

Mest vol verwaarden? Wat kan raffinage betekenen?

Auteurs:

Dick Starmans; Livestock Research

Fridtjof de Buissonjé; Livestock Research

Wim van Dijk; PPO-agv/ACRRES

Janjo de Haan; PPO-agv

Maikel Timmerman; Livestock Research

Chris de Visser; PPO-agv/ACRRES



© 2015 Wageningen, ACRRES – Wageningen UR

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

ACRRES – Wageningen UR is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit project is tot stand gekomen dankzij:



ACRRES
wordt mede
gefinancierd door
de Europese Unie



ACRRES – Wageningen UR

Adres : Edelhertweg 1, Lelystad
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel. : 0320 - 29 11 11
Fax : 0320 - 23 04 79
E-mail : info@ACRRES.nl
Internet : www.ACRRES.nl

Samenvatting

Het doel van deze studie was te inventariseren welke waardevolle stoffen uit mest gewonnen kunnen worden en wat de potentie is in technologie en markt om deze te verwaarden.

De inhoud van mest kan onderverdeeld worden in de volgende hoofdcategorieën:

- Organische stof
- Mineralen
- Zware metalen
- Amino-zuren
- Vluchtige vetzuren
- Antibiotica
- Hormonen

Via literatuuronderzoek is de samenstelling van elke categorie uiteen gesplitst in de verschillende stoffen met daarbij het gemiddelde gehalte van de betreffende stof in mest. Voor elke stof is de range in marktprijs nagegaan en aan de hand van het gehalte en marktprijs is de intrinsieke waarde van elke stof in de mest bepaald.

Per hoofd categorie van stoffen valt aan de hand van de waarde van de componenten te voorspellen of het mogelijk is om een sluitende business case te maken. Voor melkveemest en vleesvarkensmest zijn de potentiële verkoopopbrengsten berekend op basis van een winrendement van 80% en, een verkoopprijs van 80% van de marktwaarde. Stoffen die in te kleine hoeveelheden in de mest zaten zijn niet meegenomen, wat geïmplementeerd is als dat alleen die stoffen worden gewonnen die de hoogste verkoopwaarde hebben en die tezamen de grens van 80% van de verkoopwaarde passeren. In tabellen 1 en 2 zijn de potentiële verkoopopbrengsten van melkveemest en vleesvarkensmest weergegeven.

Tabel A Potentiële verkoopopbrengsten van stoffen met de hoogste verkoopwaarde per ton melkveemest

Organische stof	Mineralen	Zware metalen	Amino-zuren	Vluchtige vetzuren	Antibiotica	Hormonen
Hemicellulose (42 %)	N-totaal (40 %)	Zn ²⁺ (81 %)	Aspartinezuur (25 %)	Azijnzuur (45 %)	Penicilline (100 %)	Oestrogeen (86 %)
Cellulose (38 %)	K ₂ O (28 %)		Proline (21 %)	Boterzuur (30 %)		
	SO ₄ ³⁻ (12 %)		Leucine (8 %)	Valeriaanzuur (16 %)		
			Glutaminezuur (8 %)			
			Iso-Leucine (6 %)			
			Hydroxyproline (5 %)			
			Tyrosine (4 %)			
Min. € 16.41 Max. € 30.71	Min. € 2.81 Max. € 5.27	Min. € 0.06 Max. € 0.12	Min. € 7.43 Max. € 23.66	Min. € 2.44 Max. € 4.72	Min. € 0.000 Max. € 0.000	Min. € 0.001 Max. € 0.002

Tabel B Potentiele verkoopopbrengsten van stoffen met de hoogste verkoopwaarde per ton vleesvarkensmest

Organische stof	Mineralen	Zware metalen	Aminozuren	Vluchtige vetzuren	Antibiotica	Hormonen
Hemicellulose (71 %)	N-totaal (41 %)	Zn ²⁺ (40 %)	Asparaginezuur (27 %)	Capronzuur (30 %)	Tetracyclines (98 %)	Estron (100 %)
Cellulose (16 %)	K ₂ O (23 %)	Cu ²⁺ (26 %)	Proline (17 %)	Azijnzuur (29 %)		
	PO ₄ ³⁻ (11 %)	Al ³⁺ (15 %)	Leucine (9 %)	Boterzuur (25 %)		
	SO ₄ ³⁻ (11 %)		Tyrosine (8 %)			
			Iso-Leucine (7 %)			
			Glutaminezuur (6 %)			
			Valine (4 %)			
			Glycine (3 %)			
Min. € 24.60 Max. € 34.27	Min. € 4.30 Max. € 7.96	Min. € 0.54 Max. € 0.95	Min. € 15.70 Max. € 46.36	Min. € 6.37 Max. € 14.97	Min. € 0.000 Max. € 0.000	Min. € 0.000 Max. € 0.000

De totale waarde van elke categorie geeft aan wat er maximaal per ton mest uitgegeven mag worden aan processen die de gevraagde eindproducten in de juiste zuiverheid leveren. Aangezien dit veelal producten zijn van voedings- en/of medicinale kwaliteit, zal onderzocht moeten worden of deze stoffen wel geleverd kunnen worden tegen de aangenomen opbrengstprijis. Er kan wél gesteld worden dat de categorieën organische stof, mineralen, aminozuren en vluchtige vetzuren de meeste financiële ruimte bieden om dit in potentie te realiseren. De winning van zware metalen, antibiotica en hormonen uit mest zal gezien de zeer lage potentiele verkoopopbrengst niet haalbaar zijn. Verder dient een keuze te worden gemaakt voor een categorie stoffen die men wil terugwinnen in een bepaald winningsproces, want het is niet zo dat alle stoffen in een allesomvattend winningsproces eruit gehaald kunnen worden. Zo maakt bevatten bijvoorbeeld aminozuren stikstofverbindingen en kan een winningstechniek voor een bepaalde categorie het winningsproces van een andere categorieën moeilijker maken. Verder zijn win-rendementen van 80% ambitieus voor een complexe matrix als mest en tevens zijn er concurrerende alternatieve bronnen van biomassa beschikbaar om stoffen uit te winnen.

De potentiele verkoopopbrengsten van producten uit mestraffinage, moeten worden afgezet tegen de waarde van mest die niet wordt geraffineerd, maar door een boer op grasland of bouwland wordt aangewend. De waarde van de mest voor de boer betreft de bemestende waarde (nutriënten) en de organische stof (EOS). De totale waarde van de nutriënten (NPK) en organische stof (EOS) in de mest is:

- Rundveemest: €18 - 21 per ton
- Vleesvarkensmest: €17 - 19 per ton

De totale waarde van rundveemest is hoger dan van vleesvarkensmest, waardoor rundveemest aantrekkelijker is dan varkensmest. Wordt alleen gekeken naar de waarde van nutriënten (NPK) dan is varkensmest aantrekkelijker dan rundveemest en als alleen gekeken wordt naar organische stof (EOS) dan is rundveemest aantrekkelijker dan varkensmest.

Raffinage van mest voor het creëren van meerwaarde klinkt veelbelovend. Ja, er zitten componenten in mest die waardevol zijn in hun zuivere vorm. Echter, het economische plaatje dient wel te kloppen, niet alleen op basis van de daadwerkelijke gehalten, maar ook op basis van raffinage rendementen hetgeen afhankelijk is van de technologie. Een goede prijs krijg je als producent alleen maar voor producten van voldoende zuiverheid en kwaliteit. Ook de restproducten na het winnen van de waardevolle componenten moeten een plaats krijgen. Dit kan drukken op het resultaat, afhankelijk van de marktwaarde. In Nederland hebben mineralen een beperkte waarde,

omdat er landelijk een mestoverschot is. En gezien de waarde van mest als meststof voor de boer zal toepassing van mest als meststof het belangrijkste afzetkanaal blijven voor mest.

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING.....	3
1 INLEIDING.....	7
1.1 Achtergrond.....	7
1.2 Waarom mestraffinage?	7
1.3 Doel	7
2 INVENTARISATIE VAN STOFFEN IN MEST.....	8
2.1 Aanpak literatuurinventarisatie	8
2.2 Heterogeniteit van drijfmest.....	8
2.3 Mineralensamenstelling drijfmest	9
2.4 Samenstelling van de organische stof in drijfmest	10
2.5 Vluchtige vetzuren in mest	11
2.6 Hormonen in mest.....	12
2.7 Antibiotica in mest	12
3 WAARDE VAN MEST BIJ RAFFINAGE	14
3.1 Waarde van stoffen in rundveemest	14
3.2 Waarde van stoffen in varkensmest	16
3.3 Potentiele verkoopopbrengsten van stoffen	17
3.3.1 Potentiele verkoopopbrengst van stoffen in melkveemest	18
3.3.2 Potentiele verkoopopbrengst van stoffen in vleesvarkensmest	19
4 WAARDE VAN MEST BIJ BEMESTING	20
4.1 Aanleiding.....	20
4.2 Vraagstelling en berekeningsmethoden	20
4.3 Vervangingswaarde van stro en groenbemester	20
4.4 Waarde organische stof op basis van systeemproof Bodemkwaliteit op zand	22
4.5 Discussie berekeningswijze.....	25
4.6 Waarde van mest voor de boer.....	26
5 BESCHOUWING VAN HET PERSPECTIEF VOOR RAFFINAGE VAN MEST.....	28
5.1 Verschil tussen raffineren van mest en aardolie	28
5.2 Overzicht van raffinage	29
5.3 Beschouwing bio-olie uit mest.....	31
6 CONCLUSIES.....	33
LITERATUUR.....	34
BIJLAGE 1: HISTORIE VAN ONDERZOEK NAAR MESTSAMENSTELLING.....	37
BIJLAGE 2: OVERZICHT TRADITIONELE MESTPRODUCTEN EN HUN TOEPASSING.....	39

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Een van de belangrijkste kenmerken van een biobased economy is het erkennen en herkennen van biologische bronnen van hernieuwbare grondstoffen. Mest is een biologische bron waar we veel van hebben. In deze notitie wordt bekeken welke hernieuwbare grondstoffen in mest aanwezig zijn die op een slimme en economisch perspectief biedende manier gewonnen kunnen worden.

De meest gangbare verschijningsvorm van 'mest' in Nederland is drijfmest, een mengsel van feces en urine. Jaarlijks wordt in Nederland circa 55 miljoen ton rundveedrijfmest en circa 12 miljoen ton varkensdrijfmest geproduceerd. Dit is ruim 90 % van de totale mestproductie in Nederland. Het grootste deel van de varkensdrijfmest is overschotmest; jaarlijks wordt circa 10 miljoen ton getransporteerd vanaf varkensbedrijven. Rundveebedrijven beschikken over meer grond, zodat een kleiner gedeelte (ca. 7 miljoen ton per jaar) getransporteerd hoeft te worden.

