimveemest toe aan de pluimveemest en laten we de emissies van verbranden van hout buiten beschouwing. De emissies zijn (net als de benodigde hulpstoffen en de afvalstromen) gebaseerd op de MER-LAP (AOO, 2002). Hierin is de relatie gegeven tussen de chemische samenstelling van de ingaande stroom en de emissies. We hebben aangenomen dat dit voor een biomassacentrale vergelijkbaar is als voor een AVI.

In deze biomassacentrale is in navolging van de MER-LAP (AOO, 2002) uitgegaan van een afvalwatervrije rookgasreiniging. Er is dus geen afvalwaterlozing.

Afvalverwerking

De assen die overblijven na de verwerking van pluimveemest in de biomassacentrale worden niet ingezet als kunstmestvervanger, zoals bij de BMC-centrale. Het gebruik van houtassen als meststof is namelijk niet toegestaan in Nederland. Bodem- en vliegassen van een biomassacentrale worden verwerkt door een afvalverwerker.

De afvalverwerking is net als de benodigde hulpstoffen en de emissies gebaseerd op de MER-LAP (AOO, 2002) en sluit dus aan bij de Nederlandse praktijk.

¹¹ De Eon Blackburn Meadows Centrale staat in Groot-Brittannië en is de meest efficiënte biomassacentrale in Europa, de centrale is geoptimaliseerd op elektriciteitsproductie.



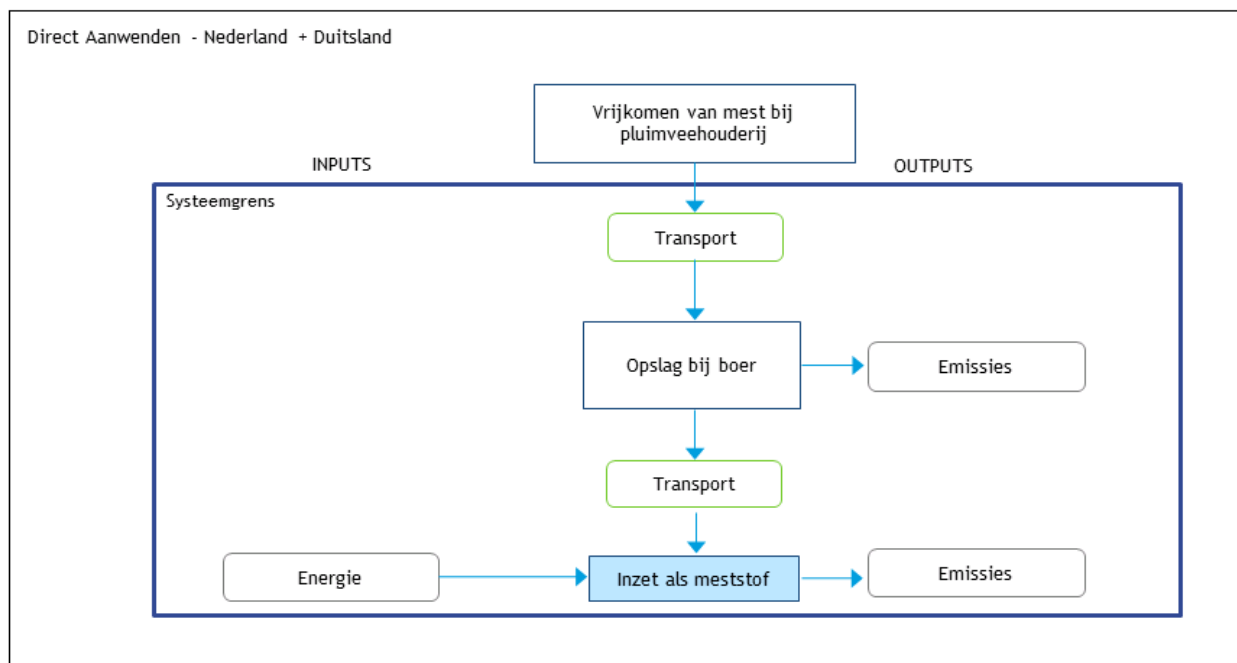
Tabel 16 Inventarisatie: bijmengen van pluimveemest in een biomassacentrale

Onderdeel	Beschrijving	Hoeveelheid	Toelichting
Transport	Vrachtwagen	124 km	Vol heen, leeg terug
Rendement	Elektrisch rendement Warmte rendement	29,5% van stookwaarde 18,5% van stookwaarde	
Stookwaarde		7,3 GJ/ton mest	Gemiddelde stookwaarde van de pluimveemest verwerkt door BMC Moerdijk
Directe emissies naar lucht	NO _x NH ₃ CO Koolwaterstoffen Dioxines Stof As Cd Co Cr Cu Hg Mn Mo Ni Pb Se Sn V Zn Cl F S Biogene CO ₂ Fossiele CO ₂	263 g/ton mest 13,1 g/ton mest 87,6 g/ton mest 21,9 g/ton mest 0,000219 mg/ton mest 13,1 g/ton mest 1,19 mg/ton mest 0,767 mg/ton mest 1,99 mg/ton mest 4,41 mg/ton mest 37,1 mg/ton mest 0,852 mg/ton mest 208 mg/ton mest 1,59 mg/ton mest 2,78 mg/ton mest 1,99 mg/ton mest 1,99 mg/ton mest 0,0199 mg/ton mest 0,398 mg/ton mest 180 mg/ton mest 5,68 g/ton mest 2,84 g/ton mest 2,4 g/ton mest 827 kg/ton mest 2,8 kg/ton mest	Op basis van MER-LAP (AOO, 2002), fossiele emissies van aardgasverbranding toegevoegd
Directe emissies naar bodem	As Cd Co Cr Cu Hg Mn Mo Ni Pb Se Sn V Zn Cl F SO ₄	0,96 mg/ton mest 0,107 mg/ton mest 1,99 mg/ton mest 3,56 mg/ton mest 29,9 mg/ton mest 0,00142 mg/ton mest 168 mg/ton mest 68 mg/ton mest 2,25 mg/ton mest 1,6 mg/ton mest 4,33 mg/ton mest 0,016 mg/ton mest 0,476 mg/ton mest 145 mg/ton mest 97,6 g/ton mest 93,7 mg/ton mest 53,3 g/ton mest	Op basis van MER-LAP (AOO, 2002)
Hulpstoffen	NaOH Kalk Ammoniakwater Actieve kool Gasolie	2,39 kg/ton mest 2,1 kg/ton mest 113 g/ton mest 21,8 g/ton mest 1,02 l/ton mest	Op basis van MER-LAP (AOO, 2002). Aardgas toegevoegd.
Afvalverwerking	Rookgasreinigingsresidue Slakken Vliegias	5,32 kg/ton mest 103 kg/ton mest 8,24 kg/ton mest	Op basis van MER-LAP (AOO, 2002)

A.5 Directe aanwending ruwe mest in Nederland

Bij directe aanwending van ruwe mest in Nederland wordt de pluimveemest uitgereden op landbouwgrond, waar het dient als meststof.

A.5.1 Systeemgrenzen



Daar waar **Transport** staat, worden ook de energievraag en emissies meegenomen die gepaard gaan met dit transport. Een **blauwe** box geeft een vermeden product aan.

A.5.2 Beschrijving inventarisatie

Emissies tijdens opslag

De pluimveehouder slaat de mest op. Ook op het landbouwbedrijf kan de ruwe mest tijdelijk in de opslag liggen omdat de mest niet het hele jaar nuttig mag worden toegepast op het land. Tijdens deze opslag komen emissies vrij uit de pluimveemest. De pluimveemest wordt voor deze route langer dan twee weken opgeslagen in de periode van oktober tot en met januari (4 maanden).

Per kg organische stof in pluimveemest kan 0,34 m³ aan methaangas vrijkomen (Van der Hoek & van Schijndel, 2006). Door goed management van de pluimveemest wordt hiervan 1,5% uitgestoten tijdens de opslag (IPCC, 2006). De N₂O-emissies tijdens opslag zijn 0,1% van de aanwezige N in de pluimveemest (IPCC, 2006). De NH₃-emissies tijdens opslag zijn gemiddeld in Nederland 0,019% van de N in de pluimveemest¹².

We hebben de emissies berekend op basis van de samenstelling van de pluimveemest.

¹² Berekend op basis van totale NH₃-emissies uit opslag uitgedrukt in N als percentage van de totale uitgestoten hoeveelheid N in mest. Uit gegevens in tabel 4 (Velthof, et al., 2012).

Transport pluimveemest

De mest wordt van de pluimveehouder naar een boer vervoerd.

Het grootste gedeelte van de kippen in Nederland wordt gehouden in Noord-Brabant (33%), Gelderland (19%), Overijssel (12%) en Limburg (11%) (CBS, 2016). Het grootste gedeelte van de akkerbouw in Nederland (in hectares) vindt plaats in Groningen (15%), Noord-Brabant (14%), Zeeland (14%), Drenthe (10%) en Flevoland (10%) (CBS, 2016). Dit betekent dat mest van een pluimveehouder naar de akkerbouw waarschijnlijk 1 á 2 provincies verder getransporteerd moet worden. We gaan uit van een transport van 150 km.

Emissies tijdens afzet

Tijdens het toepassen van mest in de landbouw vervluchtigen verschillende stoffen. Hierbij vervluchtigt bij gemiddelde Nederlandse landbouwpraktijk 0,65% van de N als N₂O (CDM, 2013). Daarnaast vervluchtigt 9% van de N uit als NH₃ en spoelt 10% van de N als NO₃ (CDM, 2013).

De emissies zijn berekend op basis van de samenstelling van de inkomende mix aan pluimveemest bij BMC zoals weergegeven in de eerste kolom van Tabel 25 in Bijlage F Berekeningen Mineralenbalans.

Het dieselgebruik tijdens het uitrijden van de mest is gebaseerd op het energieverbruik tijdens het uitrijden van mest uit een rapport van Ecoinvent (Nemecek & Kägi, 2007).

Tabel 17 Inventarisatie: directe aanwending in Nederland per ton pluimveemest

Onderdeel	Beschrijving	Hoeveelheid	Toelichting
Emissies tijdens opslag	CH ₄	0,68 kg/ton mest	Mogelijke CH ₄ -emissies als aandeel van het organische stofgehalte is 34% (Van der Hoek & van Schijndel, 2006), hiervan wordt 1,5% uitgestoten tijdens de opslag (IPCC, 2006). In 1/4 ^{de} deel van het jaar. N ₂ O: 0,1% van N (IPCC, 2006). In 1/4 ^{de} deel van het jaar. NH ₃ : 0,019% van N ¹² . In 1/4 ^{de} deel van het jaar.
	N ₂ O	0,01 kg/ton mest	
	NH ₃	0,15 kg/ton mest	
Transport	Vrachtwagen	150 km	Van pluimveehouder naar boer in Nederland
Uitrijden mest	Diesel	0,0531 kg/ton mest	Dieselgebruik door tractor (Nemecek & Kägi, 2007)
Emissies na uitrijden	N ₂ O	0,266 kg/ton mest	N ₂ O: 0,65% van N (CDM, 2013) NH ₃ : 9% van N (CDM, 2013) NO ₃ : 10% van N (CDM, 2013)
	NH ₃	2,84 kg/ton mest	
	NO ₃	11,5 kg/ton mest	
Vastlegging CO ₂	Opslag van organische stof in de bodem	69,9 kg/ton mest	
Vermeden product	Kalkamonsalpeter (N)	14,3 kg/ton mest	Gebaseerd op 55% eenjarige werkzaamheid Gebaseerd op 70% eenjarige werkzaamheid Gebaseerd op 100% eenjarige werkzaamheid
	Tripelsuperfosfaat (als P ₂ O ₅)	14,7 kg/ton mest	
	Kaliumsulfaat (als K ₂ O)	21,0 kg/ton mest	

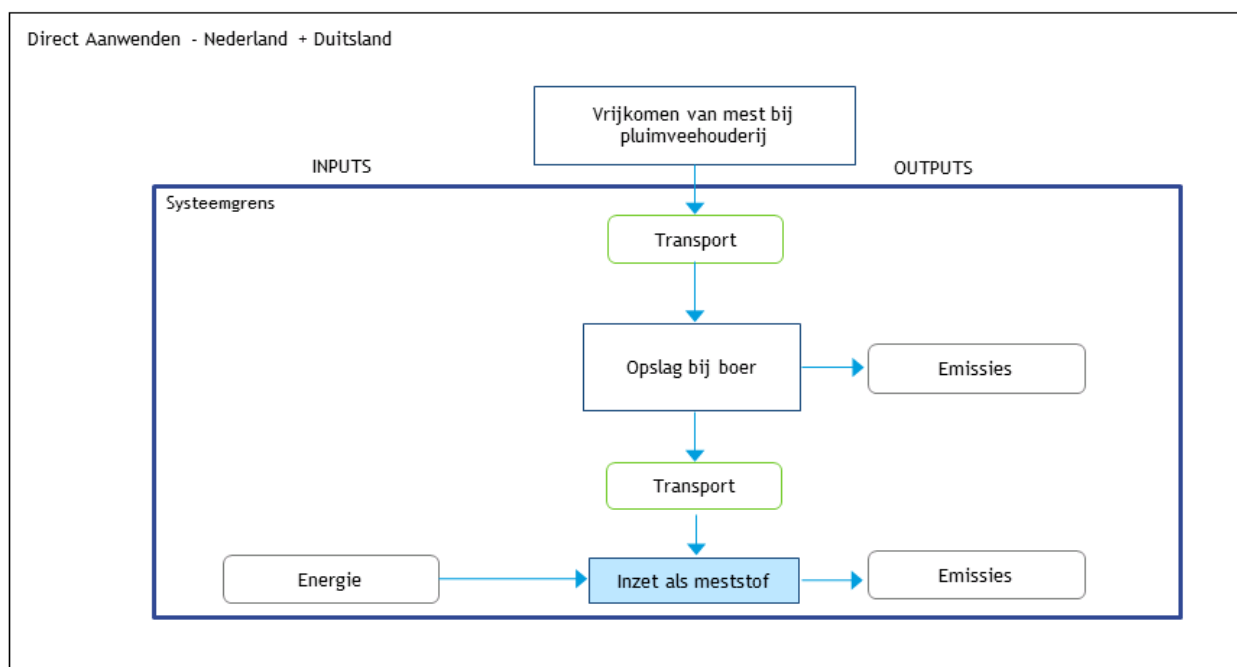


A.6 Directe aanwending ruwe mest in Duitsland

Er is nauwelijks verschil tussen de toepassing van de ruwe mest in Nederland en de toepassing van de ruwe mest in Duitsland. Ook bij directe aanwending van ruwe mest in Duitsland wordt de pluimveemest uitgereden op landbouwgrond. De mest wordt van de pluimveehouder naar een boer in Duitsland getransporteerd.

Hieronder beschrijven we alleen de aspecten die anders zijn voor aanwending in Duitsland, ten opzichte van aanwending in Nederland. Verder is de inventarisatie gegeven in Paragraaf A.5 van toepassing.

A.6.1 Systeemgrenzen



Daar waar **Transport** staat, worden ook de energievraag en emissies meegenomen die gepaard gaan met dit transport. Een **blauwe** box geeft een vermeden product aan.

A.6.2 Beschrijving inventarisatie

Transport pluimveemest

De pluimveemest wordt vooral geëxporteerd naar Duitsland en Frankrijk. Naar Duitsland mag onbewerkte pluimveemest worden geëxporteerd, terwijl dit naar Frankrijk niet mag. Vaste mest kan kostentechnisch tot maximaal 400 tot 600 km worden getransporteerd (NMI, 2014). Bij transport over grotere afstanden dekt de opbrengst de kosten niet. We gaan uit van een gemiddelde afstand van 500 km voor het transport van de pluimveehouder naar de landbouw in Duitsland.

Emissies tijdens afzet

De emissies tijdens het toepassen van mest in de landbouw zijn anders in Duitsland dan in Nederland door een verschil in wetgeving. In Duitsland is het nog steeds toegestaan om bovengronds mest uit te rijden (Pellikaan, 2014), wat leidt tot hogere emissies dan in het geval van mestafzet in Nederland.

45% van de N aanwezig als urinezuur in pluimveemest vervluchtigt als NH₃ in Duitsland (Dämmgen, 2009). Het aandeel urinezuur in pluimveemest varieert sterk tussen de 10 en 70% van de organische N (CBAV, 2016b).

We gaan uit van 40%. Dit betekent dat 18% van de organische N vervluchtigt als NH₃ bij toepassing van pluimveemest in de Duitse landbouw. Dit is 1,6 keer zo hoog als in Nederland. We gaan ervan uit dat de emissies van N₂O en NO₃ ook 1,6 keer zo hoog zijn, respectievelijk 1 en 16% van N aanwezig in pluimveemest.

De emissies zijn berekend op basis van de samenstelling van de inkomende mix aan pluimveemest bij BMC Moerdijk zoals weergegeven in de eerste kolom van Tabel 25 in Bijlage F Berekeningen Mineralenbalans.

Tabel 18 Inventarisatie: directe aanwending in Duitsland per ton pluimveemest

Onderdeel	Beschrijving	Hoeveelheid	Toelichting
Emissies tijdens opslag	CH ₄	0,68 kg/ton mest	Mogelijke CH ₄ -emissies als aandeel van het organische stofgehalte is 34% (Van der Hoek & van Schijndel, 2006), hiervan wordt 1,5% uitgestoten tijdens de opslag (IPCC, 2006). In 1/4 ^{de} deel van het jaar.
	N ₂ O	0,01 kg/ton mest	N ₂ O: 0,1% van N (IPCC, 2006). In 1/4 ^{de} deel van het jaar.
	NH ₃	0,15 kg/ton mest	NH ₃ : 0,019% van N ¹² . In 1/4 ^{de} deel van het jaar.
Transport	Vrachtwagen	500 km	Van pluimveehouder naar boer in Duitsland.
Uitrijden mest	Dieselgebruik	0,0531 kg/ton mest	Dieselgebruik door tractor (Nemecek & Kägi, 2007).
Emissies na uitrijden	N ₂ O	0,425 kg/ton mest	N ₂ O: 1,6 keer emissie voor directe aanwending ruwe mest in Nederland, 1% van N.
	NH ₃	4,61 kg/ton mest	NH ₃ : 45% van urinezuur (Dämmgen, 2009), 18% van N.
	NO ₃	18,4 kg/ton mest	NO ₃ : 1,6 keer emissie voor directe aanwending ruwe mest in Nederland, 16% van N.
Vastlegging CO ₂	Opslag van organische stof in de bodem	69,9 kg/ton mest	
Vermeden product	Kalkammonsalpeter (N)	14,3 kg/ton mest	Gebaseerd op 55% eenjarige werkzaamheid.
	Tripelsuperfosfaat (als P ₂ O ₅)	14,7 kg/ton mest	Gebaseerd op 70% eenjarige werkzaamheid.
	Kaliumsulfaat (als K ₂ O)	21,0 kg/ton mest	Gebaseerd op 100% eenjarige werkzaamheid.

A.7 Composteren

Composteren van pluimveemest vindt op verschillende plekken plaats in Nederland. Voor deze studie gaan we uit van de techniek van een bestaande composteerinstallatie in Nederland (Composteerbedrijf, 2016)¹³. Hier wordt grotendeels pluimveemest gecomposteerd in twee composteertunnels. 80% van de pluimveemest wordt natuurlijk gecomposteerd en 20% wordt geforceerd gecomposteerd.

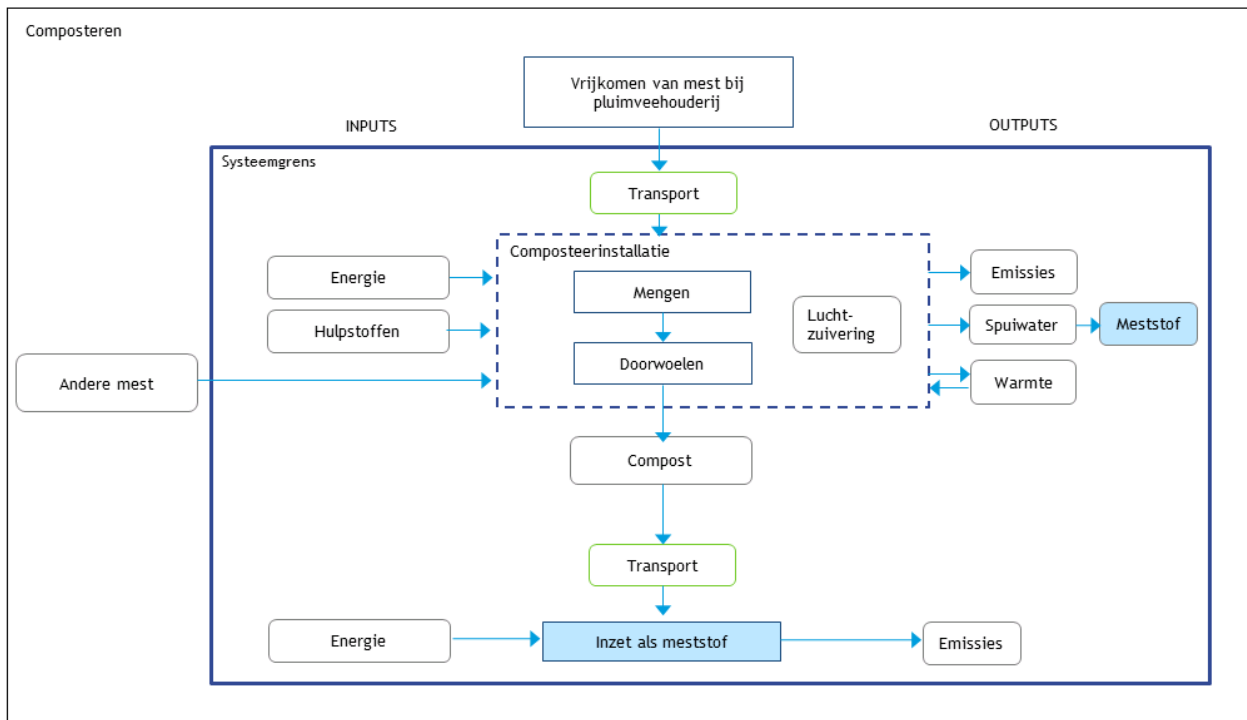
¹³ Alle gegevens in onderstaande tekst zijn gebaseerd op informatie verkregen in persoonlijk contact met de eigenaar van dit composteerbedrijf.



De pluimveemest die in de praktijk gebruikt wordt bestaat uit vleeskuikenmest en mestband mest. We gaan echter in onze studie uit van de mix die bij BMC wordt verwerkt, die bestaat uit 52% vleeskuikenmest, 40% strooiselstalmest, 5% kalkoenmest en 3% mestbandmest). We gaan ervan uit dat dit alleen gevolgen heeft voor de samenstelling van de compost en niet voor de verwerking van de mest.

Van de 55.000 ton aan materiaal die per jaar wordt verwerkt in de composteerinstallatie, is 75% pluimveemest en 25% andere mest en afvalstromen (gft). Hieruit wordt 50.000 ton aan compost geproduceerd. Het verschil in gewicht is te verklaren door vochtverdamping.

A.7.1 Steemgrenzen



Daar waar **Transport** staat, worden ook de energievraag en emissies meegenomen die gepaard gaan met dit transport. Een **blauwe** box geeft een vermeden product aan.

A.7.1 Beschrijving inventarisatie

Transport pluimveemest

De composteerinstallatie ontvangt pluimveemest zowel direct van de pluimveehouder als van een mestintermediair. We gaan uit van een maximum transport van 100 km.

Hulpstoffen

Er is geen warmte nodig voor de compostering, de warmte ontstaat door de compost zelf. Wel wordt er elektriciteit gebruikt in de luchtwasinstallatie. Een luchtwasser gebruikt ongeveer 36,5 kWh per dag voor pompen en 39,9 kWh per dag voor ventilatoren (DLG, 2010). We gaan uit van 28.000 kWh per jaar. Voor het doorwoelen van de compost in de natuurlijke compostering worden tractoren gebruikt. Deze gebruiken circa 250 liter diesel per week. We gaan uit van 13.000 liter diesel per jaar.



Tijdens geforceerde compostering wordt zuurstof toegevoegd, hiervoor wordt normale lucht gebruikt. Het energiegebruik hiervoor is niet bekend, maar is laag volgens de composteerder. We gaan ervan uit dat er geen energie wordt gebruikt.

Verder wordt per week een aantal kubieke meter aan luchtwaswater gebruikt. We gaan uit van 10 m³ per week, of 520 m³ per jaar.

Tot slot wordt er in sommige gevallen wat fosfor of kalium door compost gemengd om de NPK-verhouding in compost gelijk te houden. Dit gebeurt echter weinig, en dus laten we deze input weg.

Energieopwekking

Er wordt warmte geproduceerd in het composteerproces. Deze wordt op dit moment niet afgezet, maar deels gebruikt tijdens de compostering.

Emissies verwerking

Alle emissies worden bij de composteerinstallatie afgevangen door een lucht-zuiveringsinstallatie. Naast de NH₃-emissie, die onder de wettelijke norm zit, worden er geen emissies gemeten.

Per uur wordt door de luchtwasser 100.000 m³ gewassen. De NH₃-emissie is hierna lager dan de wettelijke norm van 5 mg/m³ (Rijkswaterstraat, 2016). We gaan in de modellering uit van een continu proces met een emissie van 5 mg/m³.

Afzet als meststof

We gaan ervan uit dat dezelfde hoeveelheid water die in de luchtwasser gebruikt wordt uit de installatie komt als spuiwater. Het spuiwater wordt ingezet in Nederland als meststof.