1.2 Waarom mestraffinage?

Mest (deels verteerde biomassa) heeft een intrinsieke waarde als voedingsstof voor planten en voor behoud van de bodemvruchtbaarheid. Biochemische afbraakprocessen, door micro-organismen in de mest en in de bodem (na mestaanwending) zetten de voor planten ontoegankelijke verbindingen om in voor planten opneembare voedingsstoffen. Tot de jaren '70 was de beste verwaarding van mest daarom de toepassing als voeding voor planten voor humane en/of dierlijke consumptie. Deze cradle-to-cradle oplossing paste binnen de duurzaamheidsprincipes van de Biobased Economy. Een overzicht van de historie van het onderzoek naar de samenstelling van mest is weergegeven in bijlage 1. Een overzicht van traditionele mestproducten en hun toepassing staat in bijlage 2.

Echter, met het toenemen van de mestproductie en aanscherping van de gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat, kwam de verwaarding van mest onder druk te staan. Nu wordt een deel ingezet voor de productie van energie, een nieuwe toepassing als hernieuwbare grondstof. Het resterende deel blijft echter zorgenvol. Mestraffinage biedt in beginsel een manier om het mestoverschot aan te pakken. Het terugwinnen en beschikbaar maken van hernieuwbare grondstoffen uit mest kan namelijk een grote impact hebben op de plaatsingsmogelijkheden in binnen- en buitenland, waardoor de intrinsieke waarde als voedingsstof voor landbouwgewassen hersteld kan worden. Het is hierbij van belang dat er niet onevenredig veel (fossiele) energie in de bewerking en het transport van mest en mestproducten wordt gestoken. Mest verwaarding mag immers niet ten koste gaan van de duurzaamheidsprincipes.

1.3 Doel

Het doel van deze studie was om te inventariseren welke stoffen in mest zitten en met welke concentraties, wat de potentiële verkoopopbrengsten van deze stoffen zijn en wat de potentie is in technologie is om de waardevolle stoffen economisch te kunnen winnen.

2 Inventarisatie van stoffen in mest

2.1 Aanpak literatuurinventarisatie

Met behulp van Scopus werd een inventarisatie van nutriënten in mest uitgevoerd. De inventarisatie was niet begrensd op jaartal, er werden referenties gevonden over de periode 1974 tot medio 2014. Voor de zoekopdracht werden de volgende deelgroepen gebruikt:

- A Manure of Slurry
- B Protein* of Lipid* of Nutrient* of Fatty acid* of Carbohydrate* of Vitamin* of Hormone* of Antioxidant* of Anti-oxidant
- C Analysis* of Analyses of Determination or Concentration
- D Ferment* of Digest* of Air of Soil* of Odor* of Odour* of Gas* of Emission
- E Nutrients of Organic matter of Concentration (parameters) of Ammonia of Chemistry of Enzyme activity of Chemical analysis of Nitrates of Proteins of Heavy metal of Iron of Nutrient management of Nutrient cycling of Protein of Chemical composition of Fatty acid

De zoekopdracht zelf bestond uit de deelverzameling van [A en (B of C) niet D] met 3391 resultaten, die vervolgens werd gelimiteerd tot de exacte sleutelwoorden opgegeven in E. Het meest relevante deel van de resulterende 500 literatuurreferenties werd vervolgens gebruikt in dit rapport.

2.2 Heterogeniteit van drijfmest

Drijfmest is een verzamelnaam voor dunne mest van verschillende diercategorieën, zoals zeugen, vleesvarkens, melkkoeien en vleeskalveren. Omdat deze diercategorieën verschillende soorten voer krijgen, verschilt ook de gemiddelde mestsamenstelling van deze diercategorieën (tabel 1). De dichtheid van drijfmest varieert tussen 1.00 en 1.04 kg/l en is daarmee vrijwel gelijk aan de dichtheid van water. Het vochtgehalte van drijfmest is gemiddeld ruim boven de 90 %.

Tabel 1 Gemiddelde samenstelling op hoofdcomponenten van getransporteerde rundvee- en varkensdrijfmest in Nederland (CBGV 2012)

Drijfmestsoort	DS*	OS	N-tot	N-min	N-org	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
	(%)	(%)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)
Rundvee	8.5	6.4	4.1	2.0	2.1	1.5	5.8	1.2	0.7
Witvlees kalveren	2.2	1.7	2.6	2.1	0.5	1.1	4.5	1.7	1.6
Rosé kalveren	9.4	7.1	5.6	3.0	2.6	2.6	5.0	1.6	1.2
Vleesvarkens	9.3	4.3	7.1	4.6	2.5	4.6	5.8	1.5	1.2
Zeugen	5.5	3.5	4.2	2.5	1.7	3.0	4.3	1.1	0.6

* DS=droge stof, OS=organische stof, N-tot=totaal stikstof, N-min=minerale stikstof, N-org=organische stikstof, P₂O₅=fosfaat, K₂O=kali, MgO=magnesium, Na₂O=natrium

De gemiddelde gehalten in tabel 1 zijn slechts een indicatie; de variatie in gehalten tussen verschillende vrachten kan erg groot zijn. Zo vond Hoeksma (1988) in 436 monsters

rundveedrijfmest een range in drogestofgehalte van 3.4 tot 20 % en in 379 monsters vleesvarkensdrijfmest een range van 1.5 tot 15.7 %. Dergelijke grote verschillen kunnen ook verwacht worden voor andere drijfmestcomponenten.

Mogelijke oorzaken voor de grote verschillen in samenstelling van verschillende vrachten mest binnen en tussen bedrijven zijn:

- Verschillen in voersoorten,
- Verschillen in (drink- en spoel-)watergebruik,
- Optreden van bezink- en drijfslagen in mestopslagen,
- Verschillen in bewaarduur (lengte opslagperiode),
- Verschil in opslagmethode (mate van anaerobe omstandigheden in opslag),
- Onnauwkeurigheden bij monsternamen en analyse.

2.3 Mineralensamenstelling drijfmest

De mineralensamenstelling van drijfmest hangt af van de samenstelling van het voer dat de dieren kregen. Globaal komt 60 tot 90 % van de mineralen uit het voer in de mest terecht. Tabel 2 geeft een indicatieve mineralensamenstelling van Nederlandse vleesvarkens-, zeugen- en rundveedrijfmest.

Tabel 2 Gemiddelde samenstelling van vleesvarkens-, zeugen- en rundveedrijfmest in 2006.

Component	Vleesvarkens		Zeugen (+biggen)		Rundvee	
	(g/kg mest)	(g/kg ds)	(g/kg mest)	(g/kg ds)	(g/kg mest)	(g/kg ds)
droge stof	100 (10%)	1000	55 (5.5%)	1000	96 (9.6%)	1000
org. stof	66	662	35	636	67.3	708
as	34	338	20	364	27.6	291
N-totaal	7.2	72	4.2	76	4.9	51
N-NH ₄ ⁺	4.2	42	2.5	45	2.4	25
N-org.	3.0	30	1.7	31	2.5	26
P ₂ O ₅	4.2	42	3.0	55	1.7	18
K ₂ O	6.8	68	4.3	78	5.9	61
CaO	4.0	40			3.1	32
MgO	1.8	18	1.1	20	1.4	15
Cl ⁻	1.7	17			1.7	18
Na ₂ O	0.9	9	0.6	11	0.9	9.4
SO ₃ ⁻ *	2.2	22			1.7	17.7
S *	0.6	6	0.4	7.2	0.7	7.3
Cu ²⁺ **	0.0444	0.444	0.0369	0.670	0.00173	0.182
Zn ²⁺ **	0.0990	0.990	0.0065	0.1180	0.02356	0.248
Cd ²⁺ **	0.00004	0.0004			2.5·10 ⁻⁵	0.0003
B ³⁺	0.0055	0.055			0.00294	0.031
Fe ^{2+ / 3+}	0.2	2				
Cr ³⁺	0.0010	0.010			5.7·10 ⁻⁴	0.006
Ni ²⁺	0.0009	0.009			4.75·10 ⁻⁴	0.005
Pb ²⁺	0.0005	0.005			4.75·10 ⁻⁴	0.005
Hg ²⁺	0.000004	0.00004			4.75·10 ⁻⁶	0.00005
As ³⁺	0.00006	0.0006			5.7·10 ⁻⁵	0.0006
Se ⁺	0.00008	0.0008				
Mn ²⁺	0.0535	0.535				
Al ³⁺	0.0750	0.750				
Mo ⁴⁺	0.00085	0.0085				
Co ²⁺	0.00034	0.0034				
Si ⁴⁺						
pH		7,9		7,5		8,0

* Zwavelgehalte wordt soms opgegeven als S, soms als SO₃⁻ (SO₃⁻ bevat 40 % S)

** Zware metalen behalve Cu, Zn, Cd zijn uit Franse/Duitse bronnen. Gehalten Cu, Zn en Cd in vleesvarkens- en rundveedrijfmest zijn afkomstig van WUR 2008-2011 (ASG 2007-2014)

2.4 Samenstelling van de organische stof in drijfmest

Gegevens over de samenstelling van Amerikaanse varkens – en rundveedrijfmest werden verzameld door Chen et al.¹ in samenwerking met het Pacific Northwest National Laboratory. Zij onderzochten de vezels welke uit de organische stof gewonnen konden worden door mest onder reflux uit te wassen met verschillende surfactants. Zo werd een neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) en acid detergent lignin (ADL) product onderscheiden. Ook de ruwe eiwit en aminozuursamenstelling werd onderzocht. Gegevens voor rundveemest en varkensmest staan vermeld in respectievelijk tabel 3 en 4.

Tabel 3 Samenstelling van de organische stof van rundveedrijfmest.