De compost wordt voor 90% afgezet in Frankrijk en voor 10% in Duitsland. We gaan uit van volledige afzetting in Frankrijk. De compost die ingezet wordt als meststof wordt 300 km getransporteerd naar Noord-Frankrijk. De vrachtwagen komt ook vol beladen weer terug met grondstoffen voor de veevoederindustrie. De vrachtwagen is gemodelleerd op basis van STREAM met 100% belading (CE Delft, 2011)¹⁴.

Het dieselgebruik tijdens het uitrijden van de compost is gebaseerd op het energieverbruik tijdens het uitrijden van mest uit een rapport van Ecoinvent (Nemecek & Kägi, 2007).

Emissies tijdens afzet

Er is geen data gevonden voor de emissies tijdens afzet van compost van pluimveemest. Over het algemeen vinden er geen NH₃-emissies bij het uitrijden van compost uit mest (Plant Research International B.V., 2007). De emissies van N₂O uit de toediening van compost is 0,4% van de aanwezige N in de compost (Bruggen, et al., 2015). Voor NO₃ emissies uit compost zijn geen gegevens gevonden en dus gaan we uit van hetzelfde uitspoelpercentage als bij het direct aanwenden van de pluimveemest in Nederland per ton uitgereden product.

¹⁴ Er is uitgegaan van een truck >20 ton met heavy cargo, die zowel heen als terug vol beladen is.



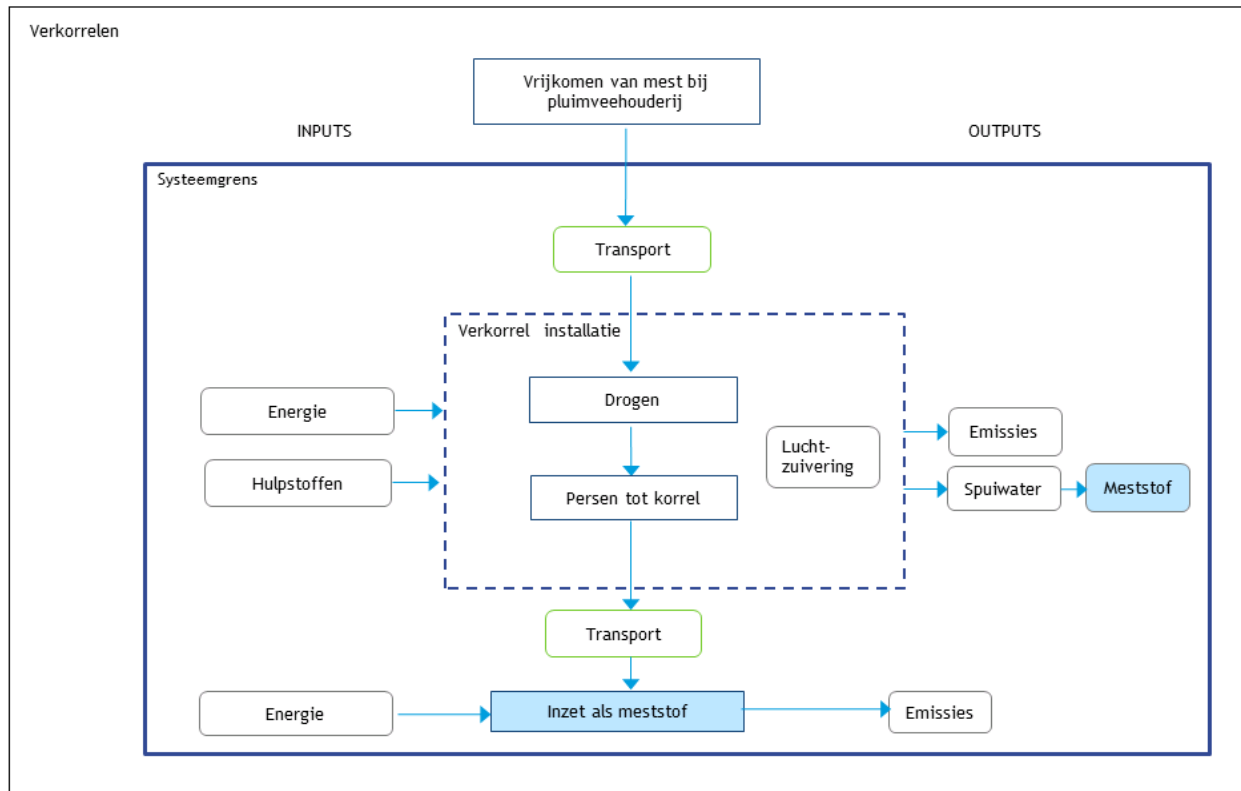
Tabel 19 Inventarisatie: Composteren en export naar Frankrijk

Onderdeel	Beschrijving	Hoeveelheid	Toelichting
Transport	Vrachtwagen	100 km	Van pluimveehouder naar composteerinstallatie Van composteerinstallatie naar boer in Noord-Frankrijk.
	Vrachtwagen	300 km	
Emissies tijdens proces	NH ₃	0,597 kg/ton mest	Continu proces, 100.000 m ³ door luchtwasser per uur, NH ₃ concentratie in gezuiverde lucht 5 mg/m ³ . Emissies door dieselgebruik.
	CO ₂	16,5 kg/ton mest	
Hulpstoffen	Elektriciteit	0,509 kWh/ton mest	Voor luchtwassers
	Diesel	0,202 kg/ton mest	Voor luchtwassers
	Water	9,45 liter/ton mest	
Uitrijden mest	Dieselgebruik	0,0531 kg/ton compost	Dieselgebruik door tractor (Nemecek & Kägi, 2007).
Emissies na uitrijden	N ₂ O	0,113 kg/ton mest	N ₂ O: 0,4% van N in compost (Bruggen, et al., 2015). NO ₃ : 10% van N in compost (CDM, 2013).
	NO ₃	7,97 kg/ton mest	
Vastlegging CO ₂	Opslag van organische stof in de bodem	26,2 kg/ton mest	
Vermeden product	Kalkammonsalpeter (N)	8,9 kg/ton mest	Gebaseerd op 35% eenjarige werkzaamheid.
	Tripelsuperfosfaat (als P ₂ O ₅)	14,7 kg/ton mest	Gebaseerd op 70% eenjarige werkzaamheid.
	Kaliumsulfaat (als K ₂ O)	21 kg/ton mest	Gebaseerd op 100% eenjarige werkzaamheid.

A.8 Composteren en verkorrelen

Composteren en verkorrelen vindt in Nederland op verschillende locaties plaats. Onderstaande modellering is grotendeels gebaseerd op het proces zoals deze wordt toegepast bij Ferm O Feed. Ferm O Feed produceerde in 2015 45.000 ton pluimveemestkorrels uit 57.500 ton pluimveemest met behulp van een wervelbeddroger.

A.8.1 Steemgrenzen



Daar waar **Transport** staat, worden ook de energievraag en emissies meegenomen die gepaard gaan met dit transport. Een **blauwe** box geeft een vermeden product aan.

A.8.1 Beschrijving inventarisatie

Transport pluimveemest

Het verwerkingscentrum van pluimveemest tot pluimveemestkorrels van Ferm O Feed ligt in Noord-Brabant. Het grootste gedeelte van de pluimveehouders zitten in Noord-Brabant, Gelderland, Overijssel en Limburg (CBS, 2016); (RVO, 2016). We gaan uit van een maximum transport van 100 km.

Hulpstoffen

Het elektriciteitsgebruik voor de verwerking van pluimveemest tot pluimveemestkorrels is ongeveer 65 kWh per ton verwerkte pluimveemest. Ook is er ongeveer 25 m³ aan aardgas nodig per ton verwerkte pluimveemest.

Voor verkorrelen wordt weinig water gebruikt, maar het totaal komt ongeveer neer op 3,5 liter water per ton verwerkte pluimveemest. Per jaar wordt ongeveer 100 m³ aan zwavelzuur gebruikt.

Emissies verwerking

Uit de installatie komen emissies van ammoniak en NO_x vrij. Per ton verwerkte pluimveemest is dit respectievelijk ongeveer 0,07 kg ammoniak en 0,19 kg NO_x.

Afzet als meststof

Per jaar zet Ferm O Feed ongeveer 250 m³ aan spuiwater af in de Nederlandse landbouw. Zowel het spuiwater (neergeslagen stikstof als ammoniumsulfaat) als de pluimveemestkorrels worden afgezet als meststof. Het spuiwater wordt ingezet in Nederland als meststof.

De pluimveemestkorrels worden voor 3% afgezet in Nederland, voor 40% in Zuid-Europa, voor 40% in Azië en voor 17% in de rest van de wereld. We gaan er voor transport vanuit dat 50% wordt afgezet in China en 50% in Spanje. De pluimveemestkorrels hebben een NPK-verhouding van 4-3-3.

De pluimveemest die ingezet worden in Spanje, worden 1,300 km getransporteerd naar Noord-Spanje. We gaan ervan uit dat de vrachtwagen ook vol beladen weer terugkomt. De vrachtwagen is gemodelleerd op basis van STREAM met gemiddelde belading (CE Delft, 2011)¹⁵. De pluimveemest die wordt ingezet in China wordt maximaal 100 km getransporteerd in een vrachtwagen naar de dichtstbijzijnde zeehaven, vanwaar het per schip 10.000 km wordt getransporteerd, ook ter plekke gaan we ervan uit dat er nog een transport plaatsvindt van 500 km per vrachtwagen. Deze vrachtwagens zijn gemodelleerd op basis van STREAM met gemiddelde belading (CE Delft, 2011)¹⁶ en de boot is gemodelleerd als op basis van STREAM met gemiddelde belading (CE Delft, 2011)¹⁷. Deze komen beiden niet vol beladen weer terug.

Het dieselgebruik tijdens het uitrijden van de pluimveemestkorrels is gebaseerd op het energieverbruik tijdens het uitrijden van mest uit een rapport van Ecoinvent (Nemecek & Kägi, 2007).

Emissies tijdens afzet

Er is geen data gevonden voor de emissies tijdens afzet van pluimveemestkorrels. Daarom gaan we hier uit van dezelfde vervluchtigings- en uitspoelpercentages als bij de afzet van compost.

Tabel 20 Inventarisatie: composteren, verkorrelen en aanwending in het buitenland

Onderdeel	Beschrijving	Hoeveelheid	Toelichting
Transport	Vrachtwagen	100 km	Van pluimveehouder naar composteerinstallatie
	Vrachtwagen	1.300 km	Van verkorrelaar naar boer in Noord-Spanje
	Vrachtwagen	100 km	Van pluimveehouder naar haven
	Boot	10.000 km	Van haven in Nederland naar haven in China
	Vrachtwagen	500 km	Van haven in China naar akkerbouwer
Emissies tijdens proces	NH ₃	0,07 kg/ton mest	Emissies door aardgasgebruik
	NO _x	0,19 kg/ton mest	
	CO ₂	44,7 kg/ton mest	
Hulpstoffen	Elektriciteit	65 kWh/ton mest	
	Aardgas	25 m ³ /ton mest	
	Water	3,5 liter/ton mest	
	Zwavelzuur	3,18 kg/ton mest	
Uitrijden mest	Dieselgebruik	0,0531 kg/ton mestkorrel	Dieselgebruik door tractor (Nemecek & Kägi, 2007)
Emissies na uitrijden	N ₂ O	0,203 kg/ton mest	N ₂ O: 0,65% van N in mestkorrel
	NO ₃	8,81 kg/ton mest	NO ₃ : 10% van N in mestkorrel

¹⁵ Er is uitgegaan van een truck >20 ton met heavy cargo.

¹⁶ Er is uitgegaan van een truck >20 ton met heavy cargo.

¹⁷ Er is uitgegaan van General Cargo, 2-5 dwkt.

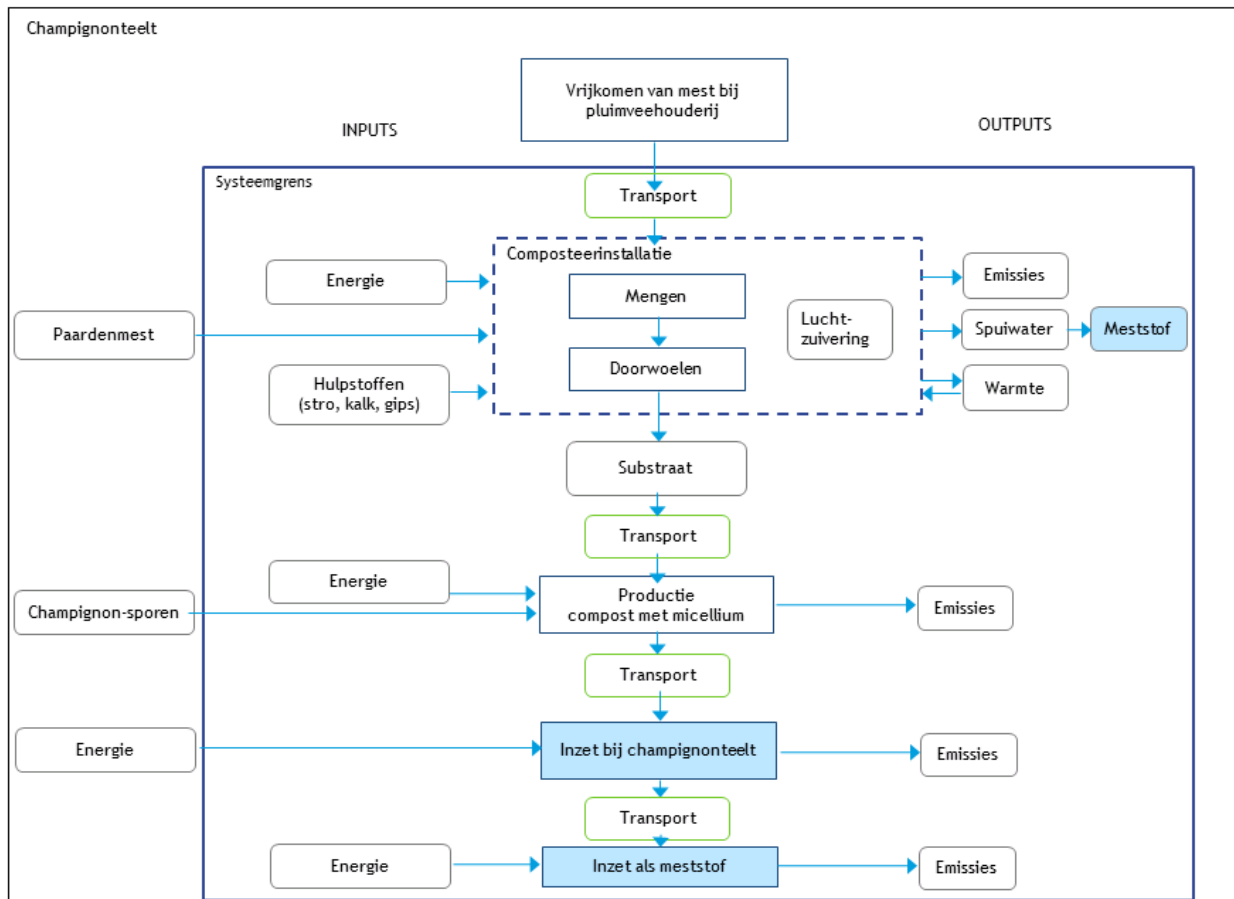


Onderdeel	Beschrijving	Hoeveelheid	Toelichting
Vastlegging CO ₂	Opslag van organische stof in de bodem	50,5 kg/ton mest	
Vermeden product	Kalkammonsalpeter (N)	9,1 kg/ton mest	Gebaseerd op 35% eenjarige werkzaamheid
	Tripelsuperfosfaat (als P ₂ O ₅)	14,7 kg/ton mest	Gebaseerd op 70% eenjarige werkzaamheid
	Kaliumsulfaat (als K ₂ O)	21 kg/ton mest	Gebaseerd op 100% eenjarige werkzaamheid

A.9 Composteren en aanwending voor champignonteelt

De productie van champignonsubstraat op basis van pluimveemest en paardenmest vindt in Nederland plaats op verschillende locaties.

A.9.1 Systemegrenzen



Daar waar **Transport** staat, worden ook de energievraag en emissies meegenomen die gepaard gaan met dit transport. Een **blauwe** box geeft een vermeden product aan.

A.9.2 Beschrijving inventarisatie

Deze route bestaat uit een aantal stappen:

1. Productie van champignonsubstraat.
2. Verdrijven van ammoniak.
3. Toevoegen van champignonbroed (micellium).
4. Telen van champignons.
5. Afzet van compost.

Voor deze route is te weinig informatie openbaar beschikbaar om een mineralenbalans op te stellen en een LCA-studie uit te voeren. Ons verzoek aan de producenten van champignonsubstraat om meer informatie heeft niets

opgeleverd. Eén champignonverwerkend bedrijf heeft wel informatie aangeleverd over Stap 3. Daarnaast hebben we gebruik gemaakt van openbaar beschikbare informatie. De verzamelde informatie bleek echter niet voldoende voor een mineralenbalans en LCA-studie.

In deze bijlage lichten we eerst toe wat we wel weten, vervolgens beschrijven we de openstaande vragen en tot slot maken we een kwalitatieve vergelijking met de route Composteren, zodat de lezer enig gevoel kan krijgen bij het plaatsen van de route Champignonteelt tussen de andere routes.

Bekende informatie

De informatie die we hebben verzameld is hieronder per stap opgenomen.

1. Productie van champignonsubstraat

Voor het produceren van champignonsubstraat is naast pluimveemest en paardenmest ook stro, gips en water nodig. Ook wordt er proceswater toegevoegd, waaronder het spuiwater (Walkro, 2016). Het gaat hierbij meestal om tarwestro. Champignonsubstraat bevat 72% vocht (Champignonverwerkend bedrijf, 2016).

2. Verdrijven van ammoniak en toevoegen champignonbroed (micellium)

Voor de verwerking van substraat tot compost dat wordt gebruikt als input voor de champignonteelt wordt de ammoniak verdreven met behulp van ammoniakwassers en een bioveld van boomschors. Dit proces duurt ca. 5 dagen. Vervolgens wordt de compost geënt met champignonbroed, wat 16 dagen in beslag neemt. Tijdens het toevoegen van het champignonbroed wordt ook een bijvoedmiddel toegevoegd (Walkro, 2016).

Tijdens de tweede en de derde fase vindt 43% gewichtsverlies plaats. Dit komt door vochtverlies (26,3%) en verlies van organische stof (16%) (Champignonverwerkend bedrijf, 2016). De compost dat hieruit geproduceerd wordt bevat 63% vocht. Het stikstofgehalte van het droge stofgehalte is 2,5%, oftewel 0,945% van de compost (Champignonverwerkend bedrijf, 2016).

3. Champignonteelt

Voor dat er champignons geteeld worden op de geënte compost wordt er in gewicht 1/3 van de gebruikte compost gemengd met dekaarde (NMIa, 2016). Deze dekaarde bestaat uit veen en schuimaarde. Ongeveer 25% van organische stof in de compost wordt gebruikt door de champignons, het gaat dan om 17% van de droge stof (Plant Research International, 2013).

In Nederland gaat men eigenlijk altijd uit van compost met champignonbroed, zoals hierboven beschreven is. Dit mengsel waarin ook pluimveemest is verwerkt, heeft zich bewezen als goede stikstofbron. In theorie zou in plaats van pluimveemest ook een kunstmest kunnen worden gebruikt, dit gebeurt echter niet in de praktijk (Champignonverwerkend bedrijf, 2016).

4. Afzetten van champost

Nadat de champignons geogst zijn kan de overgebleven compost in combinatie met de dekaarde worden afgezet als champost. Het moet dan eerst worden gehygiëniseerd. De champost wordt als bodemverbeteraar afgezet. Het heeft goede stabiliteit en een hoog organische stofgehalte.



Missende informatie

De volgende aspecten zijn niet bekend:

- Hoeveel Fase 3 compost en champost kan worden geproduceerd uit 1 ton kippenmest?
- Welk gedeelte van de OS, EOS, N, P₂O₅, K₂O in de champost kan worden toegerekend aan 1 ton kippenmest?
- Wat is de opbrengst van de champignons per ton mest?
- Wat zou een vervangend product kunnen zijn voor champignonsubstraat?
- Hoeveel energie en hulpstoffen zijn er nodig voor het productieproces?
- Hoeveel emissies komen vrij bij het productieproces? Wordt gewerkt met luchtwassers, hoe effectief zijn deze?
- Wat is de transportafstand waarover de (sub)producten worden vervoerd?

Omdat we geen antwoord hebben op bovenstaande vragen is het niet mogelijk om een mineralenbalans op te stellen en een LCA uit te voeren voor deze route. Daarom hebben we besloten een kwalitatieve vergelijking te maken met de compostroute.

Kwalitatieve vergelijking met compostroute

In Tabel 21 is kwalitatief aangegeven hoe het transport, hulpstoffen, emissies en vermeden product zich verhouden tot die van het de route composteren en aanwending in het buitenland.

Tabel 21 Vergelijking inventarisatie composteren (compost) en composteren en aanwending voor champignonteelt (champost)

Onderdeel	Beschrijving	Vergelijking compost en champost
Transport	Van pluimveehouder naar verwerking tot product Van verwerking tot product naar toepassing product	=, transport van pluimveehouder naar verwerker is vergelijkbaar +, transport van substraat producent naar champignonteler én van champignonteler naar landbouw
Emissies tijdens proces	NH ₃ CO ₂	=, bij beide vervliegt ammoniak, aangenomen dat de luchtwassers even effectief zijn +, emissies door energiegebruik voor verspreiden bij champignonteler
Hulpstoffen	Elektriciteit Diesel Water Andere hulpstoffen	+, meer productiestappen +, meer productiestappen +, meer productiestappen +, ook tarwestro, kalk, dekaarde (bestaande uit veen en schuimaarde) en bijvoedmiddel als hulpstoffen
Uitrijden mest	Dieselgebruik bij uitrijden in de landbouw	=, het uitrijden van het eindproduct vindt op gelijke wijze plaats
Emissies na uitrijden	N ₂ O NH ₃ NO ₃	-, want minder stikstof in product dan in compost
Vastlegging CO ₂	Opslag van organische stof in de bodem/in champignons	?, een deel van de organische stof wordt gebruikt door champignons en een deel komt via champost op het land. Er is onvoldoende informatie over hoe we dit wegen ten opzichte van elkaar.



Onderdeel	Beschrijving	Vergelijking compost en champost
Vermeden product	Kalkammonsalpeter (N) Tripelsuperfosfaat (als P ₂ O ₅) Kaliumsulfaat (als K ₂ O)	?, er is niets bekend over de producten die gebruikt zouden worden indien de pluimveemest niet zou worden gebruikt in de champignonteelt

Toelichting: '=' geeft aan dat de twee routes vergelijkbaar zijn, '-' geeft aan dat composteren en aanwending voor champignonteelt een lagere milieubelasting heeft op een onderdeel, '+' geeft aan dat composteren en aanwending voor champignonteelt een hogere milieubelasting heeft op een onderdeel. Bij '?' bestaat onduidelijkheid.

Zoals te zien in Tabel 21 is er bij de productie van champost meer transport nodig, zijn er meer emissies tijdens het proces en zijn er meer hulpstoffen nodig dan bij compost productie die niet wordt ingezet voor de champignonteelt. Daar staat tegenover dat er minder emissies zijn na het uitrijden.

De grootste onzekerheid zit hem in het vermeden product en de CO₂-vastlegging. De compost die wordt ingezet voor champignonteelt kan twee keer worden ingezet één keer als champignonsubstraat en één keer als champost in de landbouw. Dit levert enkele onzekerheden op:

- Champost heeft een lagere nutriënteninhoud dan compost omdat een deel van de nutriënten al door de champignons gebruikt zijn. Om te kunnen bepalen hoe groot het verschil is, hebben we informatie nodig over de hoeveelheid champost die geproduceerd kan worden uit 1 ton kippenmest, en over het gedeelte van de nutriënten dat is toe te rekenen aan de kippenmest. Beide getallen zijn niet beschikbaar in deze studie.
- Omdat champignons alleen op afvalmateriaal worden geteeld, kan geen 'vermeden product' worden bepaald voor champignonsubstraat. Ook de opbrengst van de champignons per ton kippenmest is onbekend.

Conclusie

Op basis van de kwalitatieve analyse kan worden aangenomen dat de milieubelasting van de route Champignonteelt minimaal vergelijkbaar en gezien het grote aantal plusjes waarschijnlijk hoger zal zijn dan die van de route Composteren.

Omdat er bij Champignonteelt geen energie wordt opgewekt, zal de milieuprestatie van de route Champignonteelt niet in de buurt komen van de routes waarbij energie wordt opgewekt.

De hoogte van de milieubelasting van deze route zal met name afhankelijk zijn van het transport en de hoeveelheid energie die nodig is in het productieproces. Over beide factoren is geen kwantitatieve informatie bekend.