Parameter	Melkvee (% van ds)	Rundvee (vlees) (% van ds)	Voer (% van ds)
NDF	52.6	51.5	41.7
ADF	40.4	34.1	20.3
ADL	13.0	12.2	6.1
Cellulose (= ADF-ADL)	27.4	21.9	14.2
Hemicellulose (= NDF-ADF)	12.2	17.4	21.4
Ruw eiwit	18.11	25.13	17.0
Taurine	0.06	0.06	0.06
Hydroxyproline	0.08	0.19	0.02
Aspartinezuur	0.73	0.82	1.0
Threonine	0.36	0.37	0.57
Serine	0.30	0.35	0.43
Glutaminezuur	1.46	1.09	1.93
Proline	0.49	0.44	0.75
Lanthionine	o.d.	0.01	0.02
Glycine	0.82	0.66	0.56
Alanine	0.82	0.61	0.72
Cysteine	0.14	0.12	0.23
Valine	0.49	0.44	0.64
Metionine	0.12	0.11	0.23
Isoleucine	0.38	0.33	0.5
Leucine	0.60	0.54	0.82
Tyrosine	0.15	0.21	0.36
Phenylalanine	0.32	0.32	0.58
Hydroxylysine	o.d.	0.01	o.d.
Histidine	0.09	0.14	0.24
Ornithine	0.03	0.02	0.03
Lysine	0.24	0.37	0.63
Arginine	0.24	0.35	0.48
Tryptophaan	o.d.	0.05	0.09
Totaal	7.92	7.61	10.89

Tabel 4 Samenstelling van de droge stof van varkensmest.

Parameter	Zeugenmest (% van ds)	Varken (groei) (% van ds)	Varken (finisher) (% van ds)
NDF	39.2	39.1	37.4
ADF	17.3	18.7	15.8
ADL	4.1	5.4	2.9
Cellulose (= ADF-ADL)	13.2	13.3	12.9
Hemicellulose (= NDF-ADF)	35.1	25.8	24.5
Ruw eiwit	25.1	22.7	22.0
Taurine	0.08	0.06	0.07
Hydroxyproline	0.03	0.09	0.01
Aspartinezuur	1.7	2.01	1.61
Threonine	0.82	1	0.77
Serine	0.57	0.77	0.54
Glutaminezuur	2.3	2.54	2.15
Proline	0.83	0.95	0.76
Lanthionine	0.03	0	0.04
Glycine	0.95	1.13	0.84
Alanine	1.28	1.37	1.12
Cysteine	0.28	0.39	0.3
Valine	1.11	1.13	1.08
Metionine	0.4	0.49	0.37
Isoleucine	0.91	0.92	0.93
Leucine	1.4	1.65	1.34
Tyrosine	0.63	0.69	0.56
Phenylalanine	0.9	0.97	0.84
Hydroxylysine	o.d.	0.01	o.d.
Histidine	0.33	0.43	0.29
Ornithine	0.05	0.03	0.08
Lysine	1.1	1.33	1.13
Arginine	0.73	0.88	0.7
<u>Tryptophaan</u>	<u>0.13</u>	<u>0.15</u>	<u>0.1</u>
Totaal	16.56	18.99	15.63

2.5 Vluchtige vetzuren in mest

De gehalten aan vluchtige vetzuren in vleesvarkens- en rundveedrijfmest zijn weergegeven in tabel 5. In varkensdrijfmest zijn de gehalten ongeveer twee maal hoger dan in rundveedrijfmest.

Tabel 5 Gehalten aan vluchtige vetzuren in drijfmest ^{2, 3}

Drijfmestsoort	Azijnzuur (C2) (g/kg)	Propionzuur (C3) (g/kg)	Boterzuur (C4) (g/kg)	Valeriaanzuur (C5) (g/kg)	Capronzuur (C6) (g/kg)
Rundvee	5 - 6	2	1	0.5	-
Varkens	4 - 12	1.5 - 4.5	0.5 - 2.5	0 - 1	0 - 0.15

De gehalten aan vluchtige vetzuren zijn sterk afhankelijk van de ouderdom van de mest, als maatstaf voor de mate van afbraak van de organische stof. De concentraties vluchtige vetzuren afhankelijk van de ouderdom zijn gemeten in vleesvarkensdrijfmest (tabel 6).

Tabel 6 Gehalten aan vluchtige vetzuren (in kg/ton) in vleesvarkensdrijfmest in riolering en mestkelder als functie van de ouderdom van de mest (V-focus, april 2014)⁶².

Vetzuur	3 dagen	18 dagen	32 dagen	129 dagen
Azijnzuur	9.2	11.0	11.4	0.3
Propionzuur	2.6	3.2	3.0	nd†
Boterzuur	1.5	1.7	2.0	0.03
Pentaanzuur	0.8	0.9	1.2	nd†
Totaal vluchtige vetzuren	18.4	21.4	22.9	0.4

Zoals weergegeven tabel 6 blijkt dat wanneer de mest langdurig opgeslagen is geweest (of anaerob is vergist) de gehalten vrijwel nul zijn.

2.6 Hormonen in mest

In Frans onderzoek uit 2010⁴ werd een totaal gehalte aan steroïde hormonen van 2.000-3.000 ng/liter gevonden in dunne fractie van gescheiden varkensmest. Het betrof voornamelijk estrone, estradiol en estriol en in mindere mate testosteron en progesteron.

In de feces van drachtige koeien kwam 10 tot 2.000 ng/g oestrogeen voor (256 tot 7.300 µg/dag/koe) en in urine van drachtige koeien werd 320-104.320 µg/dag/koe gevonden. Een andere bron spreekt van maximaal 1 mg/kg feces van drachtige koeien.

In de urine van drachtige zeugen werd 30 tot 3.000 ng oestrogeen/mg creatinine gevonden (700-17.000 µg/dag/zeug) en in de feces 60 µg/dag/zeug. Een andere bron spreekt van maximaal 5 mg/liter urine van drachtige zeugen.

Tabel 7 Gehalten hormonen in mest

Mestproduct	Hormoon	Gehalte (ng/kg)	Bron
Gescheiden varkensmest	Estrone Estradiol Estriol	2000 - 3000	4
Koeien feces (drachtige)	Oestrogeen	4 - 125	5
Koeien urine (drachtige)	Oestrogeen	32 - 10432	5
Varkens urine	Oestrogeen	125 - 3000	5
Varkens urine	Oestrogeen	500 - 1000	6
Koeien feces	Oestrogeen	51.5	6

2.7 Antibiotica in mest

De gevonden cijfers over antibiotica in mest zijn uit 2008⁷ en waarschijnlijk achterhaald door het recentelijk afnemend gebruik van antibiotica in de veehouderij. Het betrof voornamelijk tetracyclines (60 %) en sulfonamiden (18 %). In tabel 8 worden de gehalten van de voornaamste stoffen weergegeven.

Tabel 8 Gehalten aan antibiotica in mest

Mestproduct	Antibiotica	Totaal gehalte antibiotica (mg/kg mest)
Vleesvarkens	Sulfonamides	0.127
	Tetracyclines	0.129
Zeugen met biggen	Sulfonamides	0.033
	Tetracyclines	0.028
Rundvee	Penicillines	0.001

3 Waarde van mest bij raffinage

3.1 Waarde van stoffen in rundveemest

In tabel 9a+b is de intrinsieke waarde van de gevonden stoffen in melkveemest weergegeven.

Tabel 9a Overzicht van de geldwaarde van stoffen in melkveemest (bij \$1.00 = €0.78)

Stof	Concentratie (kg/ton mest)	Prijs (€ per kg)	Waarde (€ per ton mest)	Eindproduct
Organische stof	67.3			
Lignine	8.75	0.25 – 1.00	2.19 – 8.75	Lichtbruin poeder
Cellulose	18.44	0.50 – 1.56	9.22 – 28.77	Wit cellulose poeder
Hemicellulose	8.21	2.00 – 2.34	16.40 – 19.21	Wit monosaccharide
Ruw eiwit	12.19	0.23 – 0.50	2.80 – 6.10	Lichtbruin voedermiddel
Mineralen				
N-totaal	4.9	0.39 – 0.94	1.91 – 4.61	Witte kunstmest korrel
N-NH ₄ ⁺	2.4	0.09 – 0.13	0.22 – 0.32	Wit ammoniumsulfaat
N-org.	2.5			
P ₂ O ₅	1.7	0.23 – 0.31	0.39 – 0.53	Wit triple super fosfaat
K ₂ O	5.9	0.32 – 0.40	1.89 – 2.36	Witte KCl meststof
CaO	3.1	0.08 – 0.11	0.24 – 0.34	96% calcium hydroxide
MgO	1.4	0.16 – 0.56	0.02 – 0.78	Magnesiumhydroxide 95%
Cl ⁻	1.7			
Na ₂ O	0.9	0.04 – 0.08	0.10 – 0.20	Industrieel NaCl (rose/rood)
SO ₄ ³⁻	1.7	0.35 – 0.75	0.60 – 1.28	K ₃ SO ₄ zout (wit, 80% zuiver)
Zware metalen				
Cu ²⁺	0.00173	7.00 – 9.33	0.01 – 0.02	Koper (metaal)
Zn ²⁺	0.02356	3.90 – 7.80	0.09 – 0.18	Zink poeder (metaal)
Cd ²⁺	2.5 · 10 ⁻⁵	0.78 – 78.0	0.00 – 0.002	Cadmium poeder 99.99%
B ³⁺	0.00294	0.20 – 1.00	0.00 – 0.003	Boor (element)
Fe ^{2+ / 3+}	n.d.	0.39 – 0.62	0.00 – 0.00	Iron rebar (metaal)
Cr ³⁺	5.7 · 10 ⁻⁴	0.01 – 0.04	0.00 – 0.00	Chroom poeder (99%)
Ni ²⁺	4.75 · 10 ⁻⁴	19.5 – 31.2	0.00 – 0.001	Nikkel poeder (99%)
Pb ²⁺	4.75 · 10 ⁻⁴	3.51 – 3.90	0.00 – 0.002	Lood poeder (99%)
Hg ²⁺	4.75 · 10 ⁻⁶	0.78 – 13.1	0.00 – 0.00	Vloeibaar kwik (99%)
As ³⁺	5.7 · 10 ⁻⁵	0.94 – 1.21	0.00 – 0.000	Arseen metaal (99%)
Mn ²⁺	n.d.	1.95 – 2.02	0.00 – 0.00	Mangaanpoeder (99%)
Al ³⁺	n.d.	1.95 – 3.90	0.00 – 0.00	Aluminium sheets
Mo ⁴⁺	n.d.	3.90 – 39.0	0.00 – 0.00	Molybdeen metaal
Co ²⁺	n.d.	31.2 – 39.0	0.00 – 0.00	Cobalt poeder (99.7%)

Prijzen gebaseerd op bulkchemicaliën website: www.alibaba.com

Tabel 9b Vervolg overzicht van de geldwaarde van stoffen in melkveemest (bij \$1.00 = €0.78)