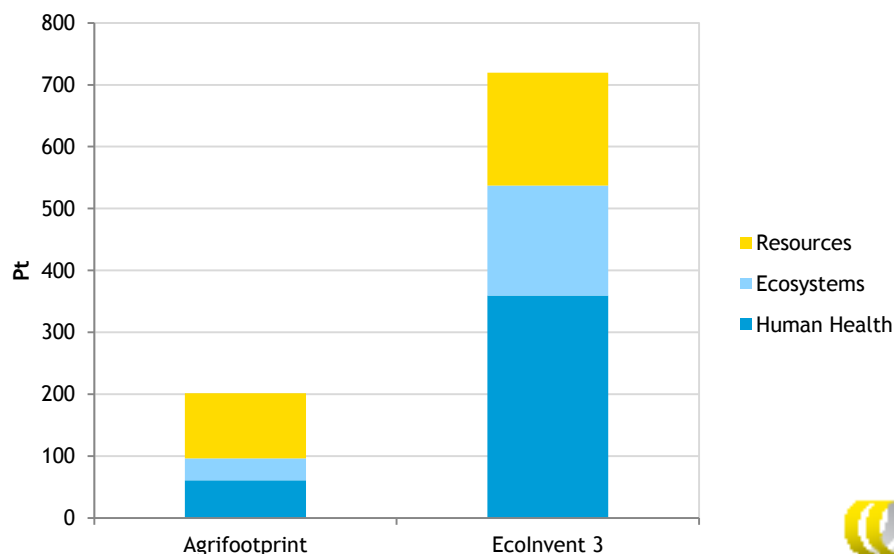


Bijlage B Toelichting kunstmestvervanging

Deze bijlage geeft een toelichting op de keuzes die we hebben gemaakt voor het type kunstmest dat wordt vervangen.

Er is gekozen om de kunstmest vervanging voor de N in de producten uit te voeren op basis van de kalkammonsalpeter (KAS) zoals deze gemodelleerd is in de Agri-footprint-database (de OCI Nitrogen-variant).

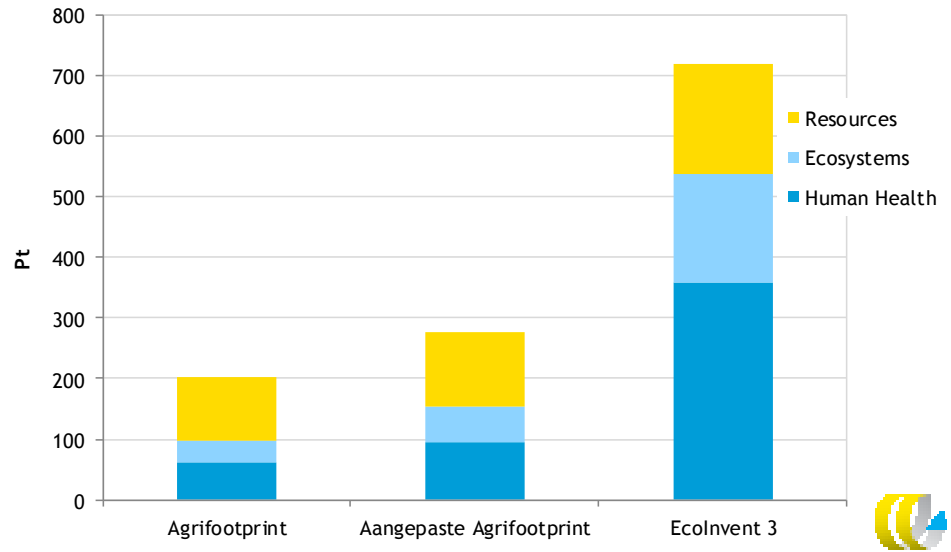
Figuur 21 Vergelijking KAS in Agri-footprint- en Ecoinvent 3-database per kg N



Zoals weergegeven in Figuur 21 heeft de productie van KAS in de Ecoinvent-database 3,5 keer meer milieu-impact dan de productie van KAS bij OCI Nitrogen zoals aangegeven in de Agri-footprint-database. Het verschil zit vooral in de N_2O -emissies tijdens de productie van salpeterzuur en ammoniak en de CO_2 -emissies van het energieverbruik. Deze emissiereducties zijn te verklaren door de ontwikkeling van de technologie voor de productie van deze kunstmest sinds 1998, het jaar waarop de gegevens voor Ecoinvent 3 gebaseerd zijn.

Wel wordt er in de Agri-footprint-database uitgegaan van een proces waarbij een deel van de CO_2 en geproduceerde warmte gebruikt kan worden door andere bedrijven op het industrieel terrein. Niet op elk industrieel terrein kan warmte afgezet worden, daarom is deze winst uit het proces gehaald. Dit levert de een vergelijking op zoals weergegeven in Figuur 22.

Figuur 22 Vergelijking aangepaste versie KAS Agri-footprint- en Ecoinvent 3-database per kg N



Bijlage C Toelichting ReCiPe-methodiek

Deze bijlage geeft een toelichting op de ReCiPe-methodiek die is gebruikt voor de uitvoer van de LCA in deze studie.

De ReCiPe-LCA-methodiek is ontwikkeld in opdracht van de Nederlandse overheid en wordt in Nederland voor veel LCA-studies gebruikt.

De ReCiPe-methode zet de lange lijst met primaire resultaten om in beter te interpreteren indicatoren. Met deze methode kunnen de milieueffecten worden gerapporteerd op drie niveaus:

- midpoints: probleem-georiënteerde milieueffecten, zoals broeikaseffect en verzuring. In de ReCiPe-methode zijn 17 midpoints;
- endpoints: schade-georiënteerde effecten: effect op natuur, effect op mensen en effect op voorraden. In de ReCiPe-methode zijn de schades van de 17 midpoints verdeeld over 3 endpoints;
- single score: gewogen milieuscore van de 3 endpoints.

Midpoint-niveau

Het midpoint-niveau, ofwel milieueffectniveau, is een directe vertaalslag van stof/emissie naar milieueffect. Het midpoint-niveau geeft inzicht in de afzonderlijke milieueffecten en kenmerkt zich door een hoog niveau van transparantie. Het gevolg van deze score, de daadwerkelijke milieuschade, is er echter niet aan af te zien. Hiervoor zijn de drie endpoints (niveau 2) geschikter.

Endpoint-niveau

Op endpoint-niveau worden de milieueffecten genormaliseerd en omgerekend naar schade. Zo heeft bijvoorbeeld een score voor ecotoxiciteit gevolgen voor hoeveelheid dier- en plantensoorten (afname daarvan) en dus op 'schade aan ecosystemen'. In de ReCiPe-methode worden milieuschades in drie schadecategorieën gegroepeerd:

1. Schade aan menselijke gezondheid.
2. Schade aan ecosystemen.
3. Schade aan grondstofbeschikbaarheid.

Single score

De resultaten van een LCA in single score is de optelsom van de milieuschade op endpoint-niveau, waarbij elke schadecategorie een waarderingsfactor heeft gekregen. Het resultaat in single score is dus een gewogen eindscore van alle milieuschades.



Tabel 22 geeft de milieueffecten die in deze studie kwantitatief worden gerapporteerd in de LCA.

Tabel 22 Milieueffectcategorieën, eenheden en weging volgens ReCiPe

Midpoints	Endpoints	Standaard weging single score
Climate change Human Health (kg CO ₂ -eq.)	Human Health (DALY)	40%
Ionising radiation (kBq U235-eq.)		
Ozone depletion (kg CFC-11-eq.)		
Terrestrial acidification (kg SO ₂ -eq.)		
Human toxicity (kg 1,4-DB-eq.)		
Photochemical oxidant formation (kg NMVOC)		
Particulate matter formation (kg PM ₁₀ -eq.)		
Marine eutrophication (kg P-eq.)	Ecosystems (species.year)	40%
Freshwater eutrophication (kg P-eq.)		
Climate Change Ecosystems (kg CO ₂ -eq.)		
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB-eq.)		
Fresh water ecotoxicity (kg 1,4-DB-eq.)		
Marine ecotoxicity (kg 1,4-DB-eq.)		
Agricultural land occupation (m ² a)		
Urban land occupation Landgebruik, urbaan (m ² a)		
Natural land transformation (m ²)		
Water depletion (m ³)		
Metal depletion (kg Fe-eq.)	Resources (\$)	20%
Fossil depletion (kg oil-eq.)		

Bron: (Goedkoop, et al., 2013).

Tabel 23 Vertaling van de milieueffectcategorieën in Engels naar Nederlands

Engels	Nederlands
Climate change Human Health	Klimaatverandering, humane gezondheid
Ozone depletion	Ozonlaagaantasting
Human toxicity	Menselijke toxiciteit
Photochemical oxidant formation	Smogvorming (fotochemische oxidantvorming)
Particulate matter formation	Fijnstofvorming
Ionising radiation	Ioniserende straling
Climate change Ecosystems	Klimaatverandering, ecosystemen
Terrestrial acidification	Verzuring, bodem
Freshwater eutrophication	Veresting (eutrofiering), zoetwater
Marine eutrophication	Veresting, zoutwater
Terrestrial ecotoxicity	Ecotoxiciteit, bodem
Freshwater ecotoxicity	Ecotoxiciteit, zoetwater
Marine ecotoxicity	Ecotoxiciteit, zoutwater
Agricultural land occupation	Landgebruik, agrarisch
Urban land occupation	Landgebruik, urbaan
Natural land transformation	Landgebruik, natuur
Metal depletion	Uitputting, mineralen/metalen
Fossil depletion	Uitputting, fossiel
Water depletion	Uitputting, water



Bijlage D Zware metalen, micronutriënten

De zware metalen en micronutriënten die in de eindproducten aanwezig zijn en in de bodem terechtkomen tijdens het toepassen van de meststof in de landbouw worden in de analyses buiten beschouwing gelaten. Stel dat we de emissies van zware metalen en micronutriënten wel zouden meenemen, dan zou de totale impact van deze emissies bij de BMC-route minder zijn dan 0,1% van de totale milieu-impact (Single Score) en minder dan 1,5% bij het direct uitrijden van mest in Nederland. Deze bijlage geeft hierop een toelichting.

In de routes met een verbranding (1, 2, 4) zal een deel van deze verontreinigingen worden afgevangen in de rookgaszuivering en een deel worden uitgestoten naar de lucht. Op basis van onze functionele eenheid van 1 ton pluimveemest, zal via deze routes dus minder verontreinigingen op het land en in de bodem terechtkomen. Aan de andere kant, om een goede vergelijking te maken van de impact van het op het land brengen van deze verontreinigingen, is het beter een vergelijking te maken over wat er per hectare (oppervlak) op het land terechtkomt. In Nederland zijn hiervoor maximale waarden van toepassing (niet voor dierlijke mest) die behoren bij dat waardegevend bestanddeel waarvan bij het toedienen van een toenemende hoeveelheid van de meststof, de hoeveelheden van 80 kilogram fosfor, 100 kg stikstof, 150 kilogram kali, 400 kilogram neutraliserende waarde of 3.000 kilogram organische stof het éérst wordt bereikt. Voor pluimveemest is dit fosfor.

In Tabel 24 is weergegeven hoeveel mg aan zware metalen en micronutriënten er in mest en as zit, per kg P_2O_5 . Zoals te zien valt het voor sommige elementen hoger uit voor de BMC-as, en voor anderen lager. Vanwege de wet van behoud van massa en het feit dat BMC geen hulpstoffen gebruikt die de samenstelling van de as beïnvloeden kunnen de verschillen niet groot zijn. De massabalans is echter niet volledig sluitend te krijgen door verschillen in analysemethoden en bijvoorbeeld monstervoorbereiding (zie ook de toelichting in Bijlage F.1).

De maximale waarden voor zware metalen zijn weergegeven in de laatste kolom van Tabel 23. Volgens deze normen mag pluimveemestas in Nederland niet als meststof worden gebruikt, omdat de gehalten koper en zink per kg P_2O_5 te hoog zijn, overigens zit in onbewerkte pluimveemest, die wel toegepast mag worden, vrijwel dezelfde hoeveelheid koper en zink per kg P_2O_5 .

Vanwege bovenstaande hebben we besloten dat de zware metalen en micronutriënten buiten beschouwing blijven in de analyse.



Tabel 24 Analyse van zware metalen en micronutriënten in mest en as, per kg P₂O₅

	Mg/kg P ₂ O ₅		BMC-as lager of hoger?	Meststoffenwet (max. waarden in mg/ P ₂ O ₅) ^a
	MEST	BMC-AS		
As	<81	<22	↓	375
Cd	5,7	6,1	↑	31,3
Cr	271	95	↓	1.875
Cu	2497	2472	↓	1.875
Hg	<1	<0,5	↓	18,8
Ni	174	141	↓	750
Pb	<136	39	↓	2.500
Zn	12214	12726	↑	7.500

^a Bron: Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet, Bijlage II tabel 1 (Rijksoverheid, 2005).

Overige emissies naar bodem en emissies (naar lucht) van cadmium (Cd), kwik (Hg), alsook andere emissies zijn wel opgenomen in de analyse van de milieu-impact.



Bijlage E Koolstofvastlegging

Omdat koolstofhoudend materiaal (mest, compost, pluimveemestkorrels, digestaat) wordt afgezet in de landbouw, wordt een deel van koolstof in de mest langdurig vastgelegd in de landbouwgrond. De koolstof in de effectieve organische stof (EOS) die over 100 jaar blijft zitten wordt vastgelegd in de bodem.

De vastlegging van EOS over 100 jaar is berekend op basis van een ruwe benadering van de afbraak van organisch materiaal en van de vorming en afbraak van bodemorganische stof volgens het Roth-C-model.

In het Roth-C-model wordt biomassa benaderd als een combinatie van makkelijk (DPM) en moeilijk (RPM) afbreekbaar organisch materiaal. Beide soorten plantaardig materiaal worden afgebroken tot CO₂, microbiologisch materiaal (BIO) en humus (HUM). De verhouding tussen HUM en BIO is vastgezet in Roth-C op 46 en 54%. Beide afbraakproducten (BIO en HUM) worden weer omgezet in een mengsel van CO₂, microbiologisch materiaal (BIO) en humus (HUM).

Afbraak verloopt volgens de relatie (Coleman & Jenkinson, 1999):

$$C_t = C_{t=0} \cdot e^{a \cdot b \cdot c \cdot k \cdot t}$$

Waarin:

- a, b, c: factoren die de invloed beschrijven van temperatuur, vochtgehalte in de bodem en de mate van begroeiing;
- k: een vaste afbraaksnelheid factor per type organische materiaal:
 - 10 voor makkelijk afbreekbare stof;
 - 0,3 voor moeilijk afbreekbare stof;
 - 0,66 voor microbiologisch materiaal;
 - 0,02 voor humus.
- t: de tijd (in jaren) na de start van het afbraakproces.

In deze benadering in dit rapport zijn de factoren a, b, c niet meegenomen. Dit betekent dat er geen rekening gehouden is met verschillen in:

- vochthuishouding in de bodem van het afzetgebied;
- temperatuur in de bodem van het afzetgebied;
- de stikstof en fosfor beschikbaarheid voor de vorming van bodemorganische stof;
- de veroudering van het organische materiaal dat in het afbraakproces zit.

De verhouding tussen CO₂ en BIO en HUM wordt bepaald door het kleigehalte in de bodem volgens de volgende relatie (Krull, et al., 2001):

$$\frac{CO_2}{(BIO+HUM)} = 1,67 \cdot (1,85 + 1,60 \cdot e^{-(0,0786 \cdot \%klei)})$$

In dit rapport is uitgegaan van een kleigehalte van 35%.



Bijlage F Berekeningen mineralenbalans

Tabel 25 geeft de samenstelling van de ingaande mix bij BMC, de as en de mest als deze direct wordt aangewend. De hoeveelheid as, compost, mestkorrel en digestaat die is weergegeven in de tabel refereert aan de hoeveelheden die worden geproduceerd per ton ingaande mix in de BMC-centrale.

Tabel 25 Samenstelling van producten die kunnen worden aangewend als kunstmestvervanger

Mestverwerkingmethode	Mestaanwending	BMC & pluimveehouder	Compostering	Verkorrelen	Vergisten
Productbeschrijving	Ingaande mix bij BMC	Pluimveemestas	Compost en spuiwater	Mestkorrels en spuiwater	Digestaat
Hoeveelheid (kg/ton mest)	1.000	141 ¹⁸	1.212 compost en 10 spuiwater ¹⁹	636 mestkorrel en 5 spuiwater ²⁰	1.570 ²¹ waarvan 810 uit pluimveemest ²²
Organische Stof, OS (kg/ton mest)	458 ²³	0	408 ²⁴	414 ²⁵	327 ²⁶ , waarvan 266 uit pluimveemest ²⁷

¹⁸ BMC produceerde in 2015 62 kton pluimveemest-as die werd afgezet als meststof, op een verwerking van 438 kt aan pluimveemest. $62/438 =$ afgerond 141 kg.

¹⁹ Gebaseerd op informatie verkregen in persoonlijk contact met de eigenaar van een Nederlands composteerbedrijf. Tijdens het composteerproces is sprake van ongeveer 10% vochtverlies. Het composteerbedrijf gebruikt een ingaande stroom die voor 75% bestaat uit pluimveemest (zowel vleeskuikenmest als mestbandmest). Uit 1 ton pluimveemest kan dus in combinatie met de 25% andere meststoffen die worden toegevoegd 1,2 ton compost worden geproduceerd. Per jaar wordt ongeveer 520 m³ aan spuiwater geproduceerd. Dit is 0,01 m³ per ton geproduceerde compost. $0,01 * 1,212 * 1,1 \text{ ton/m}^3 \text{ spuiwater} = 0,0139 \text{ ton}$. Hiervan rekenen we 75% toe aan de pluimveemest. $0,75 * 0,0139 = 10 \text{ kg spuiwater}$.

²⁰ Gebaseerd op informatie verkregen van Ferm O Feed. Dit bedrijf gebruikt een ingaande stroom die voor 100% bestaat uit pluimveemest. Uit 1 ton ingaande stroom komt 78% terecht in de pluimveemestkorrel. De ingaande pluimveemest bij de verkorrelaar heeft een droge stofgehalte dat 23% hoger ligt dan de ingaande mix van BMC. Dit betekent dat er op basis van de BMC mix 19% (= $1 - (100/123)$) minder pluimveemestkorrels kunnen worden geproduceerd. $78% * 81% * 1 \text{ ton} =$ afgerond 640 kg. Per jaar wordt ongeveer 250 m³ aan spuiwater geproduceerd. Dit is 0,004 m³ per ton verwerkt ingaande stroom. $0,004 \text{ m}^3 * 1,1 \text{ ton/m}^3 \text{ spuiwater} = 5 \text{ kg spuiwater}$.

²¹ Per ton verwerkt ingaand product (50% snijmaïssilage/50% pluimveemest) wordt 785 kg aan digestaat geproduceerd. Voor 1 ton mest is dit dus $2 * 785 \text{ kg} = 1,570 \text{ ton}$.

²² De massa-afname van het pluimveemest gedeelte in de digestaat is 19%, hierdoor blijft er van 1.000 kg pluimveemest nog 810 kg over in het digestaat.

²³ Mediane samenstelling ingaande mix bij BMC (BMC Moerdijk, 2015).

²⁴ De waardes voor de meest geproduceerde compost bij het Nederlandse composteerbedrijf zijn 340 kg OS, 20 kg N, 20 kg P₂O₅ en 20 kg K₂O per ton compost. Dit compost wordt gemaakt met een ingaande stroom die voor 75% bestaat uit pluimveemest; uit 1 ton pluimveemest kan dus ongeveer 1,2 ton compost worden geproduceerd. De waarden voor OS, N, P₂O₅ en kg K₂O zijn daarom met 1,2 vermenigvuldigd, en voor 75% toegerekend aan de pluimveemest. De compost heeft een humificatiecoëfficiënt van 50% (NMLa, 2016), en de EOS is daarom 206 kg.

²⁵ Gebaseerd op informatie verkregen van Ferm O Feed. Het organische stofgehalte van de korrel is 65%. Dit wordt vermenigvuldigd met de hoeveelheid mestkorrel die kan worden gemaakt van 1 ton pluimveemest. De pluimveemestkorrel heeft een humificatiecoëfficiënt van 50% (NMLa, 2016), en de EOS is daarom 207 kg.

²⁶ Uit 500 kg pluimveemest en 500 kg maïssilage wordt een digestaat geproduceerd met een organische stofgehalte van 208 kg. Uit 1 ton pluimveemest kan digestaat met totaal $208 * 1,570 = 327 \text{ kg organische stof}$ geproduceerd worden.

²⁷ De pluimveemest bevat 46% organische stof. De massa-afname van het pluimveemest gedeelte in de digestaat is 19%, hierdoor blijft er van 1.000 kg pluimveemest nog 810 kg over in het digestaat. Als deze volledige afname van rekening van de organische stof gaat, betekent dit dat er van organische stof $1 - ((1000*46%)-(1000*19\%)) / (1000*46\%) = 42\%$



Mestverwerkingmethode	Mestaanwending	BMC & pluimveehouder	Compostering	Verkorrelen	Vergisten
Effectieve Organische Stof, EOS, (kg/ton mest)	161 ²⁸	0	206 ²⁴	207 ²⁵	93 ²⁹
N (kg/ton mest)	26 ²³	0	18,2 compost ²⁴ en 0,1 spuiwater ³⁰	19,9 mestkorrel en <0,05 spuiwater ³¹	26,4 ³²
P ₂ O ₅ (kg/ton mest)	21 ²³	17,7 ³³	18,2 ²⁴	13,4 ³⁴	14,8 ³⁵
K ₂ O (kg/ton mest)	21 ²³	16,7 ³³	18,2 ²⁴	15,0 ³⁶	21 ³⁷

Tabel 26 Werkzaamheid van nutriënten van producten die kunnen worden aangewend als kunstmestvervanger

Mestverwerkingmethode	Mestaanwending	BMC & pluimveehouder	Compostering	Verkorrelen	Vergisten
Productbeschrijving	Ingaande mix bij BMC	Pluimveemest	Compost en spuiwater	Mestkorrels	Digestaat
Werkingscoëfficiënt N - eenjarig	55% ^b	N.v.t	35% compost 100% spuiwater ^b	35% korrels 100% spuiwater ^b	55% ^b
Werkingscoëfficiënt N - meerjarig	70% ^b	N.v.t.	60% ^b	60% ^b	70% ^b

overblijft. De organische stof in digestaat door de verwerking van 1 ton pluimveemest is dan $458 * (1-42\%) = 266$ kg.

²⁸ EOS ingaande mix bij BMC: 35% van OS, gemiddelde van % EOS voor kippenstrooiselmest en vleeskuikenmest (CBAV, 2016a). $35\% * 458$ kg = 160 kg.

²⁹ De humificatiecoëfficiënt van digestaat is 35% (NMIa, 2016) en dus is de effectieve organische stof $266 * 35\% = 93$ kg.

³⁰ Een ton spuiwater uit compostering bevat 80 kg stikstof (INAGRO, 2015). Dit is vermenigvuldigd met de hoeveelheid spuiwater per ton pluimveemest die gecomposteerd is.

³¹ Het N-gehalte van de binnenkomende mix voor verkorreling bij Ferm O Feed is 35% hoger dan bij BMC. We nemen aan de hoeveelheid N die terecht komt in korrel evenredig is met het N-gehalte in de inkomende mix. Het N-gehalte in de compostkorrel is 4,2%. $42 * (100/135) = 31$. Deze waarde is vermenigvuldigd met de hoeveelheid mestkorrel per ton verwerkte pluimveemest. Een ton spuiwater uit compostering bevat 80 kg stikstof (INAGRO, 2015), dit is vermenigvuldigd met de hoeveelheid spuiwater per ton pluimveemest die verkorrelt is.

³² In 1 ton digestaat uit pluimveemest zit 19,3 kg N (NMIa, 2016). Hiervan komt 87% uit pluimveemest. Per ton verwerkte pluimveemest komt dus $19,3 * 87\% * 1,57 = 26,4$ kg N in digestaat.

³³ Het P₂O₅ en K₂O-gehalte van de pluimveemest van BMC is 12,5% P₂O₅ en 11,8% K₂O. Dit is vermenigvuldigd met de hoeveelheid pluimveemest die geproduceerd wordt per ton verwerkte pluimveemest.

³⁴ Het P₂O₅-gehalte van de binnenkomende mix voor verkorreling bij Ferm O Feed is 43% hoger dan bij BMC. We nemen aan de hoeveelheid P₂O₅ die terecht komt in korrel evenredig is met het P₂O₅-gehalte in de inkomende mix. Het P₂O₅-gehalte in de compostkorrel is 3%. $30 * (100/143) = 21$. Deze waarde is vermenigvuldigd met de hoeveelheid mestkorrel per ton verwerkte pluimveemest.

³⁵ In 1 ton digestaat uit pluimveemest zit 14,4 kg P₂O₅ (NMIa, 2016). Hiervan komt 94% uit pluimveemest. Dit is vermenigvuldigd met de hoeveelheid digestaat die geproduceerd kan worden uit 1 ton pluimveemest. Per ton verwerkte pluimveemest wordt dit dus $14,4 * 1,57 * 0,9\% = 14,8$ kg P₂O₅.

³⁶ Het K₂O-gehalte van de binnenkomende mix voor verkorreling bij van Ferm O Feed is Ouden is 19% hoger dan bij BMC. We nemen aan de hoeveelheid K₂O die terecht komt in de korrel evenredig is met het K₂O-gehalte in de inkomende mix. Het K₂O-gehalte in de compostkorrel is 2,8%. $28 * (100/119) = 23,5$. Deze waarde is vermenigvuldigd met de hoeveelheid mestkorrel per ton verwerkte pluimveemest.

³⁷ 1 ton digestaat bevat 16,6 kg K₂O (NMIa, 2016). Hiervan komt 83% uit pluimveemest. Dit is vermenigvuldigd met de hoeveelheid digestaat die geproduceerd kan worden uit 1 ton pluimveemest. Per ton verwerkte pluimveemest wordt dit dus $16,6 * 1,57 * 0,83 = 21,6$ kg K₂O ter beschikking van de plant. Aangezien dit meer is dan de maximale hoeveelheid van 21 kg die er ingaat per ton pluimveemest, is dit afgerond naar 21 kg.