Stof	Concentratie (kg/ton mest)	Prijs (€ per kg)	Waarde (€ per ton mest)	Eindproduct
Aminozuren				
Taurine	0.04038	1.95 – 2.73	0.08 – 0.11	Food grade
Hydroxyproline	0.05384	0.78 – 78.0	0.04 – 4.20	Cosmetic en food grade
Aspartinezuur	0.49129	9.36 – 14.8	4.60 – 7.27	Food grade
Threonine	0.24228	1.33 – 1.56	0.32 – 0.38	Feed grade (98.5%)
Serine	0.2019	0.78 – 7.80	0.16 – 1.57	Cosmetic en food grade
Glutaminezuur	0.98258	1.40 – 2.34	1.37 – 2.30	Food grade
Proline	0.32977	11.7 – 19.5	3.85 – 6.43	Food en medicine grade
Glycine	0.55186	0.78 – 7.80	0.43 – 4.30	Gly-HCl pharmaceutical
Alanine	0.55186	0.78 – 1.56	0.43 – 0.86	DL-Alanine, food grade
Cysteine	0.09422	0.78 – 19.5	0.07 – 1.83	Food en medicine grade
Valine	0.32977	0.78 – 7.80	0.26 – 2.57	Food en medicine grade
Metionine	0.08076	1.56 – 2.85	0.13 – 0.23	DL-Meth. Feed grade
Isoleucine	0.25574	0.78 – 19.5	0.20 – 4.99	DL-IsoL. Food en med. Grade
Leucine	0.4038	0.78 – 15.6	0.31 – 6.30	DL-Leu Food grade
Tyrosine	0.10095	7.80 – 11.7	0.79 – 1.18	L-Tyr Food grade
Phenylalanine	0.21536	0.78 – 7.80	0.17 – 1.68	DL-Phen. Food grade
Histidine	0.06057	0.78 – 11.7	0.47 – 7.08	His-HCl, food en med. grade
Ornithine	0.02019	0.78 – 1.56	0.02 – 0.03	Cosmetic en food grade
Lysine	0.16152	0.78 – 1.56	0.13 – 0.25	Food grade
Arginine	0.16152	0.00 – 0.78	0.00 – 0.13	Food en medicine grade
Vluchtige vetzuren				
Azijnzuur	6	0.31 – 0.62	1.87 – 3.74	Food grade
Propionzuur	2	0.00 – 0.78	0.00 – 1.56	Food grade preservative
Boterzuur	1	1.56 – 1.70	1.56 – 1.70	99.5% zuiver
Valeriaanzuur	0.5	0.78 – 3.90	0.39 – 1.95	98% zuiver
Capronzuur	0	15.6 – 78.0	0.00 – 0.00	Food grade
Antibiotica				
Penicilline	0.000001	0.08 – 0.78	0.00 – 0.0000	Medicine grade
Hormonen				
Oestrogeen	µg/ton mest 1640	156 – 312	0.0002 – 0.0005	Grade A
Oestrogeen	µg/ton urine 10432	156 – 312	€/ton urine 0.0016 – 0.0032	Grade A

Prijzen gebaseerd op bulkchemicaliën website: www.alibaba.com

3.2 Waarde van stoffen in varkensmest

In tabel 10a+b is de intrinsieke waarde van de gevonden stoffen in vleesvarkensmest weergegeven.

Tabel 10a Overzicht van de geldwaarde van stoffen in vleesvarkensmest (bij \$1.00 = €0.78)

Stof	Concentratie (kg/ton mest)	Prijs (€ per kg)	Waarde (€ per ton mest)	Eindproduct
Organische stof	66			
Lignine	3.56	0.25 – 1.00	0.89 – 3.56	Lichtbruin poeder
Cellulose	8.778	0.50 – 1.56	4.39 – 13.69	Wit cellulose poeder
Hemicellulose	17.028	2.00 – 2.34	34.06 – 39.84	Wit monosaccharide
Ruw eiwit	14.982	0.23 – 0.50	3.45 – 7.49	Lichtbruin voedermiddel
Mineralen				
N-totaal	7.2	0.39 – 0.94	2.80 – 6.77	Witte kunstmest korrel
N-NH ₄ ⁺	4.2	0.09 – 0.13	0.38 – 0.55	Wit ammoniumsulfaat
P ₂ O ₅	4.2	0.23 – 0.31	0.97 – 1.30	Wit triple super fosfaat
K ₂ O	6.8	0.32 – 0.40	2.18 – 2.72	Witte KCl meststof
CaO	4.0	0.08 – 0.11	0.32 – 0.44	96% calcium hydroxide
MgO	1.8	0.16 – 0.56	0.29 – 1.01	Magnesiumhydroxide 95%
Cl ⁻	1.7			
Na ₂ O	0.9	0.04 – 0.08	0.10 – 0.20	Industrieel NaCl (rose/rood)
SO ₄ ³⁻	2.2	0.35 – 0.75	0.77 – 1.65	K ₂ SO ₄ zout (wit, 80% zuiver)
Zware metalen				
Cu ²⁺	0.0444	7.00 – 9.33	0.31 – 0.41	Koper (metaal)
Zn ²⁺	0.0990	3.90 – 7.80	0.39 – 0.77	Zink poeder (metaal)
Cd ²⁺	0.00004	0.78 – 78.0	0.00 – 0.003	Cadmium poeder 99.99%
B ³⁺	0.0055	0.20 – 1.00	0.00 – 0.006	Boor (element)
Fe ^{2+ / 3+}	0.2	0.39 – 0.62	0.08 – 0.12	Iron rebar (metaal)
Cr ³⁺	0.0010	0.01 – 0.04	0.00 – 0.00004	Chroom poeder (99%)
Ni ²⁺	0.0009	19.5 – 31.2	0.02 – 0.03	Nikkel poeder (99%)
Pb ²⁺	0.0005	3.51 – 3.90	0.00 – 0.002	Lood poeder (99%)
Hg ²⁺	0.000004	0.78 – 13.1	0.00 – 0.00005	Vloeibaar kwik (99%)
As ³⁺	0.00006	0.94 – 1.21	0.00 – 0.00007	Arseen metaal (99%)
Mn ²⁺	0.0535	1.95 – 2.02	0.10 – 0.11	Mangaanpoeder (99%)
Al ³⁺	0.0750	1.95 – 3.90	0.15 – 0.29	Aluminium sheets
Mo ⁴⁺	0.00085	3.90 – 39.0	0.003 – 0.03	Molybdeen metaal
Co ²⁺	0.00034	31.2 – 39.0	0.01 – 0.013	Cobalt poeder (99.7%)

Prijzen gebaseerd op bulkchemicaliën website: www.alibaba.com

Tabel 10b Vervolg overzicht van de geldwaarde van stoffen in vleesvarkensmest (bij \$1.00 = €0.78)

Stof	Concentratie (kg/ton mest)	Prijs (€ per kg)	Waarde (€ per ton mest)	Eindproduct
Aminozuren				
Taurine	0.0528	1.95 – 2.73	0.10 – 0.14	Food grade
Hydroxyproline	0.0198	0.78 – 78.0	0.15 – 15.4	Cosmetic en food grade
Aspartinezuur	1.122	9.36 – 14.8	10.50 – 16.60	Food grade
Threonine	0.5412	1.33 – 1.56	0.72 – 0.84	Feed grade (98.5%)
Serine	0.3762	0.78 – 7.80	0.29 – 2.93	Cosmetic en food grade
Glutaminezuur	1.518	1.40 – 2.34	2.13 – 3.55	Food grade
Proline	0.5478	11.7 – 19.5	6.41 – 10.68	Food en medicine grade
Glycine	0.627	0.78 – 7.80	0.49 – 4.89	Gly-HCl pharmaceutical
Alanine	0.8448	0.78 – 1.56	0.66 – 1.32	DL-Alanine, food grade
Cysteine	0.1848	0.78 – 19.5	0.14 – 3.60	Food en medicine grade
Valine	0.7326	0.78 – 7.80	0.57 – 5.70	Food en medicine grade
Methionine	0.264	1.56 – 2.85	0.41 – 0.75	DL-Meth. Feed grade
Isoleucine	0.6006	0.78 – 19.5	0.47 – 11.71	DL-IsoL. Food en med. grade
Leucine	0.924	0.78 – 15.6	0.72 – 14.41	DL-Leu Food grade
Tyrosine	0.4158	7.80 – 11.7	3.24 – 4.86	L-Tyr Food grade
Phenylalanine	0.594	0.78 – 7.80	0.46 – 4.63	DL-Phen. Food grade
Histidine	0.2178	0.78 – 11.7	0.17 – 2.54	His-HCl, food en med. grade
Ornithine	0.033	0.78 – 1.56	0.03 – 0.05	Cosmetic en food grade
Lysine	0.726	0.78 – 1.56	0.57 – 1.13	Food grade
Arginine	0.4818	0.00 – 0.78	0.00 – 0.38	Food en medicine grade
Tryptophaan	0.0858	12.5 – 32.7	1.07 – 2.81	Food en medicine grade
Vluchtige vetzuren				
Azijnzuur	12	0.31 – 0.62	3.72 – 7.44	Food grade
Propionzuur	4.5	0.00 – 0.78	0.00 – 3.51	Food grade preservative
Boterzuur	2.5	1.56 – 1.70	3.90 – 4.25	99.5% zuiver
Valeriaanzuur	1	0.78 – 3.90	0.78 – 3.90	98% zuiver
Capronzuur	0.15	15.6 – 78.0	2.34 – 11.70	Food grade
Antibiotica				
Sulfonamides	0.000127	0.08 – 0.78	0.00 – 0.0001	
Tetracyclines	0.000129	27.3 – 31.2	0.003 – 0.004	Medicine grade
Hormonen				
	µg/ton mest			
Estrone				
Estradiol	3000	7.80 – 78.0	0.00 – 0.0002	Grade A
Estriol				

Prijzen gebaseerd op bulkchemicaliën website: www.alibaba.com

3.3 Potentiele verkoopopbrengsten van stoffen

Per hoofdcategorie van stoffen valt aan de hand van de waarde van de componenten te voorspellen wat de potentiele verkoopopbrengsten van de stoffen zijn bij verwaarding van de beschreven mestsoort. Uitgangspunt zijn hierbij tabellen 9 en 10 voor respectievelijk melkveemest en vleesvarkensmest. De daarin weergegeven getallen houden echter geen rekening met verliezen tijdens de winning van de componenten. Er is een win-rendement van 80% aangehouden voor de winning van de componenten uit mest. Ook is het zo dat in beide tabellen de prijzen zijn gebruikt van op zich bewezen productieprocessen van producten met een gegarandeerde zuiverheid. Klanten van deze firma's hebben vertrouwen in de fabricageprocessen van de firma's en zijn daardoor bereid om voor deze producten goed geld te betalen. Nieuwkomers op een dergelijke markt zullen eerst moeten investeren in hun relatie met klanten. De klant moet vertrouwen krijgen in de gebruikte grondstoffen en verwerkingstechnieken, voordat een gelijkwaardige prijs betaald

zal gaan worden. Het is daarom reëel om tijdens deze periode 80% van de in de tabellen genoemde prijs voor producten te hanteren.