Mestverwerkingmethode	Mestaanwending	BMC & pluimvee- houder	Compostering	Verkorrelen	Vergisten
Werkingscoëfficiënt P ₂ O ₅ t.o.v. triple superfosfaat - eenjarig	70% a	37 c - 100% d	70% b	70% b	70% b
Werkingscoëfficiënt P ₂ O ₅ t.o.v. triple superfosfaat - meerjarig	100% a	100% ³⁸	100% b	100% b	100% b
Werkingscoëfficiënt K ₂ O	100% b	100% e	100% b	100% b	100% b

a: (CBAV, 2016b), b: (NMIa, 2016), c: (Alterra Wageningen UR, 2015a), d: (Alterra Wageningen UR, 2015b), e: (Alterra Wageningen UR, 2015c).

De combinatie van Tabel 25 en Tabel 26 levert de hoeveelheid werkzame nutriënten op die weergegeven zijn in Tabel 27.

Tabel 27 Werkzame nutriënten in producten die aangewend kunnen worden als kunstmestvervanger

Mestverwerkingmethode	Mestaanwending	BMC & pluimvee- houder	Compostering	Verkorrelen	Vergisten
Productbeschrijving	Ingaande mix bij BMC	Pluimveemestas	Compost	Mestkorrels	Digestaat
Werkzame N eenjarig (kg/ton mest)	14,3	0	6,4 compost, 0,1 spuiwater	6,9 mestkorrel, <0,05 spuiwater	14,4
Werkzame N meerjarig (kg/ton mest)	18,2	0	10,9 compost, 0,1 spuiwater	11,9 mestkorrel, <0,05 spuiwater	18,3
Werkzame P ₂ O ₅ eenjarig (kg/ton mest)	14,7	6,5-17,7	12,7	9,3	14,8
Werkzame P ₂ O ₅ meerjarig (kg/ton mest)	21,0	17,7	18,2	13,3	21,0
Werkzame K ₂ O (kg/ton mest)	21,0	16,7	18,2	15,0	21,0

F.1 Metingen van fosfor en kalium in de as van BMC Moerdijk

Fosfor (uitgedrukt als P₂O₅) en kalium (uitgedrukt als K₂O) zijn belangrijke waardegevendende elementen in zowel pluimveemest als de pluimveemestas. BMC analyseert het gehalte P₂O₅ en K₂O in zowel de mest als de assen en daarbij komt de ingaande stroom niet overeen met de uitgaande stroom. Er bevindt zich structureel meer P en K in de pluimveemest dan in de pluimveemestas. Deze bijlage geeft uitleg hoe dit kan.

Fosfor en kalium kunnen niet verdwijnen

Alle fosfor en kalium die worden aangevoerd bij BMC worden ook weer afgevoerd. De verschillende elementen uit de mest komen terecht in de assen en rookgassen en in hele kleine mate in de off spec-assen (271 ton) en de afvalstoffen door het reinigen van de onderdelen van de installatie tijdens onderhoudsperiodes (521 ton in 2015). Kalium en fosfor komen niet met de rookgassen mee naar buiten (ze vormen geen gassen die bij 135 °C nog niet gecondenseerd zijn) dus moeten terechtkomen in assen en afvalstoffen van de onderhoudsperiodes (die zijn geanalyseerd en daarin gaat het om te kleine hoeveelheden P en K om een verklaring te zijn).

³⁸ Meerjarige werkzaamheid P₂O₅ pluimveemestas: Mondeling informatie van Phillip Ehlert (Alterra).



Met andere woorden: volgens de wet van behoud van massa moet vrijwel alle P en K naar de assen gaan.

Gegevens laboratoria

De analyse vanuit verschillende laboratoria kan een mogelijke oorzaken zijn voor de verschillende resultaten. Hierbij spelen de volgende aspecten een rol:

- Gebruik van de verschillende spectroscopische methoden (ICP-MS en ICP-AES) kunnen een andere kwaliteit resultaten opleveren.
- De bron van de fout kan worden geassocieerd met de bereiding van de monsters, die omvat: verdunning, zure vertering, extractie, drijfmest bemonstering en analyse van de directe monsters. De voornaamste fouten kunnen zijn: besmetting, afbraak en matrixstoringen.
- Vanwege de intense verwarming en de oxidatie reactie die optreedt zijn er elementen die verloren gaan, deze kunnen niet langer aan zuurstof-gebonden blijven.
- Door hoge temperatuur van ICP kan veel K worden geïoniseerd. Als de monsters een hoge Na hebben (of zelfs Rb), zou dit de K ionisatie verminderen ten opzichte van de K in de normen, wat kan leiden tot onjuiste K-lezingen.

Toetsing gegevens

Het gehalte fosfor (uitgedrukt als P_2O_5) in pluimveemest klopt heel goed met de waarden die RVO hanteert (RVO, 2015b). Als je echter de fosfortaire waarden voor bijvoorbeeld mest van vleeskuikens vergelijkt tussen België en Nederland wordt er in België gerekend met 14,1 kg P_2O_5 per ton pluimveemest, dit is 2,5 kg per ton minder (oftewel 15%) (Vlaamse Land Maatschappij, 2016). De vraag is wel of beide getallen te vergelijken zijn. Voor de assen geldt dat de resultaten van drie verschillende labs lager zijn dan verwacht op basis van de mestanalyses van één lab.

Aangezien de metingen aan de mest overeen komen met (RVO, 2015b) kunnen we aannemen dat dit de juiste getallen zijn. In dat geval is een mogelijke verklaring voor de structurele lagere analyses in de assen, dat P en K in het wervelbed worden vastgelegd in zeer harde lagen calciumfosfaat en kalium-silicaat rondom de zandkorrels. Het zou kunnen dat bij het vermalen van de deeltjes voor de analyse het niet goed lukt om alle P en K vrij te maken (BMC Moerdijk, 2016b).

Aanname in dit onderzoek

CE Delft gaat in deze studie ervan uit dat de gehalten P en K die in de mest zijn gemeten, correct zijn. Deze metingen komen namelijk overeen met (RVO, 2015b). Deze gehalten zijn dus gebruikt voor de mest én de assen.



Bijlage G Resultaten LCA-analyse

Deze bijlage geeft de resultaten van de LCA-analyse in getallen.

G.1 Resultaten Single Score

Tabel 28 Resultaten Single Score - Route 1 t/m 4

	BMC	Pluimvee- houder	Vergisten	Biomassa- centrale
Emissies opslag	N.v.t.	N.v.t.	0,21 Pt	N.v.t.
Transport pluimveemest	1,54 Pt	0 Pt	7,71Pt	1,61 Pt
Emissies verwerking	1,20 Pt	0,92 Pt	0,97 Pt	1,01 Pt
<i>Directe emissies</i>	0,57 Pt	0,56 Pt	0,97 Pt	0,54 Pt
<i>Hulpstoffen</i>	0,62 Pt	0,36 Pt	0 Pt	0,38 Pt
<i>Afvalverwerking</i>	0 Pt	0 Pt	N.v.t.	0,09 Pt
Energieopwekking	-23,25 tot -26,49 Pt	-12,49 tot -31,32 Pt	-17,33 - tot -31,05	-23,82 tot -32,63 Pt
<i>Warmte</i>	0 tot -3,24 Pt	0 tot -18,83 Pt	0 tot -6,86	0 tot -8,81 Pt
<i>Elektriciteit</i>	-23,25 Pt	12,49 Pt	-17,33	-23,82 Pt
Transport meststof	0,52 Pt	0,22 Pt	0,26 Pt	N.v.t.
Toepassing als meststof	-5,99 tot -10,74 Pt	-6,68 Pt tot -8,38 Pt	-2,08 Pt	N.v.t.
<i>Directe emissies</i>	0 Pt	0 Pt	13,40 Pt	N.v.t.
<i>Uitsparing kunstmest</i>	-5,99 tot -10,74 Pt	-6,68 Pt tot -8,38 Pt	-13,57 Pt	N.v.t.
<i>CO₂-vastlegging</i>	N.v.t.	N.v.t.	-1,92 Pt	N.v.t.
Overig	0 Pt	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
TOTAAL	-25,98 tot - 33,97 Pt	-18,10 tot -38,45 Pt	-10,26 tot -17,12 Pt	-21,19 tot -30,00 Pt

Tabel 29 Resultaten Single Score - Route 5 t/m 8

	Directe aanwending - NL	Directe aanwending - DE	Composteren	Verkorrelen
Emissies opslag	1,06 Pt	1,06 Pt	0 Pt	0 Pt
Transport pluimveemest	2,10Pt	7,01 Pt	1,40 Pt	1,58 Pt
Emissies verwerking	N.v.t.	N.v.t.	1,81 Pt	9,02 Pt
<i>Directe emissies</i>	N.v.t.	N.v.t.	1,75 Pt	2,48 Pt
<i>Hulpstoffen</i>	N.v.t.	N.v.t.	0,06 Pt	6,54 Pt
<i>Afvalverwerking</i>	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Energieopwekking	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
<i>Warmte</i>	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
<i>Elektriciteit</i>	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Transport meststof	N.v.t.	N.v.t.	2,35 Pt	13,13 Pt
Toepassing als meststof	-8,30 Pt	-3,18 Pt	-12,45 Pt	-12,32 Pt
<i>Directe emissies</i>	8,37 Pt	13,49 Pt	1,55 Pt	2,70 Pt
<i>Uitsparing kunstmest</i>	-13,50 Pt	-13,50 Pt	-11,39 Pt	-12,77 Pt
<i>CO₂-vastlegging</i>	-3,16 Pt	-3,16 Pt	-2,61 Pt	-2,25 Pt
Overig	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
TOTAAL	-5,14 Pt	4,89 Pt	-6,89 Pt	11,42 Pt



G.2 Resultaten midpoints

Tabel 30 Resultaten midpoints

	Klimaat- verandering (kg CO ₂ -eq)	Menselijke toxiciteit (kg 1,4-DB-eq)	Mineralen/ Metalen uitputting (kg Fe-eq)	Fijnstofvorming (kg PM ₁₀ -eq)	Fossieluitputting (kg olie-eq)
BMC	-2,91E+02	-1,02E+02	-1,14E+01	-1,87E-01	-9,29E+01
Pluimveehouder	-1,70E+02	-4,89E+01	-6,42E+00	-5,35E-02	-6,89E+01
Vergisten	-1,17E+02	-8,95E+01	-1,16E+01	1,37E+00	-6,27E+01
Biomassacentrale	-2,54E+02	-6,23E+01	-1,34E+00	-3,44E-02	-7,84E+01
Mest aanwenden - NL	-1,00E+02	-5,12E+01	-1,22E+01	7,56E-01	-3,15E+01
Mest aanwenden - DE	-1,59E+00	-4,99E+01	-1,20E+01	1,43E+00	-1,38E+01
Composteren	-7,63E+01	-4,86E+01	-1,11E+01	6,06E-02	-2,54E+01
Verkorrelen	1,13E+02	-3,83E+01	-1,04E+01	5,11E-01	2,41E+01

G.3 Relatieve bijdrage van midpoints aan single score

Tabel 31 Relatieve bijdrage van midpoints aan single score

	BMC	Pluimveehouder	Vergisten	Biomassacentrale	Mest Aanwenden - NL	Mest Aanwenden - DE	Composteren	Verkorrelen
Climate change Human Health	-30%	-30%	-38%	-33%	-48%	-1%	-28%	35%
Ozone depletion	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Human toxicity	-5%	-4%	-8%	-3%	-12%	-16%	-9%	-6%
Photochemical oxidant formation	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Particulate matter formation	-4%	-5%	37%	-2%	68%	172%	4%	29%
Ionising radiation	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Climate change Ecosystems	-19%	-19%	-24%	-21%	-31%	-1%	-18%	22%
Terrestrial acidification	0%	0%	1%	0%	1%	3%	0%	0%
Freshwater eutrophication	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Terrestrial ecotoxicity	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
Freshwater ecotoxicity	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Marine ecotoxicity	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Agricultural land occupation	0%	-1%	-1%	0%	-3%	-4%	-2%	-2%
Urban land occupation	-1%	-1%	-2%	0%	-6%	-8%	-4%	-4%
Natural land transformation	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	1%
Metal depletion	-2%	-2%	-4%	0%	-10%	-13%	-7%	-5%
Fossil depletion	-38%	-39%	-60%	-40%	-58%	-34%	-36%	29%

In **groen**, de midpoint-categorieën die meer dan 10% bijdragen aan de single score.

G.4 Resultaten midpoints contributie - BMC

Tabel 32 Resultaten midpoints - BMC

Midpoint	Eenheid	Totaal	Overig	Transport pluimvee- mest	Directe emissies verwerking	Hulp- stoffen	Elektriciteit opwekking	Transport meststof	Uitsparing kunstmest
Climate change	kg CO ₂ -eq.	-2,91E+02	-1,53E-02	1,61E+01	3,78E+00	3,36E+00	5,10E-02	-2,71E+02	5,67E+00
Ozone depletion	kg CFC-11- eq.	-9,73E-06	-4,34E-09	2,92E-06	0,00E+00	9,89E-07	8,05E-10	-8,51E-06	7,99E-07
Terrestrial acidification	kg SO ₂ -eq.	-6,26E-01	-1,61E-04	8,52E-02	1,98E-01	1,74E-02	5,74E-05	-4,57E-01	3,89E-02
Freshwater eutrophication	kg P-eq.	-1,34E-01	-6,39E-06	2,57E-04	0,00E+00	4,05E-04	1,47E-05	-9,85E-02	7,17E-05
Marine eutrophication	kg N-eq.	-3,04E-02	-2,36E-05	4,91E-03	1,31E-02	4,69E-04	3,75E-04	-3,85E-02	2,34E-03
Human toxicity	kg 1,4-DB- eq.	-1,02E+02	-8,38E-03	4,05E-01	9,15E-01	6,42E-01	2,87E-02	-6,30E+01	1,10E-01
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	-1,57E-01	-2,04E-04	1,27E-01	3,34E-01	1,22E-02	5,26E-05	-4,43E-01	6,03E-02
Particulate matter formation	kg PM ₁₀ -eq.	-1,87E-01	-2,18E-04	3,49E-02	7,53E-02	5,74E-03	2,16E-05	-1,49E-01	1,64E-02
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB- eq.	1,72E-02	-1,69E-06	2,20E-02	1,64E-04	4,18E-04	3,77E-06	-1,65E-03	6,04E-03
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB- eq.	-2,94E+00	-3,72E-04	3,01E-02	5,71E-06	2,15E-02	1,14E-02	-1,56E+00	8,26E-03
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB- eq.	-2,80E+00	-3,46E-04	8,82E-02	8,06E-04	2,27E-02	1,01E-02	-1,58E+00	2,41E-02
Ionising radiation	kBq U235- eq.	-5,34E+01	-2,81E-02	1,13E+00	0,00E+00	4,03E-01	2,21E-03	-4,83E+01	3,09E-01
Agricultural land occupation	m ² a	-3,93E+00	-1,53E-02	3,01E-02	0,00E+00	6,26E+00	2,70E-04	-4,11E+00	8,11E-03
Urban land occupation	m ² a	-5,72E+00	-4,54E-04	2,69E-02	0,00E+00	9,65E-02	3,17E-04	-1,18E+00	7,05E-03
Natural land transformation	m ²	-4,45E-02	-3,70E-06	5,70E-03	0,00E+00	2,34E-03	-1,53E-06	-4,66E-02	1,56E-03
Water depletion	m ³	-6,80E+00	-2,67E-03	2,65E-02	0,00E+00	1,04E+00	-1,05E-02	-6,22E+00	7,26E-03
Metal depletion	kg Fe-eq.	-1,14E+01	-3,78E-03	7,52E-02	0,00E+00	1,15E-01	1,71E-03	-1,41E+00	2,05E-02
Fossil depletion	kg oil-eq.	-9,29E+01	-4,49E-03	5,48E+00	0,00E+00	2,30E+00	1,77E-03	-8,39E+01	1,50E+00



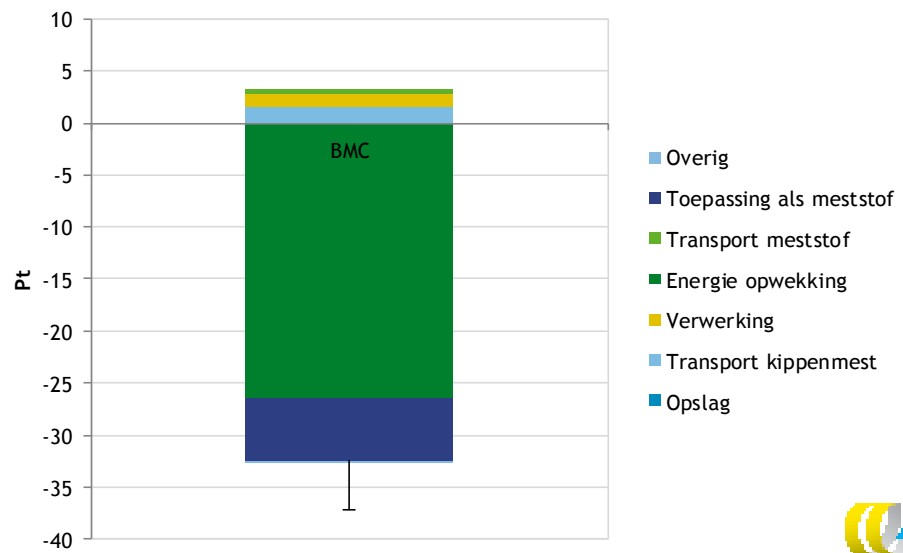
Bijlage H Resultaten BMC Moerdijk

In deze bijlage gaan we dieper in op de resultaten voor BMC Moerdijk op single score en beschrijven we de resultaten op midpoint-niveau. In Bijlage C wordt uitgelegd wat 'single score' en 'midpoint-niveau' zijn. Tot slot maken we een vergelijking van de weergegeven resultaten in dit rapport met de resultaten van een eerder onderzoek uitgevoerd in 2001.

H.1 Resultaten single score en contributieanalyse

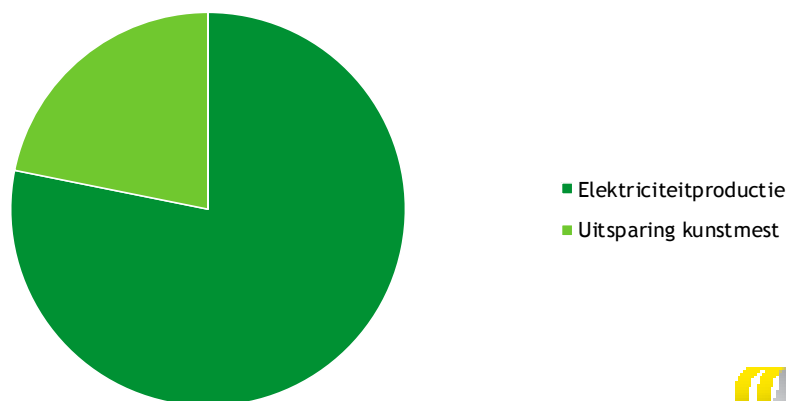
In Figuur 23 zijn de resultaten voor de thermische conversie van pluimveemest bij BMC Moerdijk weergegeven. Uit deze figuur is duidelijk dat het milieuvoordeel (de negatieve score) een stuk hoger is dan de milieubelasting (de positieve score).

Figuur 23 Resultaten single score BMC Moerdijk



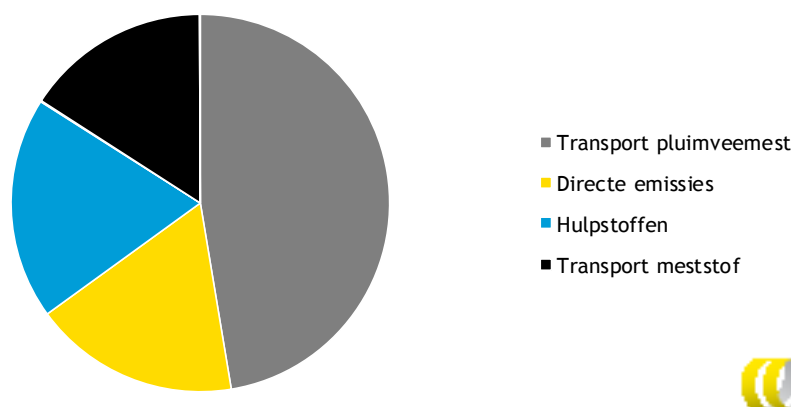
In Figuur 24 is te zien dat het milieuvoordeel (90% van de totale milieu-impact) grotendeels voortkomt uit de elektriciteitsproductie. Ook de uitsparing van de kunstmest levert milieuvoordeel op.

Figuur 24 Positieve contributie BMC Moerdijk (90%)



In Figuur 25 is de milieubelasting te zien (10% van de totale milieu-impact). Het grootste gedeelte van de milieubelasting komt voort uit de CO₂- en NO_x-emissies van het transport van de pluimveemest en het transport van de pluimveemestas en het gebruik van fossiele grondstoffen hiervoor. De rest van de milieubelasting komt voort uit de directe CO₂- en NO_x-emissies tijdens de thermische conversie van de pluimveemest en de productie van verschillende grond- en hulpstoffen. De directe CO₂-emissies tijdens de thermische conversie hangen af van het gebruik van dieselolie en aardgas.

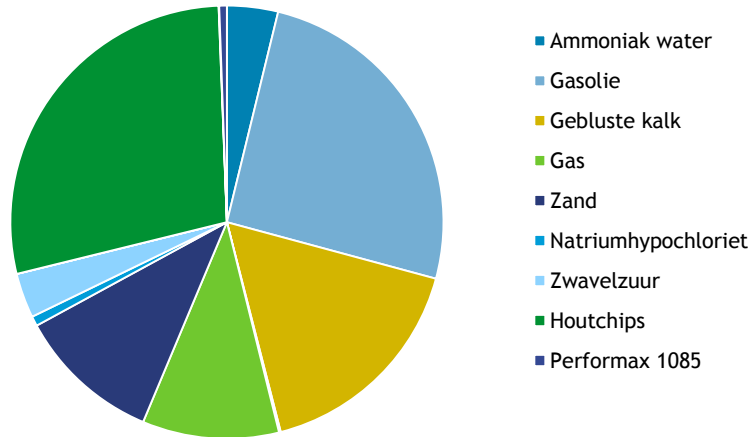
Figuur 25 Negatieve contributie BMC Moerdijk (10%)



De onderdelen 'Hulpstoffen' en 'Directe emissies' zijn verder uitgewerkt in Figuur 26 en Figuur 27.

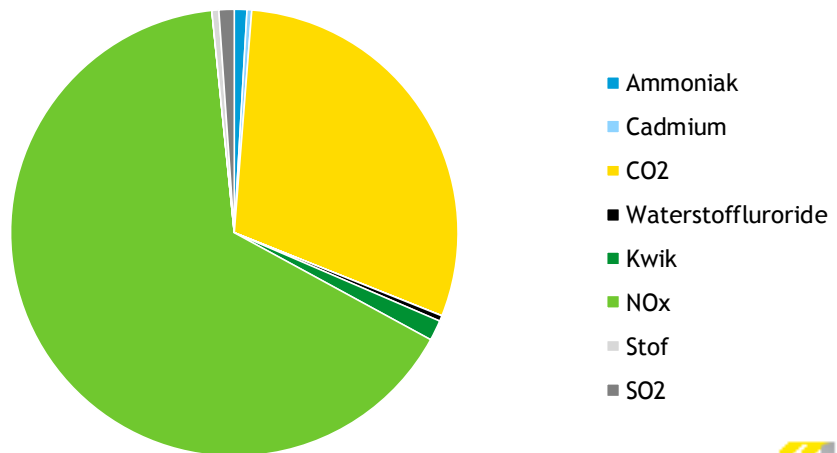
Figuur 26 laat zien wat de contributie aan de milieubelasting van BMC is van de verschillende hulpstoffen die BMC gebruikt. Omdat hulpstoffen in totaal maar zo'n 2% bijdragen aan de milieu-impact, is duidelijk dat het gebruik van de verschillende hulpstoffen elk een klein onderdeel uitmaken van de totale contributie. De productie van elk van deze hulpstoffen draagt minder dan 1% bij aan de totale milieubelasting. Er zijn wel verschillen tussen de bijdrages van de verschillende hulpstoffen. Gasolie en houtchips hebben met ca. 0,5% contributie het grootste aandeel van de hulpstoffen.

Figuur 26 Contributie productie hulpstoffen BMC Moerdijk (ca. 2%)



Figuur 27 laat zien wat de contributie aan de milieubelasting is van de directe emissies van BMC Moerdijk. Te zien is dat NO_x de grootste bijdrage levert, met ca. 1,3%, gevolgd door CO₂ met ca 0,6%. Het aandeel van de overige directe emissies is verwaarloosbaar klein.

Figuur 27 Contributie directe emissies BMC Moerdijk (ca. 2%)



H.2 Gevoeligheidsanalyse thermische conversie bij BMC Moerdijk

Op basis van de contributieanalyse is bepaald welke gevoeligheidsanalyses we uitvoeren. Voor de BMC-route hebben we gekeken naar processen die meer dan 1% van de totale milieubelasting uitmaken.