3.3.1 Potentiele verkoopopbrengst van stoffen in melkveemest

De sleutelverbindingen (het rijtje van verbindingen met een gezamenlijke relatieve bijdrage van 80% aan het totaal per categorie) voor het tot een succes maken van de business case melkveemest zijn per categorie weergegeven in tabel 11. Hierbij is rekening gehouden met een beperkt win-rendement (80%) en een beperkte marktprijs (80%).

Tabel 11 Waarde van sleutelverbindingen in melkveemest (€ per ton mest)

Categorie Sleutelverbinding	Totale waarde (€ per ton)		Gemiddelde bijdrage tot categorie (bijdragen tot samen >80%)
Organische stof	16.41	– 30.71	
Hemicellulose	10.51	– 12.30	42
Cellulose	5.90	– 18.41	38
Mineralen	2.81	– 5.27	
N-totaal	1.22	– 2.95	40
K ₂ O	1.21	– 1.51	28
SO ₄ ³⁻	0.38	– 0.82	12
Zware metalen	0.06	– 0.12	
Zn ²⁺	0.059	– 0.118	81
Aminozuren	7.43	– 23.66	
Aspartinezuur	2.94	– 4.65	25
Proline	2.47	– 4.12	21
Leucine	0.20	– 4.03	8
Glutaminezuur	0.88	– 1.47	8
Glycine	0.28	– 2.75	6
Iso-Leucine	0.13	– 3.19	6
Hydroxyproline	0.027	– 2.68	5
Tyrosine	0.50	– 0.76	4
Vluchtige vetzuren	2.44	– 4.72	
Azijnzuur	1.19	– 2.38	45
Boterzuur	1.00	– 1.09	30
Valeriaanzuur	0.25	– 1.25	16
Antibiotica	0.000	– 0.000	
Penicilline	0.000	– 0.000	100
Hormonen	0.001	– 0.002	
Oestrogeen uit urine	0.0010	– 0.0021	86

De totale waarde van elke categorie geeft aan wat er maximaal per ton mest uitgegeven mag worden aan processen die de gevraagde eindproducten (tabel 9) in de juiste zuiverheid leveren. Aangezien dit veelal producten zijn van voedings en/of medicinale kwaliteit, zal onderzocht moeten worden of deze stoffen wel geleverd kunnen worden tegen de aangegeven maximale prijs. Van tevoren kan wél gesteld worden dat de categorieën organische stof, aminozuren, mineralen en vluchtige vetzuren de meeste financiële ruimte bieden om dit te in potentie te realiseren met uitgangspunt melkveemest. De winning van antibiotica, hormonen en zware metalen uit melkveemest zal gezien de zeer lage opbrengsten financieel niet haalbaar zijn.

3.3.2 Potentiele verkoopopbrengst van stoffen in vleesvarkensmest

De sleutelverbindingen (het rijtje van verbindingen met een gezamenlijke relatieve bijdrage van 80% aan het totaal per categorie) voor het tot een succes maken van de business case vleesvarkensmest zijn per categorie weergegeven in tabel 12. Hierbij is rekening gehouden met een beperkt win-rendement (80%) en een beperkte marktprijs (80%).

Tabel 12 Waarde van sleutelverbindingen in vleesvarkensmest (€ per ton mest)

Categorie Sleutelverbinding	Totale waarde (€ per ton)		Gemiddelde bijdrage tot categorie (bijdragen tot samen >80%)
Organische stof	24.60	– 34.27	
Hemicellulose	21.80	– 25.50	71
Cellulose	2.81	– 8.76	16
Mineralen	4.30	– 7.96	
N-totaal	1.80	– 4.33	41
K ₂ O	1.39	– 1.74	23
PO ₄ ³⁻	0.62	– 0.83	11
SO ₄ ³⁻	0.49	– 1.06	11
Zware metalen	0.54	– 0.95	
Zn ²⁺	0.25	– 0.49	40
Cu ²⁺	0.20	– 0.27	26
Al ³⁺	0.09	– 0.19	15
Aminozuren	15.70	– 46.36	
Aspartinezuur	6.72	– 10.63	27
Proline	4.10	– 6.84	17
Leucine	0.46	– 9.23	9
Tyrosine	2.08	– 3.11	8
Iso-Leucine	0.30	– 7.50	7
Glutaminezuur	1.36	– 2.27	6
Valine	0.37	– 3.66	4
Glycine	0.31	– 3.13	3
Vluchtige vetzuren	6.37	– 14.97	
Capronzuur	1.50	– 7.49	30
Azijnzuur	2.38	– 4.76	29
Boterzuur	2.50	– 2.72	25
Antibiotica	0.000	– 0.000	
Tetracyclines	0.000	– 0.000	98
Hormonen	0.000	– 0.000	
Estrone	0.000	– 0.000	100

De totale waarde van elke categorie geeft aan wat er maximaal per ton mest uitgegeven mag worden aan processen die de gevraagde eindproducten (tabel 9) in de juiste zuiverheid leveren. Aangezien dit veelal producten zijn van voedings en/of medicinale kwaliteit, zal onderzocht moeten worden of deze stoffen wel geleverd kunnen worden tegen de aangegeven maximale prijs. Van tevoren kan wél gesteld worden dat de categorieën organische stof, aminozuren, mineralen en vluchtige vetzuren de meeste financiële ruimte bieden om dit te in potentie te realiseren met uitgangspunt vleesvarkensmest. De winning van antibiotica, hormonen en zware metalen uit vleesvarkensmest zal gezien de zeer lage opbrengsten financieel niet haalbaar zijn.

4 Waarde van mest bij bemesting

4.1 Aanleiding

In dit hoofdstuk worden enkele waardebeoordelingen van organische stof voor de akkerbouw op een rij gezet. Veel van de mest wordt immers op akkerbouwbedrijven toegepast en het is van belang om de waarde voor akkerbouwrotaties goed te kennen. Hierbij wordt geput uit resultaten van eerder onderzoek. De waarde van mest voor de akkerbouwer wordt bepaald door de mineralen en zogenaamde Effectieve Organische Stof (EOS). EOS is de hoeveelheid organische stof die over is één jaar na toediening van de organische stof. De EOS kan berekend worden uit de aangevoerde hoeveelheid organische stof vermenigvuldigd met de humificatiecoëfficiënt. De humificatiecoëfficiënt is laag voor gewasresten (0.2 – 0.35), gemiddeld voor mest (0.3 – 0.7) en hoog voor composten (0.5 – 0.8). EOS van producten geeft beter de waarde weer van organische stof voor onderhoud van het organische stofgehalte van de bodem dan de organische stof van producten alleen. In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de waarde van de organische stof in rundvee- en varkensmest. Voor deze beide mestsoorten is uitgegaan van een organisch stofgehalte van respectievelijk 64 en 43 kg/ton en een humificatiecoëfficiënt van 0.70 en 0.33 (handboekbodemenbemesting.nl)⁵⁸. Hieruit kan een EOS-gehalte van 45 kg/ton voor rundveemest en 14 kg/ton voor vleesvarkensmest worden afgeleid.

4.2 Vraagstelling en berekeningsmethoden

De vraag is wat is de waarde van organische stof in rundvee- en vleesvarkensmest. Zoals hierboven uitgelegd wordt dit berekend op basis van EOS en omgerekend naar een prijs per ton mest. De waarde is bepaald via twee methoden:

- 1) Vervangingswaarde van aanvoer van vergelijkbare hoeveelheid EOS door het achterlaten van stro na een graanteelt of de teelt van een groenbemester. In dit geval wordt de waarde van de EOS bepaald door de gedeelde inkomsten bij het niet verkopen van het stro of door de teeltkosten van een groenbemester.
- 2) Op basis van de langjarige proef "Bodemkwaliteit op zand" op PPO-locatie Vredepeel waarin diverse organische stofstrategieën worden vergeleken waaronder één met en één zonder gebruik van drijfmest bij eenzelfde gewasrotatie. In dit geval wordt de waarde van de EOS in mest berekend op basis van de verschillen in financiële opbrengst tussen de strategieën. De gepresenteerde getallen zijn een update van een eerdere flyer op dit onderwerp (Haan et al., 2015)⁵⁷.

De beide berekeningsmethodieken worden hieronder uitgewerkt.

4.3 Vervangingswaarde van stro en groenbemester

Vervangingswaarde van stro

In de teelt van graan wordt 3000 – 4600 kg stro per ha geproduceerd met een hoeveelheid van 2200 – 3400 kg/ha organische stof en 660 – 1020 kg EOS per ha (tabel 1, handboekbodemenbemesting.nl)⁵⁸. De waarde van het stro wanneer het afgevoerd en verkocht wordt ligt tussen de €270 – 370 per ha (KWIN-AGV, 2012). Hier gaan nog wel kosten af voor persen en afvoeren van stro circa €70 – 120 per ha op basis van loonwerkkosten (€7 per pak van 300 kg + afvoerkosten). De netto opbrengst van het afvoeren van stro is dus circa €200-250 per ha. Wanneer het stro niet verkocht wordt maar achtergelaten wordt zijn er gedeelde inkomsten of

wel kosten. Hiermee kunnen de kosten van 1 kg EOS uit stro berekend worden op €0.20 – 0.35 per kg EOS. Hiermee wordt de waarde van de organische stof in rundveemest €9.50 – 16.00 per ton en voor vleesvarkensmest €3.00 – 5.00 per ton.

Tabel 13 Kengetallen achterlaten stro van diverse granen: Kolommen a en b: Hoeveelheid en prijs per ha (bron KWIN-AGV, 2012)⁵⁹; Kolommen c en d: Organische stof afvoer en EOS afvoer (humificatiecoëfficiënt van stro is 0.30) (handboekbodembemesting.nl)⁵⁸; Kolom e: berekende gedeelde inkomsten (kosten) in €/kg EOS en kolommen f en g: waarde van rundveemest en varkensmest in €/ton.