Tabel 33 Samenvatting gevoeligheidsanalyses BMC

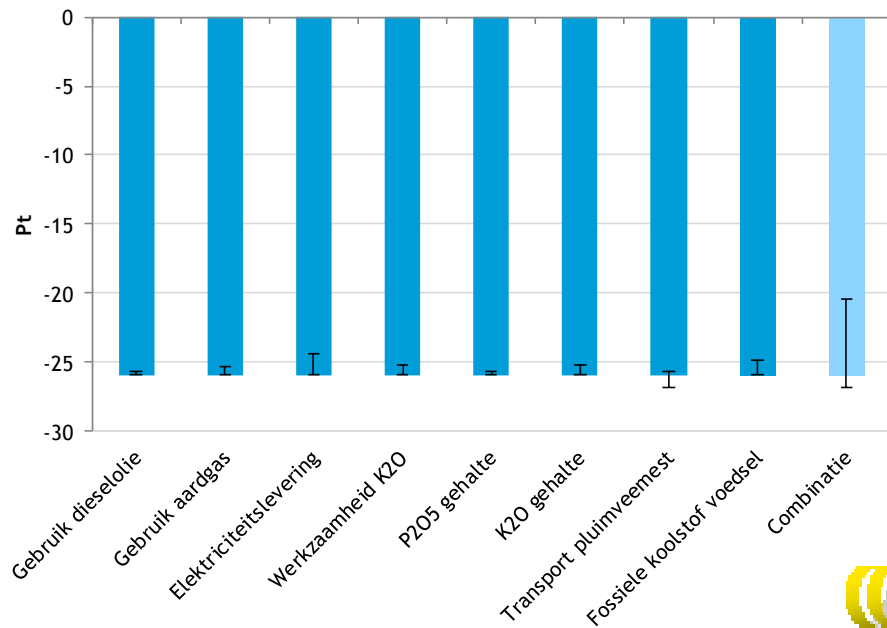
Gevoeligheidsanalyse	Omschrijving
Gebruik dieselolie	Variërend van 446.875 tot 824.713 l per jaar tussen 2010 en 2015 (BMC Moerdijk, 2016a).
Gebruik aardgas	Variërend van 246.945 tot 1.682.936 m ³ per jaar tussen 2010 en 2015 (BMC Moerdijk, 2016a).
Elektriciteitslevering aan net	Variërend van 0,54 tot 0,58 MWh per ton mest verwerkt tussen 2010 en 2015 (BMC Moerdijk, 2016a).
Werkzaamheid K ₂ O	80 tot 100%.
P ₂ O ₅ -gehalte in pluimveemest	18 tot 21 kg per ton mest. Er is een discrepantie tussen de gemeten hoeveelheid P ₂ O ₅ in de mest en de hoeveelheid gemeten in de pluimveemest, daarom is gekozen voor een variatie op basis van het werkelijk gemeten gehalte in pluimveemest.
K ₂ O-gehalte in pluimveemest	17 tot 21 kg per ton mest. Er is een discrepantie tussen de gemeten hoeveelheid K ₂ O in de mest en de hoeveelheid gemeten in de pluimveemest, daarom is gekozen voor een variatie op basis van het werkelijk gemeten gehalte in pluimveemest.
Afstand transport pluimveemest	Variërend van 50 tot 150 km.

Figuur 28 laat zien dat de eerder getrokken conclusies over thermische verwerking van pluimveemest bij BMC redelijk robuust zijn. De combinatie van de verschillende gevoeligheidsanalyses kan ertoe leiden dat het milieuvoordeel van BMC 16% lager uitpakt. Het grootste deel hiervan komt door de variatie in elektriciteitslevering. In de jaren 2010 tot en met 2014 was de hoeveelheid elektriciteit die BMC aan het net leverde lager dan in 2015. De variatie in verbruik van dieselolie en aardgas in de jaren 2010 tot 2015 levert nauwelijks verschil op in milieuvoordeel. Ook het P₂O₅-gehalte, het K₂O-gehalte en de werkzaamheid van K₂O in de pluimveemest hebben nauwelijks invloed op het totale milieuvoordeel.

Het milieuvoordeel kan 2% verder worden vergroot door pluimveemest in te kopen van pluimveehouders dichtbij Moerdijk, zodat de transportafstand wordt verkleind.



Figuur 28 Gevoeligheidsanalyse thermische conversie bij BMC Moerdijk



H.3 Resultaten midpoint

De relatieve bijdrage van de resultaten van de LCA-studie op midpoint-niveau, ook wel het milieueffect niveau, zijn voor de thermische conversie bij BMC Moerdijk weergegeven in Tabel 34. De resultaten op milieueffect niveau geven inzicht in de milieueffecten van de belangrijkste stappen in de keten.

De resultaten worden hier in percentage van de totale belasting per milieueffect weergegeven. De milieueffecten zijn onderling niet te vergelijken, omdat uit deze figuren het schade-effect niet is af te lezen. Een positieve relatieve bijdrage geeft de milieubelasting weer en een negatieve score geeft aan dat er geen milieubelasting, maar juist milieuvoordeel is.

De blauwe percentages in de tabel geven aan dat de directe emissies tijdens de verwerking van de pluimveemest bij BMC Moerdijk en het transport van de pluimveemest en de meststof zorgen voor een significante milieubelasting op vier milieueffectcategorieën ten opzichte van de andere categorieën. Dit zijn terrestrial acidification, marine eutrophication, photochemical oxidant formation, particulate matter formation.

De rode percentages in de tabel geven aan dat de uitsparing van kunstmest door de inzet van pluimveemestas als kunstmest een significante bijdrage levert aan het milieuvoordeel in de milieueffectcategorieën urban land occupation en metal depletion ten opzichte van andere milieueffectcategorieën.

Het groene percentage in de tabel geeft aan dat de productie van hulpstoffen een significant grote milieubelasting heeft in de milieueffectcategorie agricultural land occupation. Het gaat hierbij vooral om de gebruikte houtchips die worden bijgemengd bij BMC Moerdijk.



De oranje percentages in de tabel geven aan dat de directe emissies tijdens het transport van pluimveemest een grote bijdrage leveren aan de milieueffectcategorie terrestrial ecotoxicity.

Bij alle overige milieueffectcategorieën is te zien (in het paars) dat de uitgespaarde elektriciteitsproductie de grootste bijdrage levert aan het milieuvoordeel.

Tabel 34 Relatieve bijdrage midpoint-resultaten BMC Moerdijk

	Transport pluimveemest	Directe emissies verwerking	Hulpstoffen	Elektriciteits-opwekking	Transport meststof	Uitsparing kunstmest
Terrestrial acidification	7%	15%	1%	-36%	3%	-39%
Marine eutrophication	7%	18%	1%	-53%	3%	-18%
Photochemical oxidant formation	10%	27%	1%	-36%	5%	-27%
Particulate matter formation	8%	17%	1%	-33%	4%	-38%
Terrestrial ecotoxicity	55%	0%	1%	-4%	15%	-25%
Urban land occupation	0%	0%	2%	-20%	0%	-78%
Metal depletion	1%	0%	1%	-12%	0%	-86%
Agricultural land occupation	0%	0%	38%	-25%	0%	-37%
Climate change	5%	1%	1%	-78%	2%	-14%
Ozone depletion	15%	0%	5%	-44%	4%	-31%
Freshwater eutrophication	0%	0%	0%	-73%	0%	-27%
Human toxicity	0%	1%	1%	-60%	0%	-38%
Freshwater ecotoxicity	1%	0%	1%	-50%	0%	-47%
Marine ecotoxicity	3%	0%	1%	-51%	1%	-44%
Ionising radiation	2%	0%	1%	-85%	1%	-12%
Natural land transformation	9%	0%	4%	-73%	2%	-12%
Water depletion	0%	0%	12%	-70%	0%	-18%
Fossil depletion	5%	0%	2%	-75%	1%	-16%

H.4 Vergelijking met resultaten 2001

In 2001 heeft CE Delft een studie uitgevoerd getiteld 'De netto CO₂-emissie van hergebruik en energieproductie uit afval vergeleken', waarin ook de thermische conversie van pluimveemest is onderzocht. Dit hoofdstuk geeft uitleg over de verschillen van de studie uit 2001 en de huidige studie uit 2016 (hieronder aangeduid met 'nieuwe studie').

Functionele eenheid

In de studie uit 2001 is uitgegaan van kippenmest uit een menging van leghennen- en vleeskuikenmest, in een verhouding van 25/75. Het droge stofgehalte van deze mest, zonder verdere bewerking (ruwe mest, inclusief dus eventuele zaagsel van uit de stal) is circa 22%.

In de nieuwe studie is uitgegaan van een menging van 52% vleeskuikenmest, 40% strooiselstalmest, 5% kalkoenenmest en 3% mestbandmest (ook wel leghennenmest genoemd). Het droge stofgehalte van deze mest, zonder verdere bewerking, is 57%.



Routes

In de studie uit 2001 is gekeken naar de routes:

- het bijstoken van pluimveemest in een kolencentrale;
- de opwekking van alleen elektriciteit door een centrale op pluimveemest;
- de opwekking van elektriciteit en warmte door een warmte/krachtinstallatie op pluimveemest;
- het direct aanwenden van ruwe pluimveemest in tekortgebieden in Nederland;
- het direct aanwenden van stalgedroogde pluimveemest in Nederland;
- het direct aanwenden van ruwe pluimveemest in het buitenland;
- het direct aanwenden van stalgedroogde pluimveemest in het buitenland;
- het composteren en aanwenden van pluimveemest in het buitenland;
- het thermisch drogen en aanwenden van pluimveemest in het buitenland.

In de nieuwe studie wordt gekeken naar het opwekken van alleen elektriciteit door een centrale op pluimveemest, het direct aanwenden van ruwe pluimveemest in Nederland en in het buitenland en naar het composteren en aanwenden van pluimveemest in het buitenland. Daarnaast wordt in de nieuwe studie ook gekeken naar bijstoken in een biomassacentrale, thermische conversie op het terrein van de pluimveehouder, composteren en verkorrelen en het bijstoken in een vergistingsinstallatie. Bovendien wordt in diverse routes gekeken naar het effect van het opwekken van warmte.

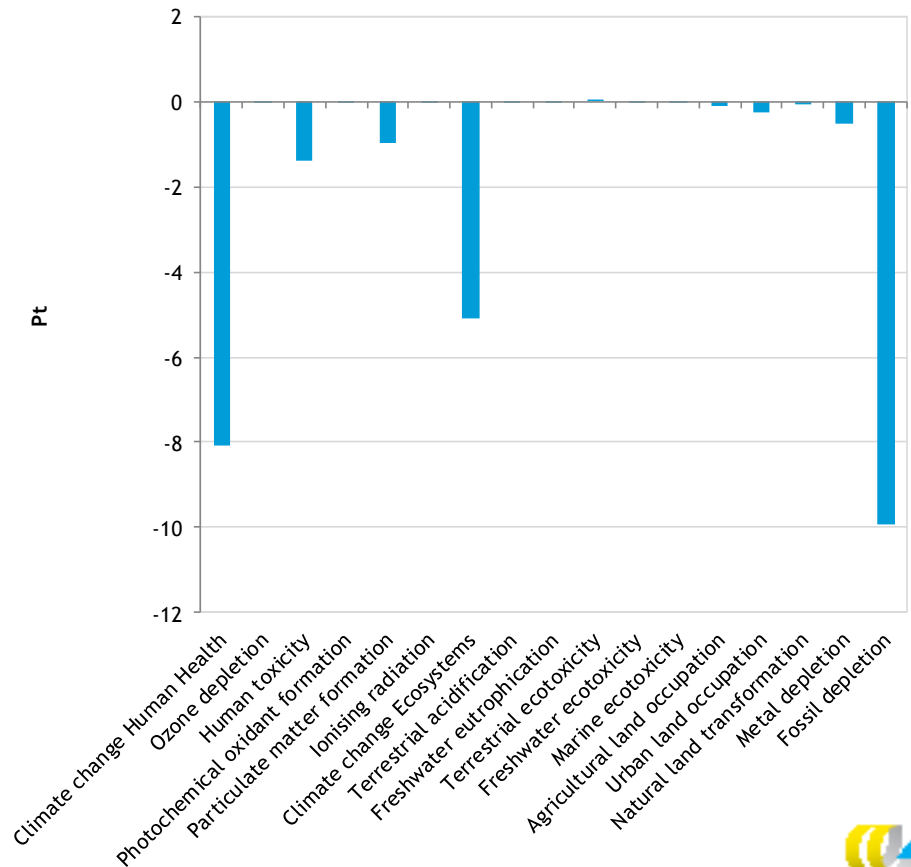
Milieueffecten

In de studie uit 2001 is alleen gekeken naar het milieueffect klimaatverandering, ofwel de CO₂-uitstoot. In de nieuwe studie is zijn alle milieueffecten uit de LCA-methode ReCiPe beschouwd.

Figuur 29 geeft voor de thermische conversie bij BMC Moerdijk aan welk milieueffect de grootste bijdrage geeft aan het totale milieuvoordeel voor de basisroute. Te zien is dat het milieueffect 'climate change' voor 49% bijdraagt aan de totale milieu-impact. Dit is een combinatie van het effect van de klimaatverandering op mensen (Climate Change Human Health, 30%) en het effect van klimaatverandering op ecosystemen (Climate Change Ecosystems, 19%) zoals weergegeven in de figuur. 39% van de milieu-impact komt door 'fossil depletion'. De resterende 12% van de milieu-impact wordt veroorzaakt door andere milieueffecten, zoals Human toxicity (5%), Particulate matter formation (3%) en Metal depletion (2%).



Figuur 29 Relatieve bijdrage milieueffecten aan Single Score - BMC Moerdijk



Energie gebruik drogen mest

In de studie uit 2001 wordt gerekend met een droog stofgehalte van 22% voor de ruwe pluimveemest uit de stal. Er wordt aangenomen dat het verder moet worden uitgedroogd tot 60% om de thermische conversie te kunnen uitvoeren. Bij de directe afzet van ruwe mest is ervan uitgegaan dat er geen droging plaatsvindt.

In de nieuwe studie is gerekend met de werkelijke mix van pluimveemest die bij BMC Moerdijk wordt gebruikt als feedstock. Het droge stofgehalte van deze mix is 57% en behoeft dus geen extra droogstap. Het droge stofgehalte van de vleeskuiken en leghennenmest die wordt gebruikt voor het direct aanwenden van de mest ligt ook boven de 60%, dus ook daar is geen extra droogstap nodig (CBAV, 2016a). Deze mest komt direct uit de stal en is tegenwoordig een stuk droger dan het geval was in 2001 door klimaatbeheersing in de stal. Deze klimaatbeheersing komt ten behoeve van de vlees- en/of eiproductie en hoeft dus niet te worden toegerekend aan de mest.

Aangezien het uitdrogen van de mest van 22% ds tot 60% ds een groot gedeelte bepaalt van de CO₂-uitstoot in de studie uit 2001, zijn de inventarisatie en modellering, en daarmee ook de resultaten, uit beide studies niet vergelijkbaar met elkaar.



CO₂-emissie versus CO₂-vastlegging

In de studie uit 2001 is gesteld dat de totale CO₂-emissies van pluimveemest als nutriënt dezelfde is als bij de verbranding van pluimveemest. In deze studie is aangenomen dat bij aanwending van de ruwe mest, een gedeelte van de CO₂ in de bodem wordt vastgelegd door toevoeging van organische stof en dat de rest van de koolstof als kortcyclisch CO₂ vrijkomt.

Resultaten

In de studie uit 2001 blijkt dat thermisch verwerken van pluimveemest beter is dan het direct aanwenden van ruwe mest (zowel binnen als buitenland) en thermisch drogen. Het thermisch verwerken is echter minder goed dan composteren en inzet in het buitenland.

Ook de nieuwe studie heeft aangetoond dat het thermisch verwerken van pluimveemest bij BMC Moerdijk beter is dan het direct aanwenden van ruwe mest, net zoals in de studie uit 2001. Echter in de nieuwe studie is aangetoond dat het thermisch verwerken beter is dan composteren en inzet in het buitenland, dat heeft met name te maken met het grote milieuvoordeel door energieopwekking. Doordat in de nieuwe studie met een andere functionele eenheid wordt gerekend, is de extra droogstap die in de studie uit 2001 werd toegerekend aan de thermische verwerking, niet nodig. Daarmee is er een hogere elektrische energieopbrengst, wat van invloed is op de resultaten.

Conclusie

De nieuwe studie is niet goed te vergelijken met de studie uit 2001, omdat een andere functionele eenheid is gekozen, met een ander droge stofgehalte. In de nieuwe studie is uitgegaan van de werkelijke mix die in 2015 door BMC is gebruikt. Die mix heeft een droge stofgehalte van 57%, en daardoor is het extra drogen van de pluimveemest niet nodig.

Een ander verschil is dat er in de studie van 2001 alleen gekeken is naar CO₂-uitstoot en in de nieuwe studie naar alle milieueffecten uit de LCA-methode ReCiPe, wat andere uitkomsten oplevert. Tot slot werd er in de studie in 2001 geen rekening gehouden met het vastleggen van CO₂ in de bodem wat in deze studie wel is meegenomen.

Deze punten leiden tot een ander resultaat: in de nieuwe studie komt thermisch verwerken er positiever uit dan composteren en inzetten in het buitenland in tegenstelling tot het resultaat uit de studie in 2001, waar composteren er beter uit kwam.

Wel is, net zoals in de studie van 2001, ook in de nieuwe studie het thermisch verwerken van pluimveemest beter dan het direct aanwenden van ruwe mest (zowel in binnen als in buitenland).



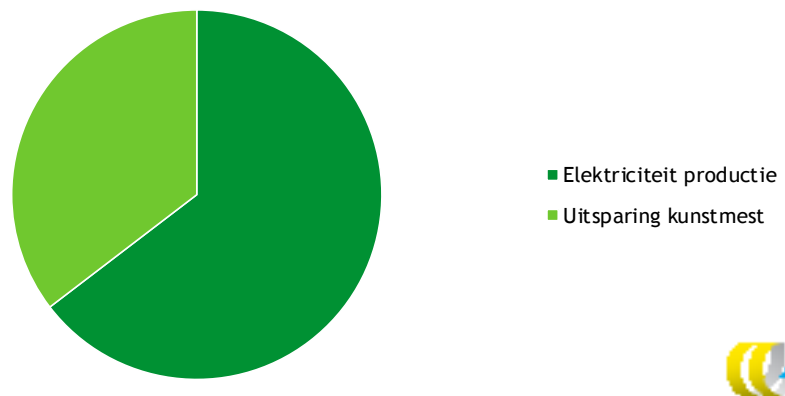
Bijlage I Contributieanalyses

De contributieanalyse is per route verder uitgewerkt, hierbij is gekeken naar processen die meer dan 5% bijdragen aan de totale milieubelasting. Om een beter inzicht te krijgen in de contributies van de verschillende ketenstappen kijken we naar zowel de positieve als de negatieve effecten op het milieu.

I.1 Thermische conversie bij pluimveehouder

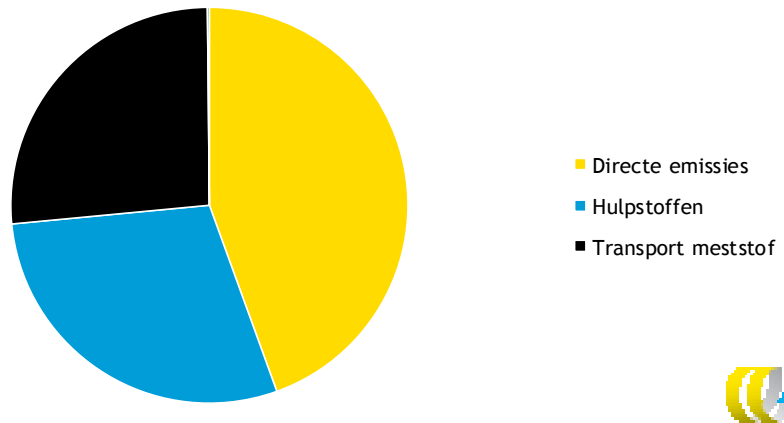
De positieve contributie van thermische conversie bij de pluimveehouder (94% van de totale milieu-impact) bestaat voor $2/3^{\text{de}}$ uit elektriciteitsproductie en voor $1/3^{\text{de}}$ uit de uitsparing van kunstmest door het afzetten van pluimveemest in de landbouw.

Figuur 30 Positieve contributie thermische conversie bij pluimveehouder (94%)



In Figuur 31 is de negatieve contributie te zien (6% van de totale milieu-impact) van verwerking van pluimveemest door thermische conversie bij de pluimveehouder. Het grootste gedeelte van deze contributie zit in de directe emissies uit de installatie. Ook de hulpstoffen en het transport van de pluimveemest dragen bij.

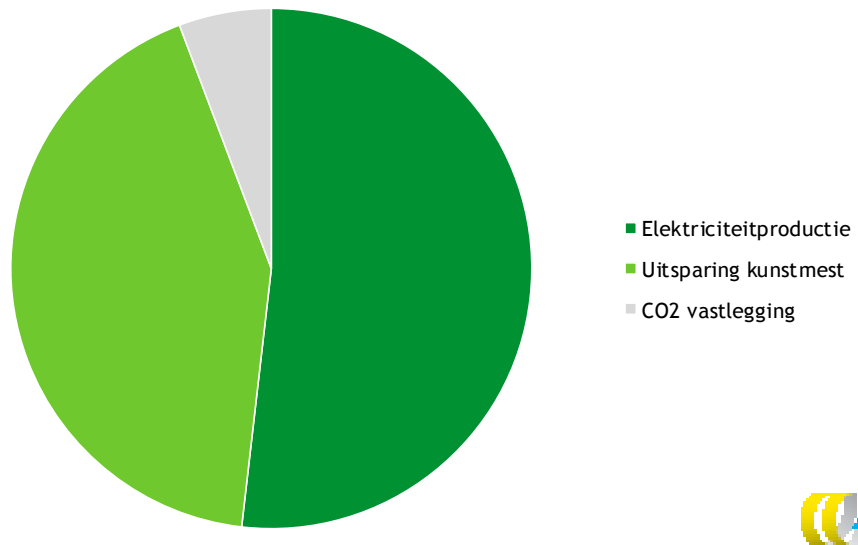
Figuur 31 Negatieve contributie conversie bij pluimveehouder (6%)



I.2 Meevergisten in vergistingscentrale in Duitsland

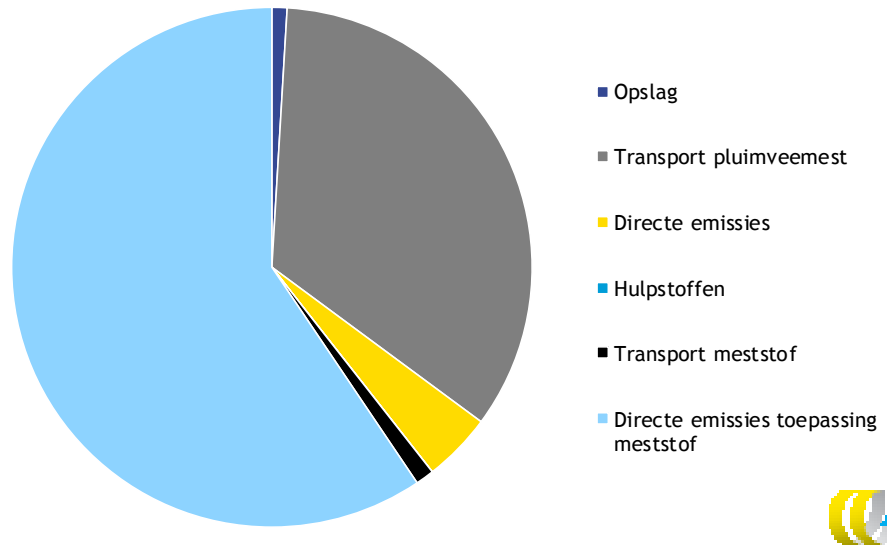
De positieve contributie van het meevergisten van pluimveemest (60% van de totale milieu-impact) bestaat voor ongeveer de helft uit de elektriciteitsproductie. De uitsparing van kunstmest door de afzet van digestaat draagt voor ongeveer 20% bij en het vastleggen van CO₂ in de bodem heeft ook een milieuvoordeel zoals te zien in Figuur 32.

Figuur 32 Positieve contributie meevergisten in vergistingscentrale in Duitsland (60%)



De negatieve contributie (40% van de totale milieu-impact) is terug te vinden in Figuur 33. De helft van de negatieve contributie komt door de toepassing van de meststof, belangrijke emissies uit toepassing van meststof zijn directe ammoniak en lachgasemissies door vervluchtiging. Ook is het transport van de pluimveemest duidelijk terug te zien.