Strosoort	a) Hoe- veelheid (kg/ha)	b) Prijs (€/ha)	c) OS- afvoer (kg)	d) EOS- afvoer (kg)	e) Kosten EOS (€/kg)	f) Waarde rundveemest (€/ton)	g) Waarde varkensmest (€/ton)
Wintergerst klei	4000	360	2600	780	0.34	15.38	4.79
Wintergerst zand	3400	272	2600	780	0.25	11.12	3.46
Wintertarwe klei	4600	368	3300	990	0.26	11.85	3.69
Wintertarwe zand	3700	296	3300	990	0.21	9.53	2.96
Zomergerst klei	3500	315	2200	660	0.35	15.91	4.95
Zomergerst zand	3000	270	2200	660	0.30	13.64	4.24
<u>Zomertarwe klei</u>	<u>3500</u>	<u>280</u>	<u>2200</u>	<u>660</u>	<u>0.30</u>	<u>13.52</u>	<u>4.21</u>
Gemiddelde	3671	309	2629	789	0.29	12.99	4.04
Minimum	3000	270	2200	660	0.21	9.53	2.96
Maximum	4600	368	3300	990	0.35	15.91	4.95

Vervangingswaarde van groenbemester

Een goed geslaagde groenbemester levert 2700 – 4500 kg organische stof per ha en 800 – 1200 kg EOS per ha (tabel 2, handboekbodembemesting.nl)⁵⁸. Voorwaarde is dat deze tijdig gezaaid is, met voldoende zaaizaad, met voldoende stikstof beschikbaar en een voldoende zaaibedbereiding. De teeltkosten voor de teelt van een groenbemester bestaan uit kosten voor zaad, meststoffen en brandstof en liggen tussen de €84 - 137 per ha (KWIN-AGV)⁵⁹. Daarnaast is 2 tot 4 uur arbeid per ha nodig en kunnen machinekosten toegerekend worden (anders dan bij het persen en afvoeren van stro is hier niet gerekend met uitvoering in loonwerk, omdat dit meestal door de teler zelf wordt gedaan). Wanneer de arbeids- en machinekosten meegenomen worden zijn de totale kosten naar schatting circa €150 – 250 per ha. De kosten van 1 kg organische stof in een groenbemester op basis van alleen de teeltkosten kunnen zo berekend worden op €0.07-0.16 per kg EOS. Hiermee wordt de waarde van de EOS in rundveemest €3.30 – 7.00 per ton en voor vleesvarkensmest €1.00 – 2.20 per ton. Rekening houdend met kosten van arbeid en machines verdubbelt de waarde naar €6.60 – 14.00 per ton voor rundveemest en €2.00 – 4.40 per ton voor vleesvarkensmest.

Tabel 14. Kengetallen van groenbemesters. Kolommen a en b: Teeltkosten en arbeid (KWIN-AGV, 2012; de mechanisatiekosten zijn zeer bedrijfsspecifiek en daarom niet geschat)⁵⁹; kolommen c, d en e: Organische stof aanvoer, humificatiecoëfficiënt en EOS aanvoer van groenbemesters (handboekbodembemesting.nl)⁵⁸; Kolom f berekende kosten per kg EOS voor de teelt van groenbemesters op basis van alleen de teeltkosten en kolommen f en g: waarde van rundveemest en varkensmest in €/ton.

Groenbemester	a) Teelt- kosten (€/ha)	b) Arbeid (uur/ha)	c) OS- aanvoer (kg/ha)	d) Humificatie- coëfficiënt (-)	e) EOS- aanvoer (kg/ha)	f) Kosten EOS (€/kg)	g) Waarde rundvee- mest (€/ton)	h) Waarde varkens- mest (€/ton)
Bladrammenas	137	3	3800	0.23	874	0.16	7.05	2.19
Gele mosterd	137	3	3800	0.23	874	0.16	7.05	2.19
Engels raaigras	84	2	4250	0.27	1148	0.07	3.29	1.02
Italiaans raaigras	113	3	4200	0.26	1092	0.10	4.66	1.45
Rode klaver	91	4	4100	0.27	1107	0.08	3.70	1.15
<u>Witte klaver</u>	<u>91</u>	<u>4</u>	<u>3100</u>	<u>0.27</u>	<u>837</u>	<u>0.11</u>	<u>4.89</u>	<u>1.52</u>
Gemiddelde	109	3	3875	0.26	989	0.11	5.11	1.59
Minimum	84	2	3100	0.23	837	0.07	3.29	1.02
Maximum	137	4	4250	0.27	1148	0.16	7.05	2.19

Samenvatting

In tabel 15 staat samengevat wat de waarde van organische stof in rundveemest en vleesvarkensmest is op basis van de vervangingswaarde van niet afvoeren van stro en de teelt van een groenbemester. Tussen de methoden zit nog een aanzienlijk verschil. Het telen van een groenbemester is per kg EOS goedkoper dan het afvoeren van stro en daardoor is de vervangingswaarde lager. De vraag is wel welke kosten bij de teelt van een groenbemester meegerekend worden. Als ook arbeid en machinekosten worden meegerekend zijn de kosten van een teelt van een groenbemester twee keer zo hoog als wanneer alleen de teeltkosten worden toegerekend.

Tabel 15 Waarde organische stof in mest op basis van vervanging van niet afvoeren stro en teelt van groenbemester.

Waardebepaling o.b.v.	Rundveemest (€/ton)	Vleesvarkensmest (€/ton)
Niet afvoeren stro	9.50 – 16.00	3.00 – 5.00
Teelt groenbemester met alleen teeltkosten	3.30 – 7.00	1.00 – 2.20
Teelt groenbemester met alle kosten	6.60 – 14.00	2.00 – 4.40

4.4 Waarde organische stof op basis van systeemproof Bodemkwaliteit op zand

Opzet proef

In het project Bodemkwaliteit op zandgrond worden sinds 2001 drie systemen met elkaar vergeleken:

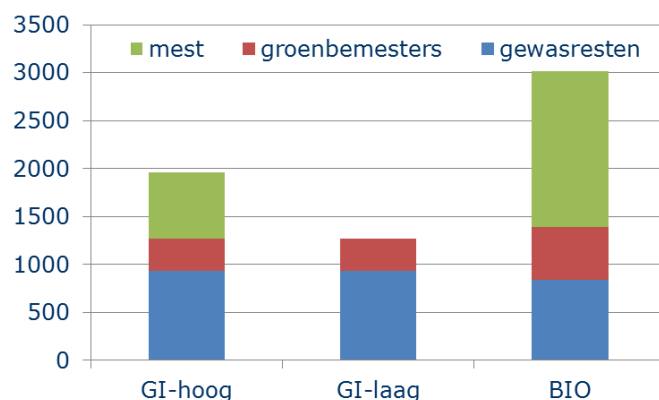
- Geïntegreerd systeem met aanvoer van organische stof uit dierlijke mest (GI-hoog). Bemesting met vleesvarkens- en rundveemest aangevuld met kunstmest.
- Geïntegreerd systeem zonder aanvoer van organische stof uit dierlijke mest (GI-laag). Bemesting met mineralenconcentraat van varkensmest en kunstmest.
- Biologisch systeem (BIO). Bemesting met vaste rundveemest, rundveedrijfmest aangevuld met vinassekali.

De bedrijfssystemen hebben sinds 2011 een zesjarige rotatie (tabel 16). Jaarlijks wordt de teelt geregistreerd en opbrengsten gemeten. In tabel 16 is ook de totale aanvoer aan EOS per gewas weergegeven. Deze verschilt tussen de systemen door verschil in aanvoer van organische mest en verschil in gewassen en groenbemesters. De aanvoer in het biologisch systeem is met ruim 3000 kg het hoogste en in GI-laag het laagste (figuur 1). Het verschil tussen GI-hoog en GI-laag is ruim 600 kg/ha.

Tabel 16 Gemiddelde aanvoer van totale effectieve organische stof (gewasresten, groenbemester en mest) per jaar in kg per ha tussen 2011 en 2014.

	GI-hoog	GI-laag	BIO
1 aardappelen + groenbemester (BIO)	1082	875	5000
2 erwit + gras (GI)/ grasklaver BIO	2243	2155	3102
3 prei	1775	450	954
4 zomergerst + groenbemester	2160	2185	3594
5 suikerbiet (GI)/ peen (BIO)	1463	1275	1707
6 mais + groenbemester	<u>3020</u>	<u>675</u>	<u>3759</u>
Rotatie	1957	1269	3019

Vetgedrukt met vaste mestgift

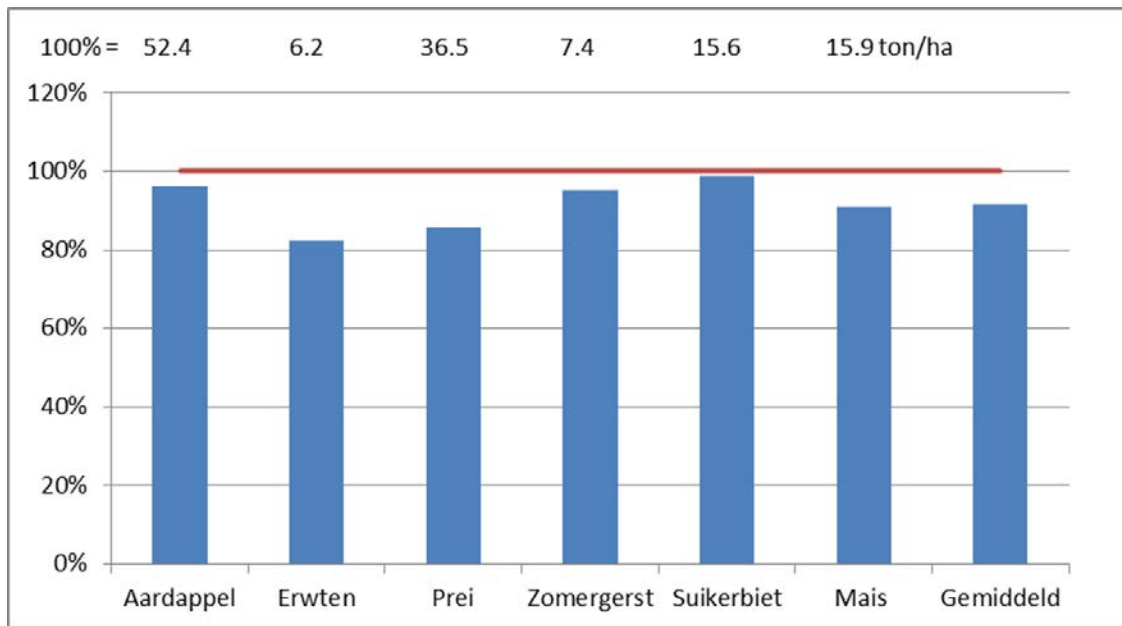


Figuur 1 Gemiddelde aanvoer effectieve organische stof per systeem 2011-2014 in kg per ha per jaar per aanvoerpost

Opbrengsten

Opbrengsten zijn jaarlijks van alle gewassen gemeten. Tot en met 2006 waren er geen duidelijke verschillen in opbrengsten. Sinds 2006 zijn er duidelijke verschillen in gewasstand. Sinds 2007 meten we ook duidelijke verschillen in opbrengst tussen GI-hoog en GI-laag al waren er ook enkele jaren met kleine verschillen. Gemiddeld genomen over de periode 2011-2014 is het verschil in opbrengst ca. 8%. De verschillen variëren tussen gewassen. Bij erwit is het verschil het grootst, 18%; bij suikerbiet het kleinst, 1% (figuur 2). Er is een aanzienlijke variatie in de verschillen in opbrengsten tussen jaren en de relatieve verschillen.