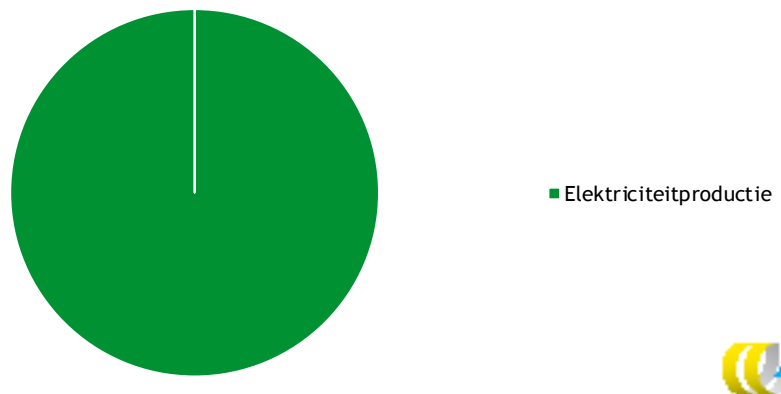
Figuur 33 Negatieve contributie meevergisten in vergistingscentrale in Duitsland (40%)



I.3 Bijstoken in biomassacentrale

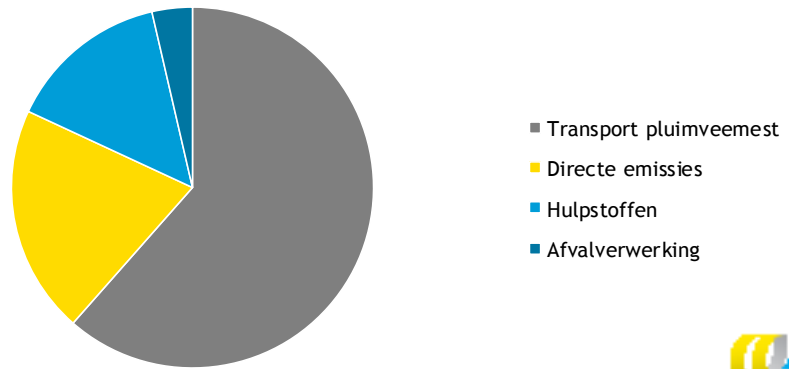
De positieve contributie van het bijstoken van pluimveemest in de biomassacentrale (90% van de totale milieu-impact) bestaat compleet uit energieproductie zoals te zien in Figuur 34.

Figuur 34 Positieve contributie biomassacentrale (90%)



In Figuur 35 is de negatieve contributie te zien (10% van de totale milieu-impact) van verwerking in de biomassacentrale. Het grootste gedeelte van deze contributie zit in de CO₂- en NO_x-emissies tijdens het transport van de pluimveemest en de directe NO_x-, fijnstof- en ammoniakemissies van de biomassacentrale. De overige processen, zoals de individuele hulpstoffen, dragen minder dan 1% bij aan de totale milieubelasting.

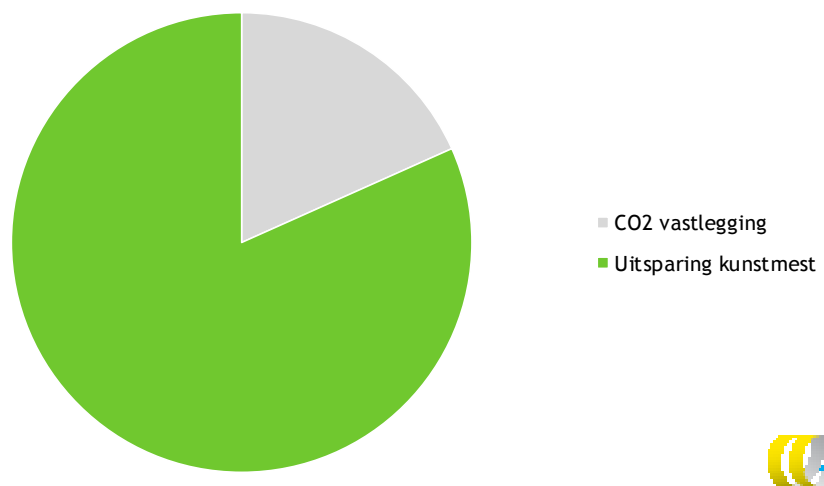
Figuur 35 Negatieve contributie biomassacentrale (10%)



I.4 Directe aanwending ruwe mest in Nederland

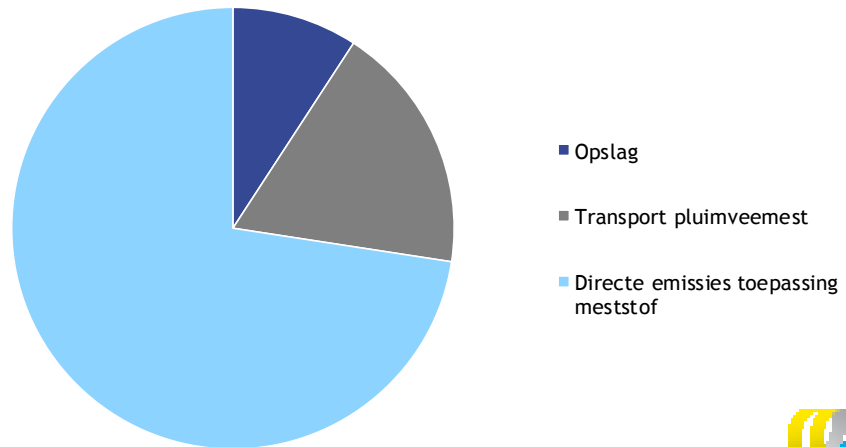
De positieve contributie (60% van de totale milieu-impact) van de directe aanwending van ruwe mest in Nederland komt grotendeels uit het uitsparen van kunstmest. Ook de CO₂-vastlegging in de bodem door toevoeging van organische stof draagt bij.

Figuur 36 Positieve contributie directe aanwending mest - NL (60%)



In Figuur 37 is de negatieve contributie te zien (40% van de totale milieu-impact) van de directe aanwending van ruwe mest in Nederland. De impact van de opslag komt uit directe ammoniak-, lachgas- en methaanemissies. Bij het transport van de pluimveemest is met name het transport van de pluimveemest van de intermediair naar de boer van belang. Belangrijke emissies uit toepassing van meststof zijn de directe ammoniak- en lachgasemissies door vervluchtiging van mest.

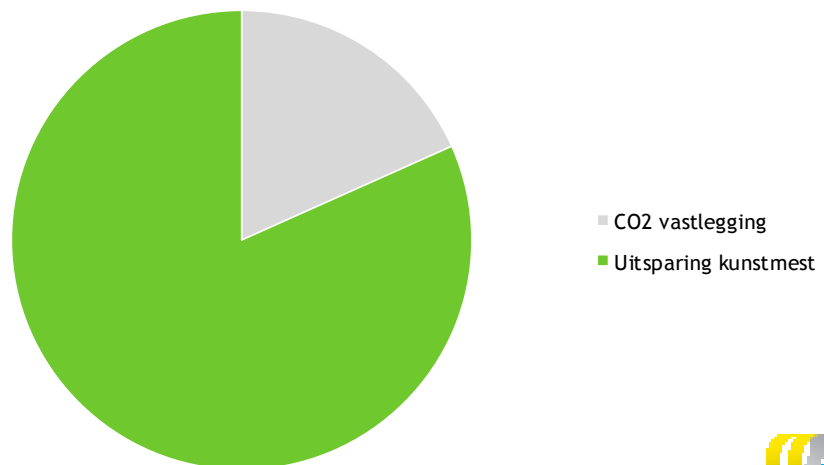
Figuur 37 Negatieve contributie directe aanwending mest - NL (40%)



1.5 Directe aanwending ruwe mest in Duitsland

In Figuur 38 is de positieve contributie te zien (45% van de totale milieu-impact) van de directe aanwending van ruwe mest in Duitsland. Het grootste gedeelte van deze contributie komt voort uit de uitsparing van kunstmest. Het overige gedeelte van de positieve contributie komt door de vastlegging van CO₂.

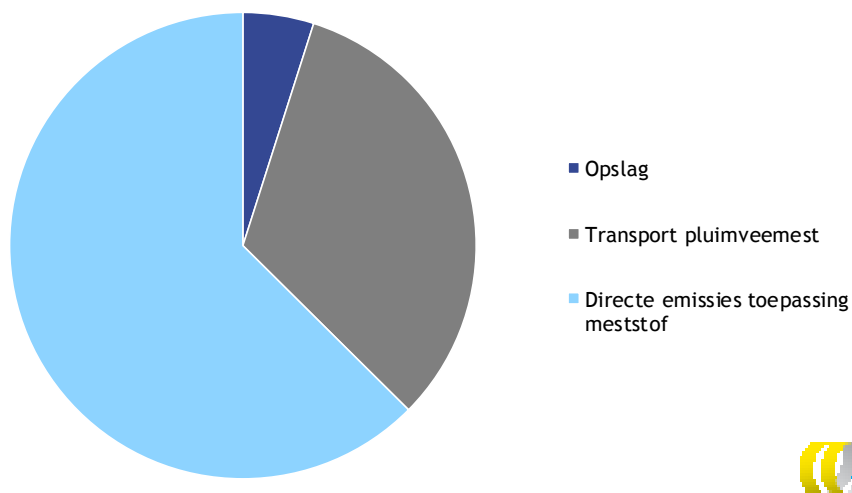
Figuur 38 Positieve contributie aanwending ruwe mest - DE (45%)



De negatieve contributie (55% van de totale milieu-impact) is terug te vinden in Figuur 39. De impact van de opslag komt uit ammoniak-, lachgas- en methaanemissies. Bij het transport van de pluimveemest is met name het transport van de pluimveemest van de intermediair naar de afzetlocatie in Duitsland van belang. Belangrijke emissies uit toepassing van meststof zijn directe ammoniak en lachgasemissies door vervluchtiging van de mest.



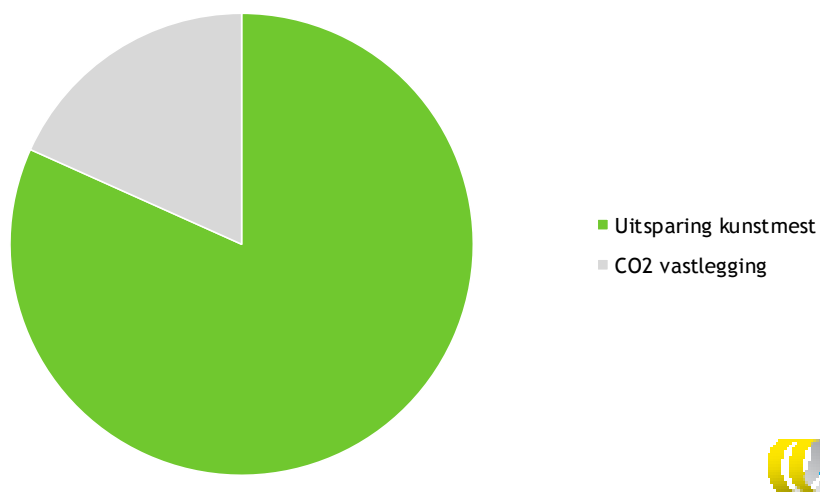
Figuur 39 Negatieve contributie aanwending ruwe mest - DE (55%)



I.6 Composteren en aanwending in het buitenland

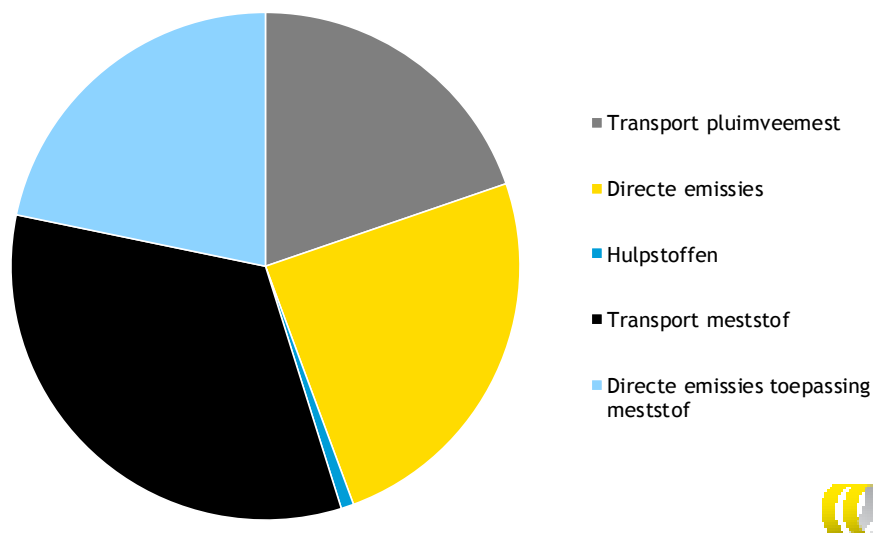
De positieve contributie van composteren van pluimveemest en afzetten in Duitsland (67% van de totale milieu-impact) bestaat grotendeels uit het uitsparen van kunstmest. Verder wordt er ook CO₂ vastgelegd in de bodem zoals te zien in Figuur 40.

Figuur 40 Positieve contributie composteren en aanwending in het buitenland (67%)



De negatieve contributie (33% van de totale milieu-impact) is terug te vinden in Figuur 41. Belangrijke emissies uit toepassing van meststof zijn directe lachgasemissies door vervluchtiging van de mest. De compost wordt naar Frankrijk getransporteerd, en het transport van de meststof heeft daarom een relatief grote bijdrage. Ook de directe emissie tijdens verwerking heeft een relatief grote bijdrage en bestaat voor de helft uit ammoniak en voor de helft uit CO₂-emissies door dieselgebruik.

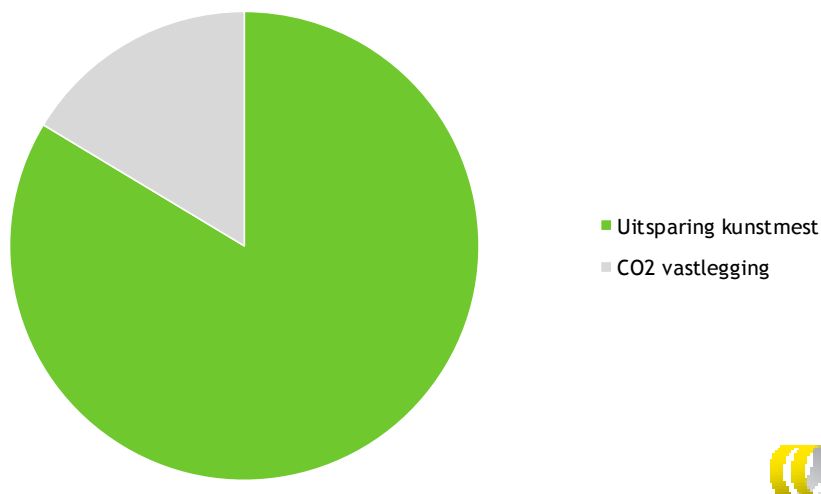
Figuur 41 Negatieve contributie composteren en aanwending in het buitenland (33%)



I.7 Composteren, verkorrelen en aanwending in het buitenland

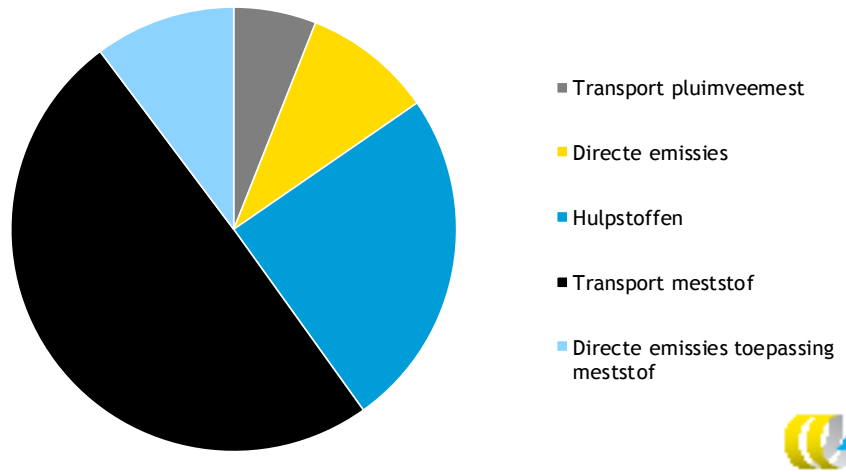
De positieve contributie van het composteren en verkorrelen van bijstoken pluimveemest en aanwenden in het buitenland (37% van de totale milieu-impact) bestaat grotendeels uit het uitsparen van kunstmest. Verder wordt er ook CO₂ vastgelegd in de bodem zoals te zien in Figuur 42.

Figuur 42 Positieve contributie composteren, verkorrelen en aanwending in het buitenland (37%)



De negatieve contributie (63% van de totale milieu-impact) is terug te vinden in Figuur 43. Het grootste gedeelte van de negatieve contributie komt door het transport van de meststof. De pluimveemestkorrel wordt met name afgezet in Azië, waarvoor een lange transport afstand nodig is. 91% van de milieu-impact van transport van meststof komt door het transport naar Azië en 9% door transport naar Spanje. De hulpstoffen die een negatieve impact hebben zijn het gebruik van gas en elektriciteit.

Figuur 43 Negatieve contributie composteren, verkorrelen en aanwending in het buitenland (63%)

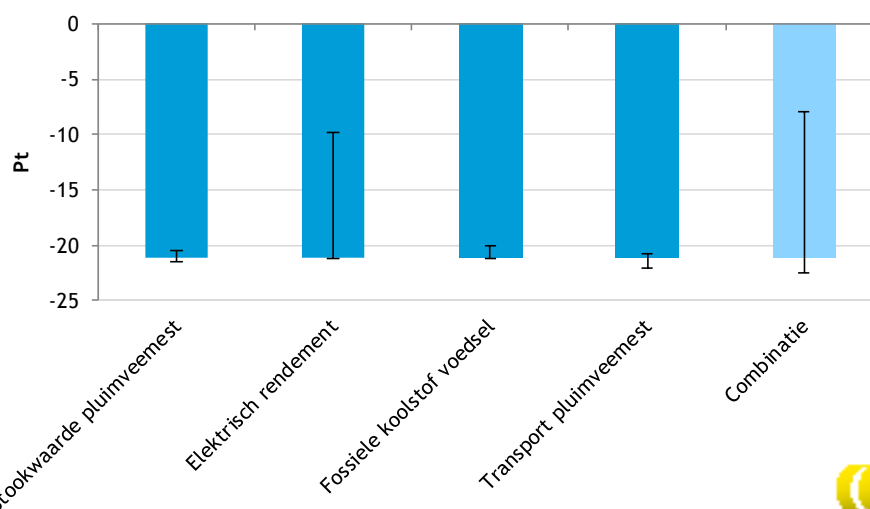


Bijlage J Gevoeligheidsanalyses

J.1 Gevoeligheidsanalyse thermische conversie bij pluimveehouder

Figuur 44 laat zien dat het elektrisch rendement van de thermische conversie bij de pluimveehouder een grote invloed heeft op het milieuvoordeel van het verwerken van pluimveemest. De variatie in stookwaardes die door BMC Moerdijk zijn gemeten in de jaren 2010 tot 2015, levert een minimale marge op. Hetzelfde geldt voor de fossiele koolstof inhoud van het voedsel voor het pluimvee, het P_2O_5 gehalte en het K_2O gehalte in de pluimveemestas.

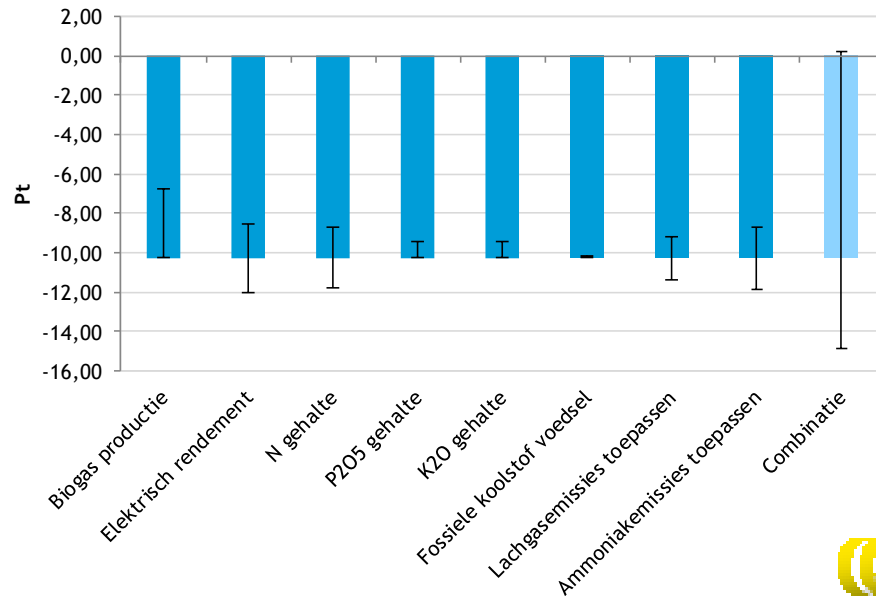
Figuur 44 Gevoeligheidsanalyse thermische conversie bij pluimveehouder



J.2 Gevoeligheidsanalyse meevergisten in vergistingscentrale in Duitsland

Het co-vergisten van pluimveemest met snijmaïssilage kan zowel meer als minder milieuvoordeel opleveren. Het is onwaarschijnlijk dat het vergisten van pluimveemest een milieubelasting zal opleveren, maar zeker door de onzekerheid over de biogasproductie en het elektrisch rendement van de biogas-energiecentrale kan het milieuvoordeel een stuk lager uitpakken. Ook de stikstofinhoud van het digestaat en de emissies uit het digestaat tijdens toepassen kunnen leiden tot een lager milieuvoordeel.

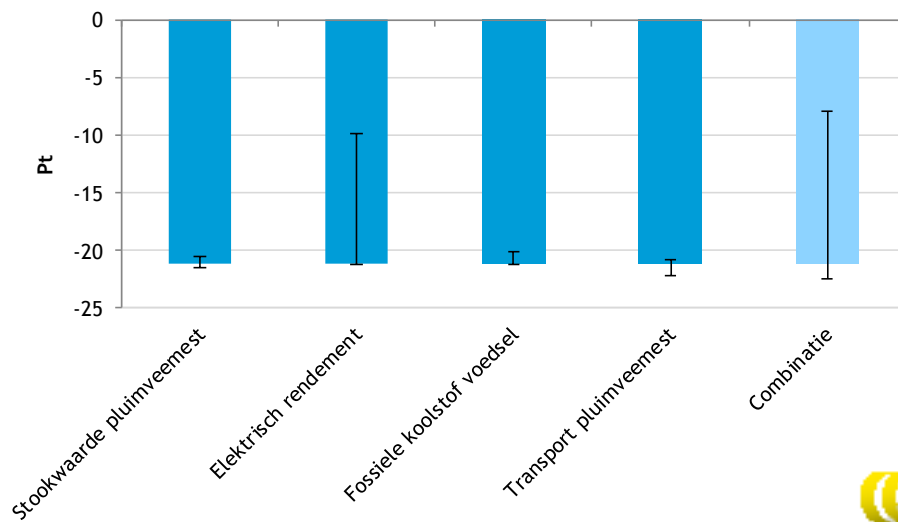
Figuur 45 Gevoeligheidsanalyse meevergisten in vergistingscentrale in Duitsland



J.3 Gevoeligheidsanalyse bijstoken in biomassacentrale

Figuur 46 laat zien dat het elektrisch rendement van de biomassacentrale op hout een grote invloed heeft op het milieuvoordeel van het verwerken van pluimveemest door bijstook in een biomassacentrale. De variatie in stookwaarden die door BMC Moerdijk zijn gemeten in de jaren 2010 tot 2015, levert een minimale marge op. Hetzelfde geldt voor de fossiele koolstof inhoud van het voedsel voor het pluimvee en het transport van de pluimveemest.

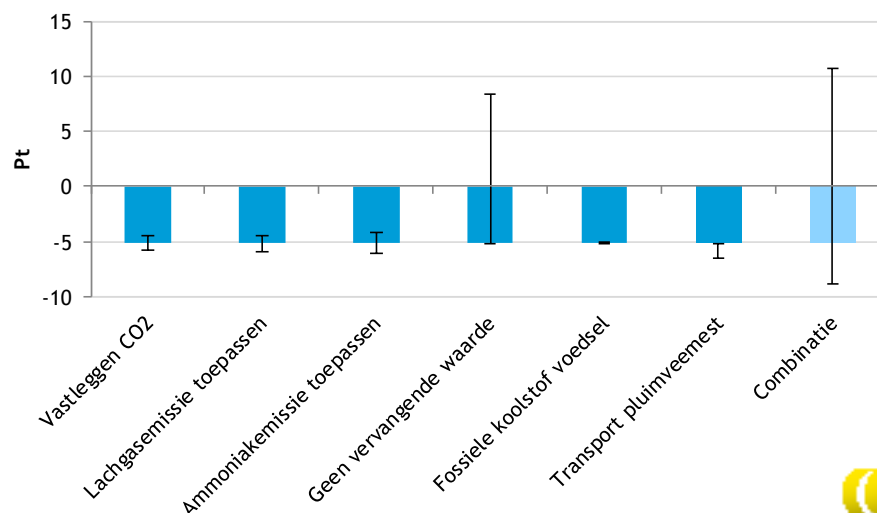
Figuur 46 Gevoeligheidsanalyse bijstoken in biomassacentrale



J.4 Gevoeligheidsanalyse directe aanwending ruwe mest in Nederland

Voor de variatie van de emissies tijdens het toepassen, dat wil zeggen het uitrijden van de mest op het land, heeft significante invloed op de milieubelasting, zoals te zien in Figuur 47. In totaal kan het verwerken van pluimveemest door het direct aanwenden in Nederland zowel positief als negatief zijn voor het milieu.