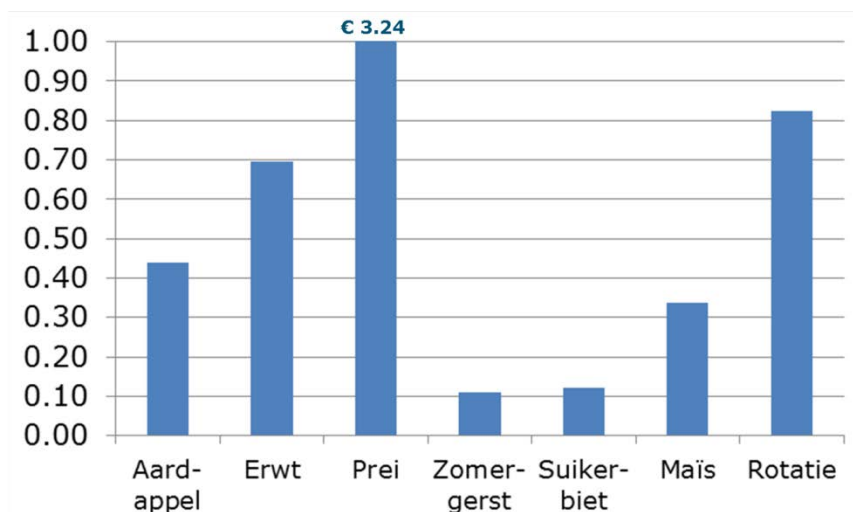
Wanneer het verschil in opbrengst per gewas vermenigvuldigd wordt met de opbrengstprijzen, kan een financieel verschil tussen de systemen berekend worden. Dit komt gemiddeld genomen voor de periode 2011-2014 op bijna €500 per ha uit. Dit bedrag is afhankelijk van het gewas en varieert van €65 per ha bij zomergerst tot €1942 per ha bij prei.



Figuur 2 De relatieve opbrengsten GI-laag ten opzichte van GI-hoog gemiddeld over periode 2011-2014. Opbrengst van GI-hoog is gesteld op 100%. De absolute opbrengsten van GI-hoog staan boven grafiek.

Waarde van organische stof

Wanneer het verschil in financiële opbrengst tussen GI-hoog en GI-laag gedeeld wordt door het verschil in EOS-aanvoer, kan de waarde van 1 kg EOS worden berekend. Voor het verschil in EOS-aanvoer wordt uitgegaan van 600 kg EOS. Hiermee wordt de waarde van 1 kg EOS €0.82 gemiddeld voor de hele rotatie. De effecten verschillen per gewas. Voor prei is deze door het grote financiële verschil tussen GI-hoog en GI-laag en de hoge opbrengstprijs wel €3.24. Voor zomergerst is deze slechts €0.11 (figuur 3).



Figuur 3 Waarde EOS in €/kg per gewas en gemiddeld voor de gehele rotatie.

Waarde rundveemest en vleesvarkensmest

Als de waarde van de organische stof vermenigvuldigd wordt met de hoeveelheid EOS in 1 ton organische mest, wordt een waarde van de organische mest verkregen (tabel 5). Deze is gemiddeld €12 per ton voor vleesvarkensmest en €37 per ton voor rundveemest. Er is ook hier nog steeds een grote gewasvariatie waarbij de gewassen met een hoge prijs en een relatief groot opbrengstverschil een hogere waarde voor de mest geven dan gewassen met een lage prijs en klein opbrengstverschil.

Tabel 17 Gemiddelde opbrengst gewassen in systeem GI-laag en GI-hoog, productprijs, extra bruto geldopbrengst gewassen en de hieruit volgende prijs van EOS en waarde van rundvee- en varkensmest.

	opbrengst GI-laag	opbrengst GI-hoog	meer- opbrengst GI-hoog	meer- opbrengst GI-hoog	prijs product	verhoging bruto geld- opbrengst GI-hoog	Prijs EOS	Waarde rundvee- mest	Waarde varkens- mest
	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(%)	(€/kg)	(€/ha)	(€/ha)	(€/ton)	(€/ton)
Aard- appel	50326	52353	2026	4%	0.13	263	0.44	20	6
Erwt	5146	6246	1099	18%	0.38	418	0.70	31	10
Prei	31268	36518	5249	14%	0.37	1942	3.24	146	45
Zomer- gerst	7084	7446	363	5%	0.18	65	0.11	5	2
Suiker- biet	34581	34989	408	1%	0.18	72	0.12	5	2
<u>Mais</u>	<u>14472</u>	<u>15911</u>	<u>1439</u>	<u>9%</u>	<u>0.14</u>	<u>201</u>	<u>0.34</u>	<u>15</u>	<u>5</u>
Rotatie				8%		494	0.82	37	12

4.5 Discussie berekeningswijze

De twee berekeningswijzen, vervangingswaarde (via stro en groenbemester) en de langjarige proef zijn fundamenteel verschillende wijze van berekenen. Waar de eerste methode kijkt naar kosten van alternatieven om organische stof aan te voeren kijkt de tweede methode naar opbrengstverschillen na langjarig een verschil tussen wel en geen organische stof met mest te hebben aangevoerd. Dit is beproefd op zandgrond en kan niet direct geëxtrapoleerd worden naar andere grondsoorten. Op zandgronden is organische stof de bron voor binding van water en nutriënten terwijl op zavel en kleigronden ook kleideeltjes hieraan bijdragen. Ook extrapolatie naar grasland is lastig omdat grasland van zichzelf al organische stof opbouwt terwijl akkerbouwgewassen juist netto organische stof afbreken.

De verschillende methoden van berekening van de waarde van organische stof leveren grote verschillen op in de waarde van organische stof variërend van €3.30 - 146 per ton voor rundveemest en €1 - 45 per ton voor vleesvarkensmest. Echter, wanneer de grote uitschieters eruit gehaald worden en vooral naar de akkerbouwgewassen (aardappel, zomergerst, suikerbiet en mais) gekeken wordt uit het tweede voorbeeld, wordt het prijsverschil kleiner: rundveemest tussen de €5 - 20 per ha (gemiddeld circa €10 per ton) en vleesvarkensmest tussen de €2 - 6 per ha (gemiddeld circa €3 /ton) en zijn de verschillen tussen de methodes relatief beperkt. De waarde van rundveemest is hoger dan van vleesvarkensmest door de grotere hoeveelheid EOS in rundveemest.

4.6 Waarde van mest voor de boer

De potentiële verkoopopbrengsten van producten uit mestraffinage, moeten worden afgezet tegen de waarde van mest die niet wordt geraffineerd, maar door een boer op grasland of bouwland wordt aangewend. De waarde van de mest voor de boer betreft de bemestende waarde (nutriënten) en de organische stof (EOS). Een overzicht van de waarde van de verschillende hoofdnutriënten (N, P, K) voor de beide mestsoorten is in tabel 18 weergegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen toepassing op grasland en bouwland, omdat de werkzaamheid van stikstof in de mest daarbij verschilt. Naast de hoofdelementen bevat mest ook semi-macro nutriënten (zwavel, magnesium) en micronutriënten (o.a. borium, mangaan, koper). Voor de totale waarde voor de akkerbouwer moet hierbij ook de EOS worden opgeteld (zie verder op in deze paragraaf).

Tabel 18 Waarde van drijfmest voor de boer op basis van uitsluitend de mineralen samenstelling (€ per ton mest)

Stof	Prijs ¹ (€/kg)	Toepassing	Melkveemest			Vleesvarkensmest		
			Gehalte (kg/ton)	Werkzaam ² (kg/ton)	Waarde (€/ton)	Gehalte (kg/ton)	Werkzaam ² (kg/ton)	Waarde (€/ton)
N	1.10	Grasland	4.10	2.02	2.22	7.10	4.10	4.50
		Bouwland	4.10	2.22	2.44	7.10	5.62	6.18
P ₂ O ₅	1.05	Grasl+bouwl	1.50	1.50	1.58	4.60	4.60	4.83
K ₂ O	0.65	Grasl+bouwl	5.80	5.80	3.77	5.80	5.80	3.77
Tot		Grasland			7.57			13.10
		Bouwland			7.79			14.78

1 Bron: KWIN 2014-2015

2 Bron: www.bemestingsadvies.nl

De kosten die voor de aanwending van drijfmest gemaakt moeten worden zijn laag, aangezien er altijd bemest moet worden. Eventueel is het nodig om bij een overschot aan mest deze te verplaatsen door een loonwerker. De kosten hiervoor drukken dan op de waarde van de mest.

Door aanscherping van de mestwetgeving is er in de praktijk veel aandacht voor een voldoende organische stofvoorziening. Hierbij wordt meestal het begrip Effectieve Organische Stof (EOS) gebruikt. Dat is de hoeveelheid toegediende organische stof die een jaar na toediening nog aanwezig is. Deze is te berekenen uit het gehalte en de humificatiecoëfficiënt waarvoor vuistgetallen beschikbaar zijn. Eerder in dit hoofdstuk is een tweetal methoden beschreven waarin de waarde van de organische stof is afgeleid. De resultaten worden hieronder samengevat. De waarde van de EOS in de mest is bepaald via de volgende twee methoden:

- 1) Vervangingswaarde van aanvoer van vergelijkbare hoeveelheid EOS door het achterlaten van stro na een graanteelt of de teelt van een groenbemester. In dit geval wordt de waarde van de EOS bepaald door de gedeerde inkomsten bij het niet verkopen van het stro of door de teeltkosten van een groenbemester.
- 2) Op basis van de langjarige proef "Bodemkwaliteit op zand" op PPO-locatie Vredepeel waarin diverse organische stofstrategieën worden vergeleken waaronder één met en één zonder gebruik van drijfmest beide bij eenzelfde gewasrotatie. In dit geval wordt de waarde van de EOS in mest berekend op basis van de verschillen in financiële opbrengst van de rotatie tussen de strategieën. De gepresenteerde getallen zijn een update van een eerdere flyer op dit onderwerp (Haan et al., 2015).