Figuur 47 Gevoeligheidsanalyse directe aanwending ruwe mest in Nederland

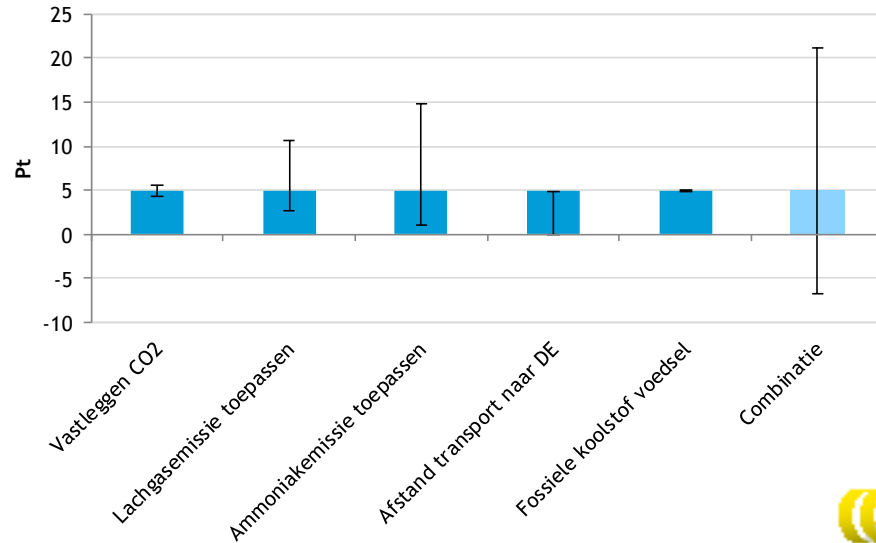


J.5 Gevoeligheidsanalyse directe aanwending ruwe mest in Duitsland

Door onvoldoende beschikbare data levert deze studie een grote onzekerheid op over de emissies tijdens het aanwenden van ruwe mest in Duitsland. Dit kan ertoe leiden dat de milieubelasting fors hoger uitpakt voor de aanwending van pluimveemest in Duitsland. De invloed van lachgas- en ammoniakemissies tijdens uitrijden op het land op de milieubelasting is groot. De emissies tijdens opslag hebben een stuk minder invloed op de totale milieubelasting. De gevoeligheidsanalyse van het transport laat zien dat er bij 150 km transport in plaats van 500 km ook een groot verschil maakt.

De milieubelasting van aanwending van ruwe mest in Duitsland kan ook positief uitpakken als we uitgaan van minimale emissies en minimaal transport.

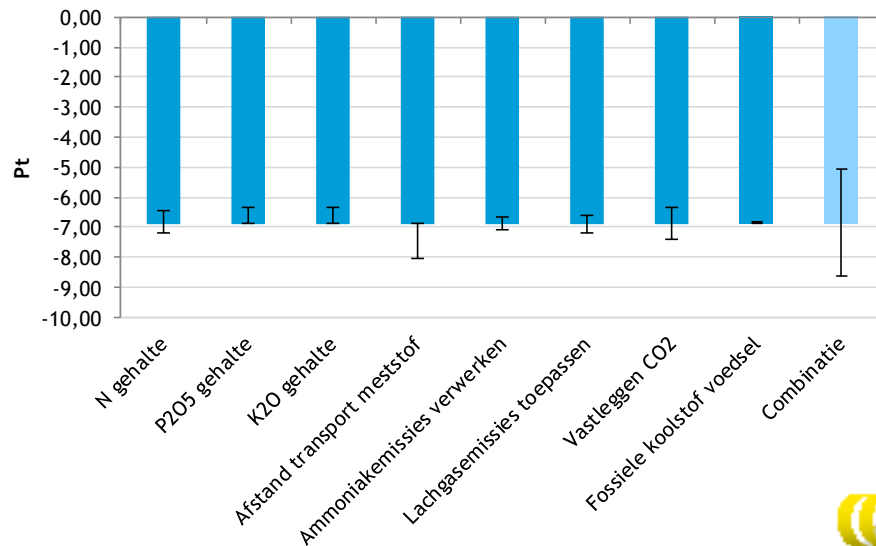
Figuur 48 Gevoeligheidsanalyse directe aanwending ruwe mest in Duitsland



J.6 Gevoeligheidsanalyse composteren en aanwending in het buitenland

Ten opzichte van de milieu-impact die composteren had in de basisanalyse is de gevoeligheid groot, vooral de transportafstand kan een grote invloed hebben. Uit de analyse wordt duidelijk dat het composteren van pluimveemest een milieuvoordeel zal opleveren.

Figuur 49 Gevoeligheidsanalyse composteren en aanwending in het buitenland

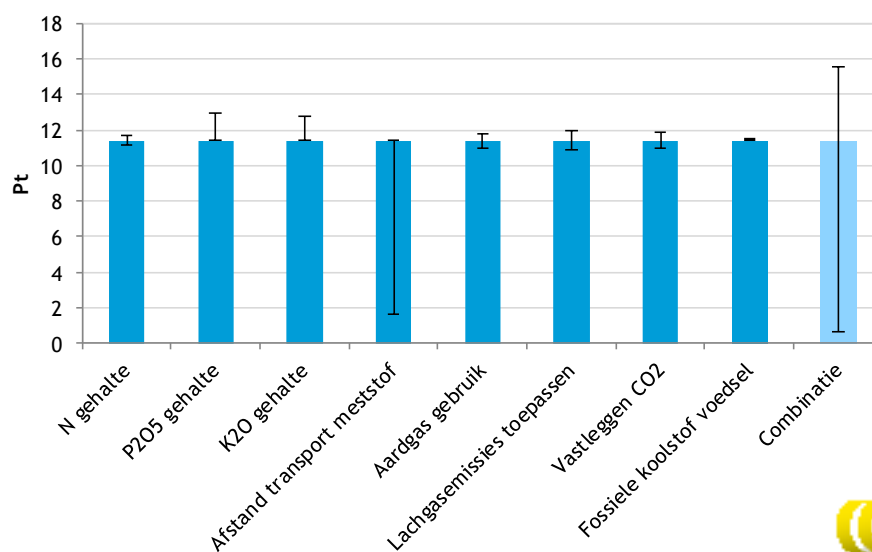


J.7 Gevoeligheidsanalyse composteren, verkorrelen en aanwending in het buitenland

Bij het verkorrelen van pluimveemest kan de milieubelasting een lager uitpakken als de korrels minder ver worden getransporteerd. Op dit moment worden de korrels van Ferm O Feed voor ongeveer de helft afgezet in Azië. Het transport levert een enorme milieubelasting op. In de gevoeligheidsanalyse is gekeken naar afzet in Zuid-Europa (Spanje) in plaats van in Azië.

Wel wordt duidelijk dat het verkorrelen van pluimveemest hoogstwaarschijnlijk geen milieuvoordeel gaat overleveren.

Figuur 50 Gevoeligheidsanalyse composteren, verkorrelen en aanwending in het buitenland



Bijlage K Systemuitbreiding

In deze bijlage voeren we de LCA op een andere manier uit, dan we tot nu toe hebben gedaan. De analyse in deze bijlage is gebaseerd op systemuitbreiding in plaats van de substitutiemethode. Bij de systemuitbreiding wordt een andere functionele eenheid gehanteerd dan in de basis-LCA.

LCA-studie op basis van de substitutiemethode (de basis studie)

De LCA-analyse uit het hoofd rapport (de basis-LCA) geeft inzicht in de milieubelasting van de verwerking van 1 ton pluimveemest van een bepaalde samenstelling. Daarbij is substitutie toegepast. Dat houdt bijvoorbeeld in dat de elektriciteit die BMC opwekt als vervanging wordt gezien voor de gemiddelde elektriciteitsmix die anders zou worden afgenomen. Doordat BMC dit nu produceert is er dus een milieuwinst.

Op deze manier produceren de verschillende routes dus verschillende nuttige producten. Zo produceert BMC bijvoorbeeld elektriciteit en as met fosfor (uitgedrukt als P_2O_5) en kaliumoxide. Bij directe aanwending van mest wordt mest geproduceerd, waarin naast P_2O_5 en kaliumoxide ook organische stof en stikstof aanwezig is.

LCA-studie met systemuitbreiding (de studie uit deze bijlage)

Een alternatieve mogelijkheid om de routes te vergelijken is door gebruik te maken van systemuitbreiding. Volgens systemuitbreiding worden alle routes aangevuld, zodat de eindproducten vergelijkbaar zijn. Zo wordt bij systemuitbreiding bijvoorbeeld een aanvulling gedaan in de BMC-route voor het vastleggen van bodemorganische stof en voor stikstof. De routes van directe aanwending van mest worden aangevuld met de productie van elektriciteit.

In de studie met systemuitbreiding wordt de functionele eenheid gebruikt: "De verwerking van 1 ton pluimveemest en de productie van 597 kWh elektriciteit, 14,4 kg stikstof, 14,8 kg fosfor (uitgedrukt als P_2O_5), 21 kg kalium (uitgedrukt als K_2O) en 207 kg effectieve organische stof".

Indien een route niet de benodigde hoeveelheid uit deze functionele eenheid heeft, wordt deze aangevuld met de producten zoals genoemd in Tabel 35.

Tabel 35 Producten voor systemuitbreiding

Product	Hoeveelheid	Toelichting
Elektriciteit	597 kWh/ton mest	Maximale elektriciteitsproductie zoals bij bijstoken in een biomassacentrale op hout
Kalkammonsalpeter (als N)	14,4 kg/ton mest	Maximale werkzaamheid N zoals bij meevergisten
Tripelsuperfosfaat (als P_2O_5)	14,8 kg/ton mest	Maximale werkzaamheid P_2O_5 zoals bij meevergisten
Kaliumsulfaat (als K_2O)	21,0 kg/ton mest	Maximale werkzaamheid K_2O zoals bij alle routes behalve bij bijstoken in een biomassacentrale op hout
EOS	207 kg EOS/ton mest	Maximale EOS toevoeging zoals bij verkorrelen

Warmte was in de basismodellering geen product en wordt daarom in de systemuitbreiding ook niet meegenomen.



K.1 Aanvulling Elektriciteitsproductie

Vraag 1: Wat is de milieubelasting (uitgedrukt in single score mPt) van de productie van eenzelfde hoeveelheid elektriciteit als het bijstoken van 1 ton pluimveemest in een biomassacentrale op hout oplevert?

Om deze vraag te beantwoorden wordt in deze analyse gekeken naar de milieu-impact van de elektriciteitsproductie. We hebben hierbij aangenomen dat de elektriciteit wordt opgewekt met de gemiddelde mix van het Nederlands energiegebruik. Deze gemiddelde mix is gebaseerd op de Nederlandse energiemix in 2013 (CE Delft, 2014).

We hebben de routes aangevuld met verschillende hoeveelheden elektriciteit om tot 597 kWh/ton mest te komen. Dat is de hoeveelheid die wordt geproduceerd bij het bijstoken van 1 ton pluimveemest in een biomassacentrale. De hoeveelheden worden per route vermeld in Tabel 36.

Tabel 36 Aanvulling elektriciteitsproductie naar 597 kWh /ton mest

Route	Hoeveelheid geproduceerd	Aanvulling
BMC	582 kWh/ton mest	15 kWh
Pluimveehouder	281 kWh/ton mest	316 kWh
Vergisten	389 kWh/ton mest	208 kWh
Biomassacentrale	597 kWh/ton mest	0 kWh
Mestaanwending NL en DE	0 kWh/ton mest	597 kWh
Composteren	0 kWh/ton mest	597 kWh
Verkorrelen	0 kWh/ton mest	597 kWh

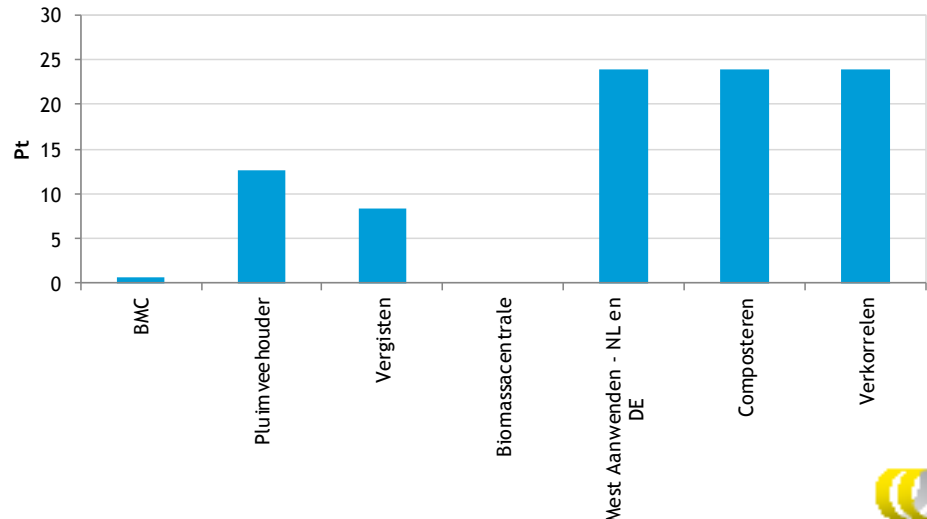
Per kWh elektriciteit levert dit een extra milieubelasting op van 39,9 mPt. In Tabel 37 is aangegeven welke onderdelen hieraan bijdragen.

Tabel 37 Bijdragen voor het opwekken van 1 kWh elektriciteit

	mPt	Uitleg
CO ₂	20,2	Emissies door energieproductie
Aardgas	8,4	Gebruik van aardgas
Steenkool	6,3	Gebruik van grondstof steenkool
Mangaan	1,2	Gebruik van grondstof mangaan
NO _x	0,8	Emissie door energieproductie
Methaan	0,5	Gebruik van methaan
Aardolie	0,6	Gebruik van grondstof aardolie
Overig	2,0	
Totaal	39,9	

De extra milieubelasting door het aanvullen van de elektriciteitsproductie is per route weergegeven in Figuur 51.

Figuur 51 Aanvulling elektriciteitsproductie tot 597 kWh/ton mest



K.2 Aanvulling Stikstof

Vraag 2: Wat is de milieubelasting (uitgedrukt in single score mPt) van het toevoegen van eenzelfde hoeveelheid werkzame stikstof aan de bodem, als met 1 ton pluimveemest die direct is aangewend als mest?

Om deze vraag te beantwoorden wordt in deze analyse op hoofdlijnen gekeken naar de milieu-impact van het toevoegen van stikstof met KAS-kunstmest. Ook hebben we de emissies tijdens uitrijden meegenomen. Voor ammoniak-emissies is uitgegaan van een emissiefactor van 1,8% van de N (Hoofdstuk 9.3.9 van (Quantis, 2014)). Omdat de specifieke emissies van lachgas en nitraat niet bekend zijn, zijn we uitgegaan van dezelfde emissies als van de mest. In werkelijkheid zullen de emissies van kunstmest lager liggen.

We hebben de routes aangevuld met verschillende hoeveelheden KAS-kunstmest om tot 14,4 kg N/ton mest te komen. Dat is de hoeveelheid die aan de bodem wordt toegevoegd bij directe aanwending van 1 ton pluimveemest. De hoeveelheden worden per route vermeld in Tabel 38.

Tabel 38 Aanvulling werkzame stikstof naar 14,4 kg N/ton mest

Route	Hoeveelheid geproduceerd	Aanvulling
BMC	0 kg/ton mest	14,4 kg
Pluimveehouder	0 kg/ton mest	14,4 kg
Vergisten	14,4/ton mest	0 kg
Biomassacentrale	0 kg/ton mest	14,4 kg
Mest aanwending NL en DE	14,3/ton mest	0,1 kg
Composteren	8,9/ton mest	5,5 kg
Verkorrelen	9,1/ton mest	5,3 kg

Per kg stikstof levert dit een extra milieubelasting op van 436 mPt. In Tabel 39 is aangegeven welke onderdelen hieraan bijdragen.

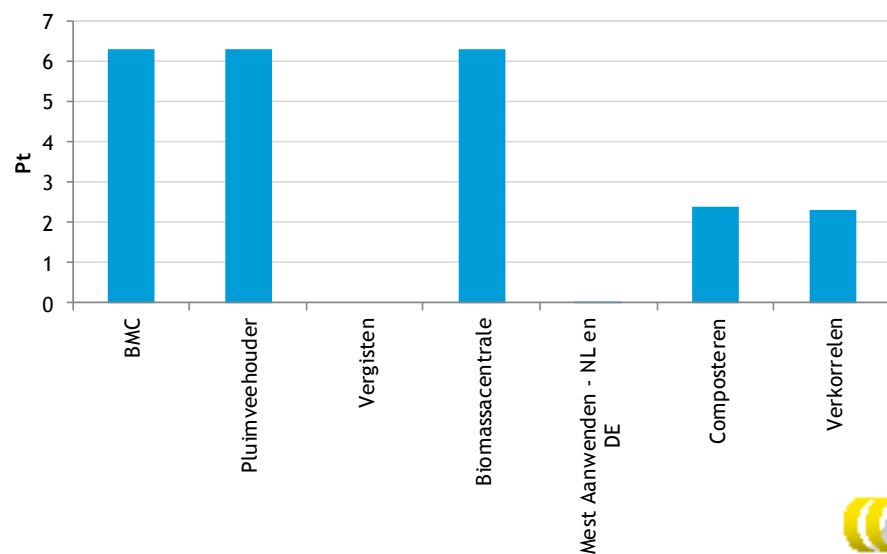


Tabel 39 Bijdragen voor het vastleggen van 1 kg N

	mPt	Uitleg
CO ₂	140,3	Emissies bij kunstmestproductie
N ₂ O	143,9	Emissies bij uitrijden kunstmest
NO _x	11,8	Energie bij uitrijden kunstmest
Energie uit aardgas	117,8	Kunstmestproductie
Overig	34,3	
Totaal	436	

De extra milieubelasting door het aanvullen van de werkzame stikstof is per route weergegeven in Figuur 52.

Figuur 52 Aanvulling effectieve stikstof tot 14,4 kg N/ton mest



K.3 Aanvulling Fosfor

Vraag 3: Wat is de milieubelasting (uitgedrukt in single score mPt) van het toevoegen van eenzelfde hoeveelheid werkzame P₂O₅ aan de bodem, als met 1 ton pluimveemest die direct is aangewend als mest?

Om deze vraag te beantwoorden wordt in deze analyse op hoofdlijnen gekeken naar de milieu-impact van het toevoegen van fosfor aan de bodem met tripel-superfosfaat-kunstmest.

We hebben de routes aangevuld met verschillende hoeveelheden tripel-superfosfaat-kunstmest om tot 14,8 kg P₂O₅/ton mest te komen. Dat is de hoeveelheid die aan de bodem wordt toegevoegd bij directe aanwending van 1 ton pluimveemest. De hoeveelheden worden per route vermeld in Tabel 40.

Tabel 40 Aanvulling werkzame fosfor naar 14,8 kg P₂O₅/ton mest

Route	Hoeveelheid geproduceerd	Aanvulling
BMC	7,8 kg P ₂ O ₅ /ton mest	7,0 kg
Pluimveehouder	7,8 kg P ₂ O ₅ /ton mest	7,0 kg
Vergisten	14,8 kg P ₂ O ₅ /ton mest	0 kg
Biomassacentrale	0 kg P ₂ O ₅ /ton mest	14,8 kg
Mestaanwending NL en DE	14,7 kg P ₂ O ₅ /ton mest	0,1 kg
Composteren	14,7 kg P ₂ O ₅ /ton mest	0,1 kg
Verkorrelen	14,7 kg P ₂ O ₅ /ton mest	0,1 kg

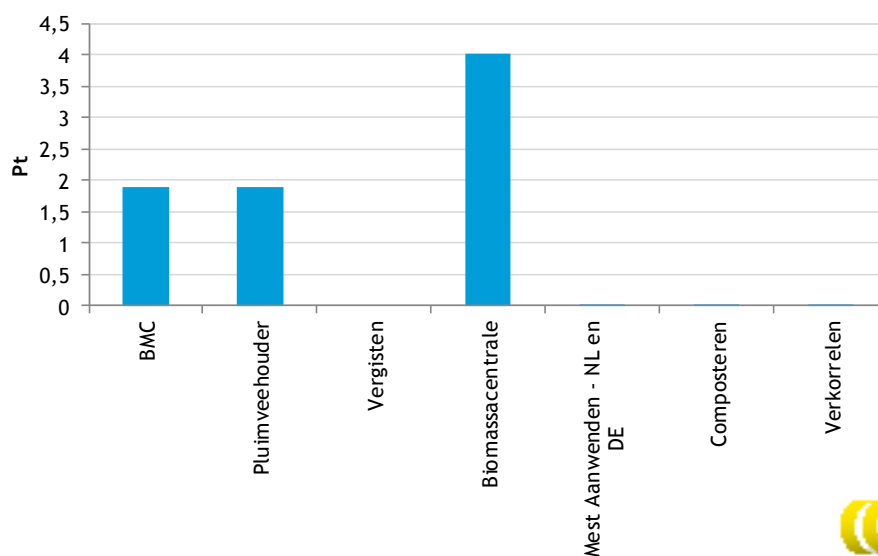
Per kg P₂O₅ levert dit een extra milieubelasting op van 271 mPt.
In Tabel 41 is aangegeven welke onderdelen hieraan bijdragen.

Tabel 41 Bijdragen voor het vastleggen van 1 kg P₂O₅

	mPt	Uitleg
CO ₂	73,2	Emissie bij kunstmestproductie
Aardolie	35,6	Gebruik van grondstof aardolie bij kunstmestproductie
Gas	24,2	Gebruik van grondstof aardgas bij kunstmestproductie
Landgebruik bouw	19,4	Landgebruik bij kunstmestproductie
SO ₂	19,0	Emissie bij kunstmestproductie
Fijnstof	18,7	Emissie bij kunstmestproductie
Steenkool	13,9	Gebruik van grondstof steenkool bij kunstmestproductie
Mangaan	12,3	Emissies bij kunstmestproductie
NO _x	72	Emissie bij kunstmestproductie
Koper	5,3	Gebruik van grondstof koper bij kunstmestproductie
Overig	47,4	
Totaal	271	

De extra milieubelasting door het aanvullen van de werkzame fosfor is per route weergegeven in Figuur 53.

Figuur 53 Aanvulling werkzame fosfor tot 14,8 kg P₂O₅ /ton mest



K.4 Aanvulling Kalium

Vraag 4: Wat is de milieubelasting (uitgedrukt in single score mPt) van het toevoegen van eenzelfde hoeveelheid werkzame K_2O aan de bodem, als met 1 ton pluimveemest die direct is aangewend als mest?

Om deze vraag te beantwoorden wordt in deze analyse op hoofdlijnen gekeken naar de milieu-impact van het toevoegen van kalium met kaliumsulfaat-kunstmest.

Voor alle routes geldt dat er 21 kg K_2O /ton mest aan de bodem wordt toegevoegd, behalve voor de route van de biomassacentrale. Daarom hebben we deze route aangevuld kaliumsulfaat-kunstmest om tot 21 kg K_2O /ton mest te komen. De hoeveelheden worden per route vermeld in Tabel 42.

Tabel 42 Aanvulling werkzame kalium naar 21,0 kg K_2O /ton mest

Route	Hoeveelheid geproduceerd	Aanvulling
BMC	21,0 kg/ton mest	0 kg
Biomassacentrale	0 kg/ton mest	21 kg
Pluimveehouder	21,0 kg/ton mest	0 kg
Mestaanwending NL en DE	21,0 kg/ton mest	0 kg
Composteren	21,0 kg/ton mest	0 kg
Verkorrelen	21,0 kg/ton mest	0 kg
Vergisten	21,0 kg/ton mest	0 kg

Per kg K_2O levert dit een extra milieubelasting op van 192 mPt. In Tabel 43 is aangegeven welke onderdelen hieraan bijdragen.

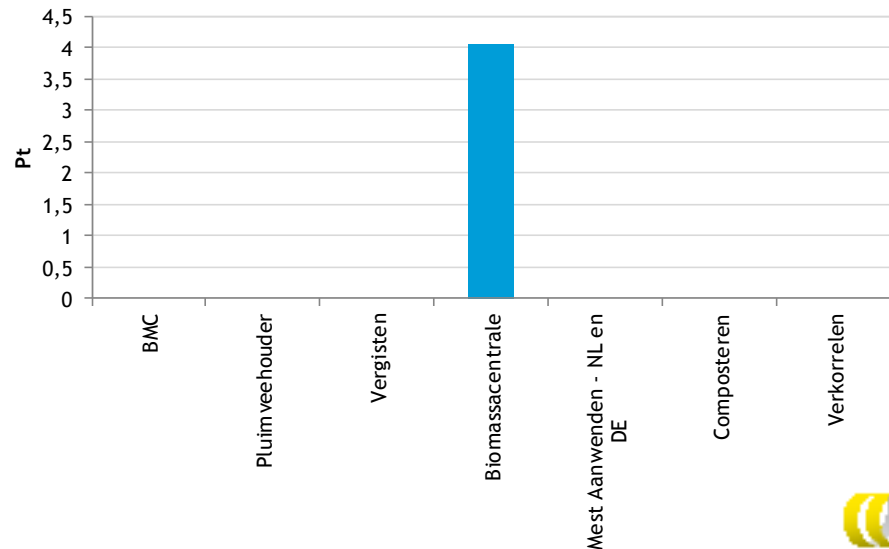
Tabel 43 Bijdragen voor het vastleggen van 1 kg K_2O

	mPt	Uitleg
CO ₂	60,9	Emissie bij kunstmestproductie
Aardolie	25,0	Gebruik van grondstof aardolie bij kunstmestproductie
Gas	17,1	Gebruik van grondstof aardolie bij kunstmestproductie
Steenkool	14,6	Gebruik van grondstof aardolie bij kunstmestproductie
SO ₂	13,1	Emissie bij kunstmestproductie
Mangaan	10,4	Emissie bij kunstmestproductie
NO _x	5,2	Emissie bij kunstmestproductie en bij uitrijden kunstmest
Landgebruik bos	6,3	Landgebruik bij kunstmestproductie
Koper	5,3	Gebruik van grondstof koper bij kunstmestproductie
Methaan	4,5	Emissie bij kunstmestproductie
Overig	12,3	
Totaal	192	

De extra milieubelasting door het aanvullen van kalium (uitgedrukt als K_2O) is per route weergegeven Figuur 54.



Figuur 54 Aanvulling werkzame kalium (uitgedrukt als K₂O) tot 21 kg /ton mest



K.5 Aanvulling organische stof

Vraag 5: Wat is de milieubelasting (uitgedrukt in single score mPt) van het toevoegen van eenzelfde hoeveelheid organische stof aan de bodem, als met 1 ton pluimveemest die wordt verkorreld?

Toevoegen van organische stof (effectieve organische stof) kan bijvoorbeeld met groenbemesters of gewasresten. Om de vraag te beantwoorden wordt in deze analyse op hoofdlijnen gekeken naar de milieu-impact van het toevoegen van organische stof met een groenbemester, namelijk winterrogge.

We gaan uit van de volgende aannames:

- De teelt van winterrogge in Nederland (opbrengst en dergelijke) is vergelijkbaar met de teelt van rogge in Frankrijk (beschikbaar in de Agri-footprint-database (Blonk Agri-footprint B.V., 2015), met één uitzondering: er wordt alleen N-kunstmest gebruikt voor de teelt (Kennisakker.nl, 2004).
- Er wordt 840 kg EOS (effectieve organische stof)/ha winterrogge vastgelegd in de bodem en de organische stof heeft een humificatiecoëfficiënt van 0,26 (Kennisakker.nl, 2013) dit houdt in dat 7,2% van de koolstof wordt vastgehouden (zie Bijlage E voor toelichting).
- De aangevoerde koolstof per hectare is 3,81 ton per hectare (Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, 2009).
- De groenbemester, winterrogge in dit geval, wordt ingepast in het teeltschema, zonder extra landgebruik of verschuiving van teelt naar ander gebied.

We hebben de routes aangevuld met verschillende hoeveelheden groenbemester om tot 207 kg effectieve organische stof/ton mest te komen. Dat is de hoeveelheid die aan de bodem wordt toegevoegd met het verkorrelen van 1 ton pluimveemest. De hoeveelheden worden vermeld in Tabel 44.



Tabel 44 Aanvulling EOS naar 207 kg/ton mest

Route	Hoeveelheid geproduceerd	Aanvulling
BMC	0 kg/ton mest	207 kg
Biomassacentrale	0 kg/ton mest	207 kg
Pluimveehouder	0 kg/ton mest	207 kg
Mestaanwending NL en DE	161 kg/ton mest	46 kg
Composteren	206 kg/ton mest	1 kg
Verkorrelen	207 kg/ton mest	0 kg
Vergisten	93 kg/ton mest	114 kg

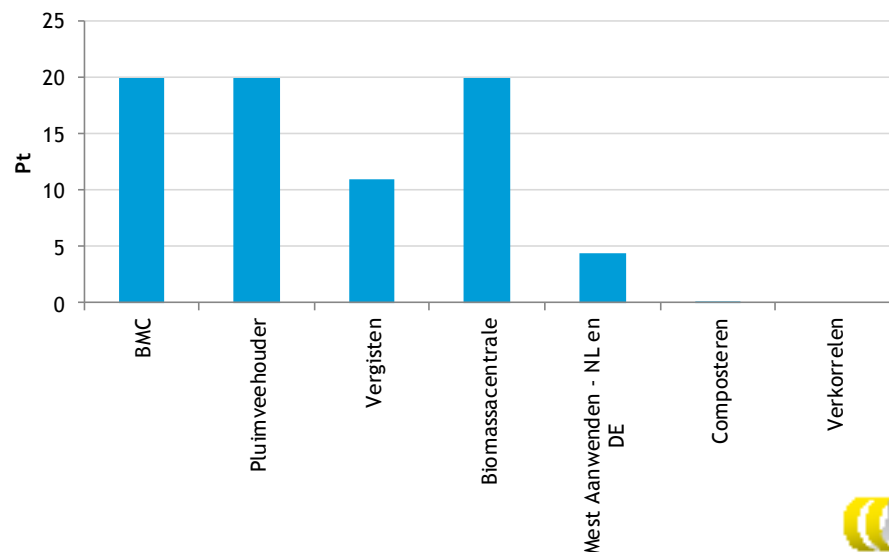
Per kg EOS die wordt aangevuld met een groenbemester levert dit een extra milieubelasting op van 96,3 mPt. Dit is grotendeels afhankelijk van de gebruikte bestrijdingsmiddelen, die waarschijnlijk lager uitvallen voor een groenbemester dan voor een voedselgewas. In Tabel 45 is aangegeven welke onderdelen bijdragen aan de milieubelasting.

Tabel 45 Bijdragen voor het vastleggen van 1 kg EOS

	mPt	Uitleg
N ₂ O	49,6	Emissie door gebruik van kunstmest en van gewasresten
NH ₃	24,3	Emissie door gebruik van kunstmest en van gewasresten
CO ₂	37,2	Kunstmestproductie en emissies door gebruik van diesel in landbouwwerktuigen
Energie (olie)	19,4	Diesel
Energie (gas)	10,2	Kunstmestproductie
NO _x	6,0	Emissie door gebruik van kunstmest en van gewasresten
CO ₂	-54,2	Vastlegging organische stof
Overig	4,0	
Totaal	96,3	

De extra milieubelasting door het aanvullen van de effectieve organische stof is per route weergegeven in Figuur 55.

Figuur 55 Aanvulling EOS tot 206 kg/ton mest

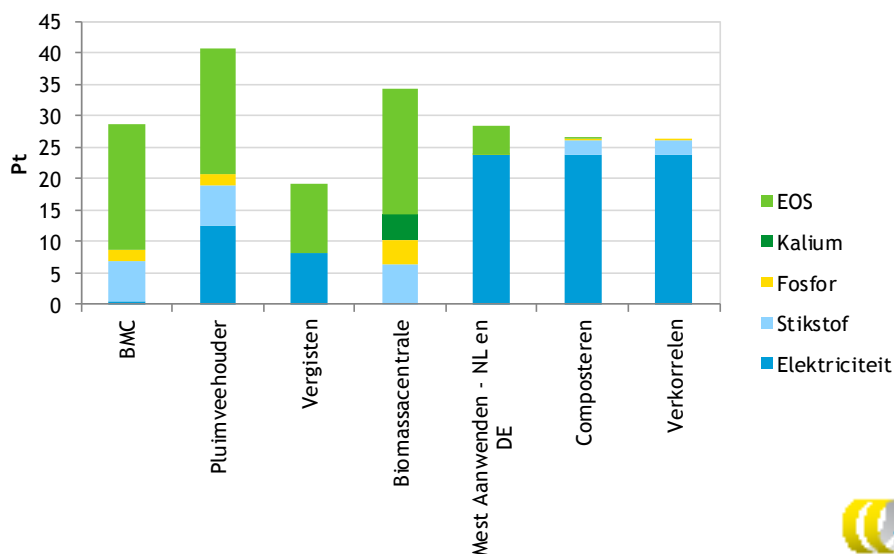


K.6 Resultaat: Vergelijking routes op basis van systeemuitbreiding

In dit hoofdstuk voegen we de resultaten samen van de vijf systeemuitbreidingen voor alle verwerkingsmethoden van pluimveemest die in Bijlage K.1 tot en met Bijlage K.5 zijn beschreven.

Figuur 56 maakt per route het resultaat zichtbaar van alle systeemuitbreidingen: het toevoegen van EOS, Kalium, Fosfor, Stikstof en de productie van Elektriciteit. Iedere systeemuitbreiding is in een andere kleur weergegeven.

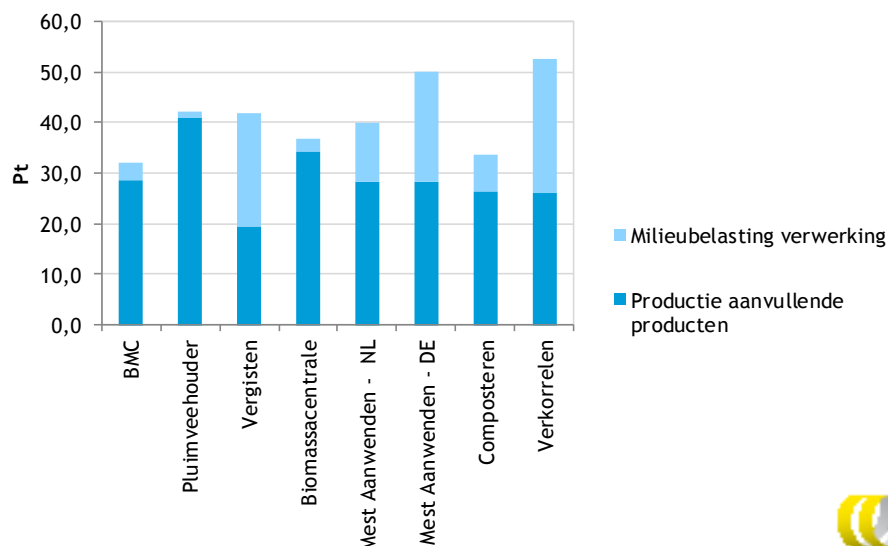
Figuur 56 Milieu-impact van de aangevulde producten per route



Figuur 57 geeft voor elke route de totale milieubelasting weer, na systeemuitbreiding. In deze figuur is te zien welk deel van de milieubelasting wordt veroorzaakt door de verwerking van 1 ton pluimveemest, en welk gedeelte van de milieubelasting wordt veroorzaakt door de productie van aanvullende producten, om aan de functionele eenheid te kunnen voldoen.

De milieubelasting van de verwerking van 1 ton pluimveemest is zichtbaar in Figuur 11. Het gaat om de milieubelasting die in Figuur 11 boven de x-as is weergegeven. Het milieuvoordeel, dat in Figuur 11 onder de streep wordt weergegeven, komt in deze systeemuitbreiding niet terug als milieuvoordeel, maar wordt juist in de andere routes zichtbaar als nadeel. Een voorbeeld: Bij BMC is de elektriciteitsproductie in Figuur 11 onder de x-as weergegeven als milieuvoordeel. In de LCA-studie met systeemuitbreiding komt dit in de routes zonder elektriciteitsproductie (zoals directe aanwending van mest) terug als milieubelasting van het aanvullende product 'elektriciteit'.

Figuur 57 Vergelijking milieu-impact systeemuitbreiding



Tabel 46 geeft de exacte milieubelasting van de LCA-studie met systeemuitbreiding in cijfers weer.

Tabel 46 Milieubelasting per route inclusief systeemuitbreiding

	Milieubelasting voor productie van de aanvullende producten (Pt)	Milieubelasting van de verwerking van pluimveemest (Pt)	Totale milieubelasting van de systeemuitbreiding (Pt)
Thermische verwerking bij BMC	28,7	3,3	32,0
Pluimveehouder	40,7	1,3	42,0
Biomassacentrale	19,3	22,6	41,8
Vergisten	34,3	2,6	36,9
Mest Aanwenden - NL	28,3	11,5	39,9
Mest Aanwenden - DE	28,3	21,6	49,9
Composteren	26,4	7,1	33,5
Verkorrelen	26,2	26,4	52,6

K.7 Conclusie

Bij de LCA-studie met systeemuitbreiding kunnen we concluderen dat de BMC-route de laagste milieubelasting heeft. Deze is dus vanuit milieuoogpunt het meest aantrekkelijk, net zoals in de basis-LCA. Het composteren van pluimveemest komt qua milieubelasting erg in de buurt, terwijl deze bij basis-LCA niet zo positief uitkwam.

Deze verandering is vreemd want in principe zouden de absolute verschillen tussen de verschillende routes met de substitutiemethode en de systeemuitbreiding gelijk moeten zijn. De volgorde van de routes ten opzichte van elkaar zouden dus door het gebruik van systeemuitbreiding niet moeten veranderen ten opzichte van de basis-LCA. Degene met de hoogste milieubelasting blijft de hoogste milieubelasting houden, en degene met de laagste milieubelasting zou blijven de laagste milieubelasting houden.



Als we Figuur 19 vergelijken met Figuur 10 zien we dat Composteren van de vijfde plaats naar de tweede plaats opschuift. Mest aanwenden in Nederland verschuift van de zesde naar de vierde plaats.

De verandering komt door het feit dat in de modellering van de basis-LCA de toegevoegde EOS in de bodem niet als product wordt gezien dat kan worden vervangen (gesubstitueerd). In de praktijk wordt de EOS in de landbouw namelijk niet aangevuld. In plaats daarvan zijn we in de basis-LCA uitgegaan van een vastlegging van CO₂. Omdat we in de systeemexpansie de EOS wel aanvullen, zorgt dit voor een verschuiving.

Ter illustratie in het geval van elektriciteit aanvullen gaan we in de basis-LCA uit van een vervanging (en dus een milieuvoordeel), terwijl er in de LCA-studie met systeemuitbreiding extra elektriciteit moet worden geproduceerd (en dus een milieubelasting). Het milieuvoordeel voor de biomassacentrale in de basis-LCA en het milieunadeel voor het direct aanwenden van mest zijn in dit geval precies hetzelfde. Omdat het milieuvoordeel voor de EOS in de basis-LCA anders is (namelijk CO₂-vastlegging) dan het milieunadeel voor de EOS in de LCA met systeemuitbreiding (aanvullen van EOS), zorgt dit voor een verschuiving.

Het de laagste milieubelasting wordt in de LCA met systeemuitbreiding gerealiseerd door thermische conversie bij BMC. Dit is in lijn met de basis-LCA, waar deze route het grootste milieuvoordeel leverde.

De grootste milieubelasting wordt in de LCA met systeemuitbreiding gerealiseerd door het verkorrelen en het aanwenden van ruwe mest in Duitsland. Deze twee routes waren ook in de basis-LCA de meest milieubelastende routes.



9 Bibliografie

Alterra Wageningen UR, 2015a. *Efficacy of phosphorus of hydrated poultry litter ash: Phosphorus use efficiency of green bean*, Wageningen: Alterra Wageningen UR.

Alterra Wageningen UR, 2015b. *Efficacy of potassium of hydrated poultry litter ash: Phosphorus use efficiency of rye grass*, Wageningen: Alterra Wageningen UR.

Alterra Wageningen UR, 2015c. *Efficacy of potassium of poultry litter ash; potassium use efficiency or rye grass*, Wageningen: Wageningen UR.

AOO, 2002. *Milieueffectrapport Landelijk Afvalbeheersplan, Achtergronddocument A1: balansen, reststoffen en uitloging*, Utrecht: Afval Overlegorgaan (AOO).

BASIS, 2015. *Report on conversion efficiency of biomass, deliverable 3.5 of BASIS (Biomass Availability and Sustainability Information System) Project*, sl: Cross Border Bioenergy Consortium.

BHSL, 2016b. *FBC 2400 CHP*. [Online]
Available at: www.bhsl.com/portfolio-item/fbc-2400-chp-2/
[Geopend 5 5 2016].

BHSL, 2016c. *Interview met Jack O'Conner 4 mei 2016*. sl:sn

Blonk Agri-footprint B.V., 2015. *Blonk Agri-footprint database*. Gouda: Blonk Agri-footprint B.V..

BMC Moerdijk, 2015. *Technical dossier of hydrated poultry litter ash*, Moerdijk: Bio Massa Centrale Moerdijk (BMC).

BMC Moerdijk, 2016a. *CO2 met fossiele Herkomst: Excel document*, Moerdijk: Bio Massa Centrale Moerdijk (BMC).

BMC Moerdijk, 2016b. *Interview met Gerd Jan de Leeuw Manager Mest & Mineralen 12 mei 2016*. sl:sn

Bruggen, C. v. et al., 2015. *Emissies naar lucht uit de landbouw, 1990-2013: berekeningen van ammoniak, stikstofdioxide, lachgas, methaan en fijn stof met het model NEMA*, Wageningen: Wageningen Universiteit.

BSHL, 2016a. *Poultry Manure to energy*. [Online]
Available at: www.bhsl.com/poultry-home-page/
[Geopend 8 april 2016].

CBAV, 2016a. *Samenstelling organische meststoffen*. [Online]
Available at:
www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Organisch-stofbeheer/Samenstelling-en-werking-organische-



[meststoffen/Samenstelling-organische-meststoffen.htm](#)
[Geopend 21 april 2016].

CBAV, 2016b. *Werking van organische meststoffen*. [Online]
Available at:
www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Organisch-stofbeheer/Samenstelling-en-werking-organische-meststoffen/Werking-van-organische-meststoffen.htm
[Geopend 21 april 2016].

CBS, 2016. *Landbouw; gewassen, dieren en grondgebruik naar hoofdbedrijfstype naar regio*. [Online]
Available at:
<http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=80783NED&D1=0&D2=1-8&D3=5-16&D4=l&VW=T>
[Geopend 2016].

CDM, 2013. *Beoordeling mestproducten op basis van het Protocol Gebruiksvoorschriften Dierlijke Mest, versie 1.0*, sl: Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM).

CE Delft, 2011. *Stream International Freight: Comparison of various transport modes on a EU scale with the STREAM database*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2014. *Achtergrondgegevens stroometikettering 2013*, Delft: CE Delft.

Champignonverwerkend bedrijf, 2016. *Productie Manager van Champignonverwerkend bedrijf juli 2016*. sl:sn

Coleman, K. & Jenkinson, D., 1999. ROTHC-26.3, A model for the turnover of carbon in soil. In: S. Powlson, P. Smith & J. U. Smith, red. *Evaluation of Soil Organic Matter Models*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 237-246.

Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2015. *Nut en risico's van covergisting*, Wageningen: Universiteit Wageningen.

Composteerbedrijf, 2016. *Interview met directeur van Nederlands Composteerbedrijf*. sl:sn

Coöperatie Duurzame Energieproductie Pluimveehouderij (D.E.P), 2010. *Tips verbetering mestkwaliteit leghennen*. [Online]
Available at:
www.cooperatiedep.nl/static/files/documenten/DEP_info_leghennen_3_.pdf
[Geopend 17 mei 2016].

Dagblad van het Noorden, 2015. *Kippen verwarmen stal met eigen mest*. [Online]
Available at: www.dvhn.nl/drenthe/Kippen-verwarmen-stal-met-eigen-mest-21093290.html
[Geopend 7 juni 2016].

Dämmgen, U., 2009. *Calculations of emission from German agriculture = Berechnungen der Emissionen aus de deutschen Landwirtschaft: National*



Emission Inventory Report 2009 for 2007, Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut.

Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, 2009. *Organische stof in de bodem*, Brussel: Vlaamse Overheid.

DLG, 2010. *Afbluftreinigingsanlage "Dorset-Rieselbettfilter" DLG-Prüfbericht*. Groß-Umstadt: DLG e.v. Testzentrum Technik und Betriebsmittel.

Ecoinvent, 2014. *Ecoinvent Database, Version 3.1*, Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Eneco, 2016. *Eneco Bio Golden Raand - Feiten en Cijfers*. [Online] Available at: <http://projecten.eneco.nl/eneco-bio-golden-raand/projectgegevens/feiten-en-cijfers/> [Geopend 8 april 2016].

Ferm O Feed, 2016. *Inventarisatie voor LCA pluimveemest verwerking : inventarisatie 2015* [Interview] (28 april 2016).

Goedkoop, M. et al., 2013. *ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, First edition (version 1.08)*, Den Haag: Ministerie van Volkshuisvesting en Milieubeheer (VROM), Ruimte en Milieu.

INAGRO, 2015. *Spuiwater gebruik in veldproeven*. [Online] Available at: www.spuiwater.be/uploads/documents/9_Inagro_bemestingmetspuiwater.pdf [Geopend 14 11 2016].

IPCC, 2006. Chapter 11: N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application. In: *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Volume 4*. Geneva: IPCC, pp. 11.1-11.54.

IPCC, 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land*, Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Kennisakker.nl, 2004. *Teelthandleiding groenbemesters - winterrogge*. [Online] Available at: www.kennisakker.nl/kenniscentrum/handleidingen/teelthandleiding-groenbemesters-winterrogge [Geopend 28 maart 2016].

Kennisakker.nl, 2013. *Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouwgewassen : organische stof*. [Online] Available at: www.kennisakker.nl/kenniscentrum/handleidingen/adviesbasis-voor-de-bemesting-van-akkerbouwgewassen-organische-stof [Geopend 28 maart 2016].

Krull, E., Baldock, J. & Skjemstad, J., 2001. Soil Texture Effects on Decomposition and Soil Carbon Storage. *NEE Workshop proceedings*, Volume 18-20 april, pp. 103-110.



Liu, H., Yun, X. & Wu, C., 2014. Comparative Evaluation of Biomass Power Generation Systems in China Using Hybrid Life Cycle Inventory Analysis. *Scientific WorldJournal (Epub)*, Issue October.

LTZ, 2008. *Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Möglichkeiten zu ihrer geordneten landwirtschaftlichen Verwertung*, Karlsruhe: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ).

Nemecek, T. & Kägi, T., 2007. *Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems : Final report ecoinvent V2.0*, Zurich and Dübendorf: Ecoinvent, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

NMI, 2014. *Marktmogelijkheden voor mestproducten in het oosten van Duitsland*, Wageningen: Nutriënten Management Instituut BV (NMI).

NMI, 2016b. *Interview met Laura van Scholl (NMI) op 8 april 2016*. sl:sn

NMIa, 2016. *Landbouwkundige waarde (on)bewerkte pluimveemest*, Wageningen: Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Organic Waste Systems, 2013. *Evaluatie van de vergisters in Nederland*, Gent (BE): Organic Waste Systems.

Pellikaan, F., 2014. Gelijke monniken, diverse kappen. *Veeteelt*, Issue 2 februari, pp. 18-23.

Plant Research International B.V., 2007. *Ammoniakemissies bij het Uitrijden van verwerkte mest*, Wageningen: Wageningen UR, Plant Research International B.V.

Plant Research International, 2013. *Input-output Fase III. Bijvoeden en vulgewicht.*, Wageningen: Wageningen UR.

Quantis, 2014. *World Food LCA Database: Methodological Guidelines for the Life Cycle Inventory of Agricultural Products*, sl: Quantis.

Reinhold, G., 2005. *Masse- und Trockensubstanzbilanz in landwirtschaftlicgen Biogasanlagen*, Erfurt: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt.

Rietberg, P., Luske, B., Visser, A. & Kuikman, P., 2013. *Handleiding goed koolstofbeheer*, Driebergen: Louis Bolk Instituut.

Rijksoverheid, 2005. *Maximale waarden voor zware metalen in meststoffen per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel, tabel 1, bijlage II., behorende bij het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet*. Den Haag: Rijksoverheid.

Rijkswaterstraat, 2016. *Emissiegrenswaarden lucht: Anorganische stoffen*. [Online]
Available at: www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/ner/digitale-ner/emissiegrenswaarden/anorganische-stoffen/
[Geopend 25 mei 2016].



RVO, 2015. *Best Practice Droogprocessen*, Den Haag: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

RVO, 2015b. *Forfaitaire stikstof- en fosfaatgehalten in dierlijke mest 2015-2017*. [Online]

Available at: www.rvo.nl/sites/default/files/2015/04/Tabel%20Stikstof-%20en%20fosfaatgehalten%20in%20dierlijke%20mest%202015-2017%282%29.pdf
[Geopend 6 juni 2016].

RVO, 2015. *Grootste zelfstandige biomassa-centrale van nederland, Eneco Bio Golden Raand: levert helpt opgewekte groene stroom aan AkzoNobel*, Den Haag: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

RVO, 2016. *Geregistreerde mestintermediairs*. [Online]

Available at: www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mest-en-grond/mest/mest-vervoeren-en-opslaan/geregistreerde-mestintermediairs
[Geopend 10 maart 2016].

RWE, 2016. *De biomassacentrale*. [Online]

Available at: www.rwe.com/web/cms/nl/1754834/rwe-generation-se/over-ons/energiemix/biomassa/
[Geopend 3 maart 2016].

StMELF, 2016. *Biogasausbeuten verschiedener Substrate*. [Online]

Available at:
www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/?sel_list=51%2Cl&anker0=substratanke r#substratanker
[Geopend 26 april 2016].

UTS Biogastechnik, 2014. *Experience report on chicken manure and technical solutions in Germany*. [Online]

Available at:
[www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Vortraege/BiogasWorld2014/1_Dinkloh.p df](http://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Vortraege/BiogasWorld2014/1_Dinkloh.pdf)
[Geopend 25 mei 2016].

Van der Hoek, K. & van Schijndel, M., 2006. *Methane and nitrous oxide emissions from animal manure management, 1990-2003*, Bilthoven: RIVM.

Velthof, G. et al., 2012. A model for inventory of ammonia emissions from agriculture in the Netherlands. *Atmospheric Environment*, Volume 46, pp. 248-255.

Vlaamse Land Maatschappij, 2016. *Normen en richtwaarden 2016*, Gent, België: Vlaamse Land Maatschappij.

Vreuls, H. & Zijlema, P., 2012. *Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂-emissiefactoren*, Utrecht: Agentschap NL.

Walkro, 2016. *Grondstoffen*. [Online]

Available at: <http://walkro.eu/nl/compost/proces/grondstoffen/>
[Geopend 15 11 2016].



ZLTO, 2016. *Interview met Hugo Bens Vakgroep voorzitter pluimvee bij ZLTO op 27 mei 2016.* sl:sn

Zwart, K., Oudendag, D., Ehlert, P. & Kuikman, P., 2006. *Duurzaamheid co-vergisting van dierlijke mest*, Wageningen: Alterra, Soil Science Centre.