In tabel 19 zijn de resultaten samengevat. Als bij de teelt van een groenbemester alle kosten worden meegeteld dan zijn de uitkomsten globaal van dezelfde grootte orde. Gemiddeld bedraagt de waarde van rundmest voor de akkerbouwer €10-€13 per ton mest en voor varkensmest €2-€4 per ton mest. De waarde van rundveemest is hoger dan van varkensmest door de grotere

hoeveelheid EOS in rundveemest. Benadrukt moet worden dat de werkelijke behoefte en daarmee de waarde van de organische stof tevens afhangt van de specifieke bedrijfssituatie (grondsoort, bouwplan). De berekende waarde moeten slechts worden gezien als een indicatie. Deze waarden kunnen opgeteld worden bij de waarde op basis van de mineralenstelling zoals vermeld in tabel 18. Dat betekent dat runderdrijfmest dus op een totale waarde van €18-€21 per ton komt en varkensmest op €17-€19 per ton. Daarmee is runderdrijfmest dus aantrekkelijker dan varkensmest

Tabel 19 Waarde van organische stof in de mest zoals bepaald met de beschreven methoden in dit hoofdstuk.

Methode	Kosten organische stof (€/kg EOS)	Waarde rundermest ¹ (€/ton)	Waarde varkensmest ¹ (€/ton)
Vervangingswaarde			
- Stro achterlaten	0.29 (0.21-0.35)	13 (9.5-16)	4 (3-5)
- Groenbemester telen			
o Alleen teeltkosten ²	0.11 (0.07-0.16)	5 (3.3-7)	1.5 (1-2.2)
o Teelt, arbeid en machinekosten	0.22 (0.14-0.32)	10 (6.6-14)	3 (2-4.4)
Verschil in financiële opbrengst (op basis van akkerbouwgewassen)	0.22 (0.11-0.44)	10 (5-20)	3 (2-6)

1 Gebaseerd op EOS-gehalte van 45 kg/ton voor rundveemest en 14 kg/ton voor varkensmest

2 Kosten voor zaaizaad, meststoffen en diesel

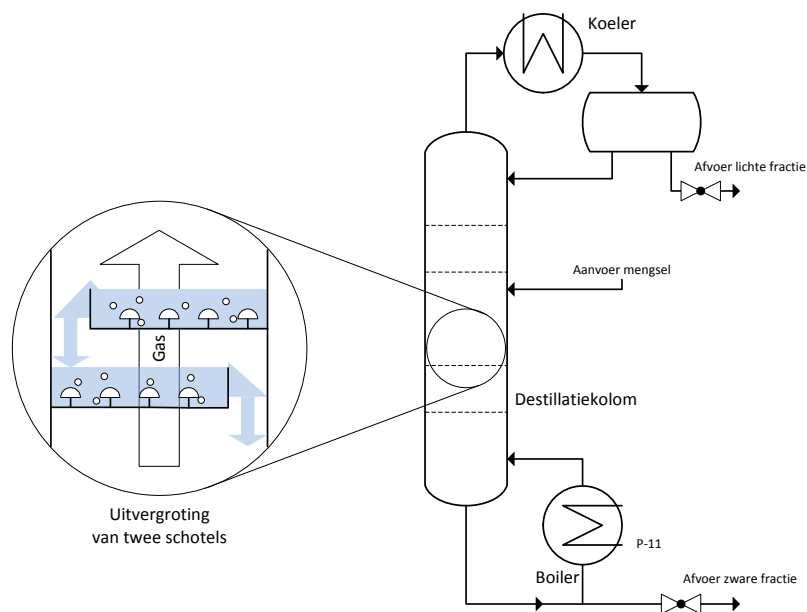
De generieke waarden zoals gegeven in de business case "waarde drijfmest voor de boer" dienen niet voor een vergelijking van bedrijfstypen en/of typen bemeste landbouwgronden. Deze business case geeft juist de uitgangssituatie voor het maken van een kritische afweging aangaande de levensvatbaarheid van de eerder gepresenteerde raffinage-scenario's.

5 Beschouwing van het perspectief voor raffinage van mest

Het organisch materiaal in mest is in de fase van afbraak en nog niet stabiel. Deze afbraak in mest kenmerkt zich door verschillende aerobe en anaerobe biochemische processen waardoor grotere organische moleculen worden afgebroken in meerdere kleinere moleculen. Uiteindelijk wordt een deel van de organische stoffen gemineraliseerd, dat wil zeggen omgezet in anorganische componenten die door plantenwortels kunnen worden opgenomen. Eventueel waardevolle organische tussenproducten in dit afbraakproces bevinden zich daarom in een complexe matrix van vrijwel identieke organische moleculen ('ouders en kinderen') met soortgelijke chemische kenmerken. Deze waardevolle stoffen zijn daarom bijzonder lastig in zuivere vorm af te scheiden van de mestmatrix. Bovendien kan de concentratie van deze stoffen afhankelijk zijn van de leeftijd van de mest. Het eindproduct van dit afbraakproces van mest is stabiele humus die niet is te onderscheiden van de humus in zwarte grond.

5.1 Verschil tussen raffineren van mest en aardolie

Er is een groot verschil tussen het raffineren van mest en aardolie. Bij aardolie wordt gedestilleerd, een proces waarbij de samenstellende delen puur op grond van hun kookpunt worden gescheiden in een destillatiekolom. Destillatiekolommen zijn voorzien van schotels (verdiepingen met gaatjes, zie figuur 4). Het vloeistofniveau op de schotels wordt in stand gehouden door de reflux-koeler bovenin de destillatiekolom, terwijl de gasstroom die door de gaatjes in de schotels stroomt in stand wordt gehouden door de opstroom in de (re-)boiler. De samenstelling van zowel damp als vloeistof is op elke schotel anders. Zwaardere componenten met een hogere kooktemperatuur blijven onderin de destillatiekolom, terwijl lichtere componenten met een lagere kooktemperatuur juist bovenin de destillatiekolom zijn te vinden.

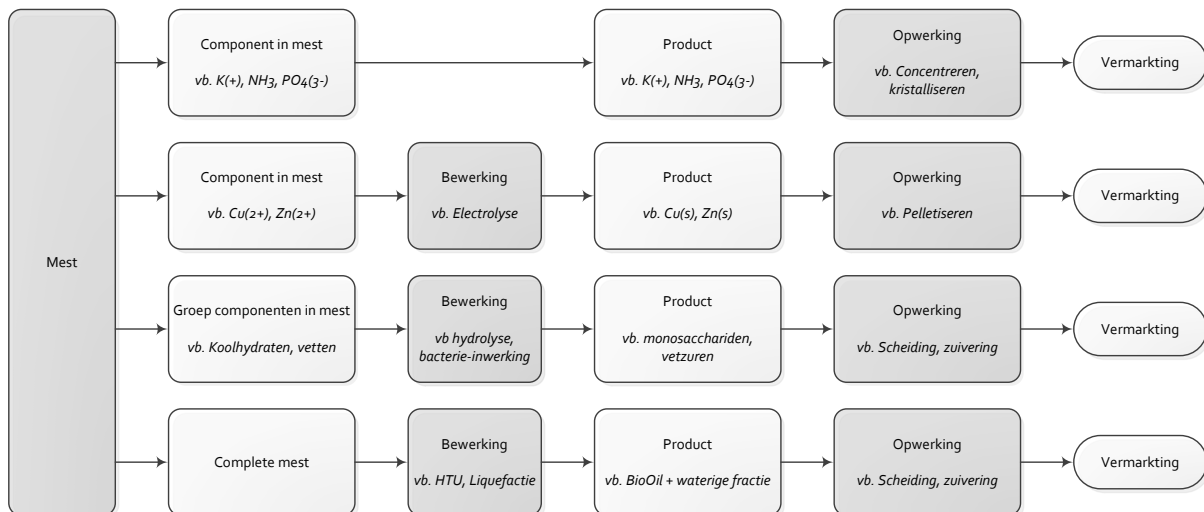


Figuur 4 Basisopstelling van een destillatiekolom met boiler en koeler. Inzet laat twee schotels zien met in blauw de naar beneden stromende vloeistoffase en in wit de door de bubble caps in tegenstroom stromende gasfase.

Bij mest is een destillatie systeem daarom niet mogelijk. Er zijn wel lichte componenten die met warmte uit de mest gehaald kunnen worden, maar zodra er voldoende water uit de mest is verdampt, wordt de mest pasteus en plakkerig, waardoor de benodigde processtromingen niet meer kunnen worden opgewekt door energietoevoer met behulp van de boiler. Bovendien zal de relatief grote hoeveelheid organische stof de zeefplaten grondig verstopen.

5.2 Overzicht van raffinage

Zoals eerder aangegeven, is mest een zeer divers mengsel van allerlei nuttige en potentieel-nuttige stoffen. Bij verwaarding van mest wordt dan ook vaak gesproken van vierkantsverwaarding, een totale verwaarding van de complete stroom, gelijk aan het destilleren van aardolie in allerlei nuttige brandstoffen.



Figuur 5 Overzicht van mogelijke manieren om mest te verwaarden (met in cursief enkele voorbeelden).

Het in figuur 5 geschetste overzicht geeft een overzicht langs welke paden componenten uit mest gewonnen kunnen worden. Van boven naar beneden kunnen hierin de volgende paden worden onderscheiden uitgaande van de volgende componenten:

- Componenten die al in de correcte chemische vorm aanwezig zijn in mest. Via mest opwerking dienen deze componenten geïsoleerd worden uit de mest, waarna in vele gevallen het product geconcentreerd dient te worden om het af te kunnen zetten op de markt. Een voorbeeld is de in mest aanwezige N, P en K.
- Componenten die in een afwijkende chemische vorm aanwezig zijn in mest. Na eventuele voorzuivering dienen deze stoffen via een bewerking eerst in een juiste vorm te worden gebracht, waarna verdere opwerking een product zou kunnen opleveren voor vermarkting. Een voorbeeld zijn zware metalen, die vaak als ionen in mest aanwezig zijn. Er zit geen pijpleidingen-koper in mest!
- Groepen van componenten in een afwijkende chemische vorm met een heterogene samenstelling. Na een bewerking ontstaat een mengsel van reactieproducten in de mest, welke via een serie aanvullende zuiveringsstappen opgewerkt dient te worden tot vermarktbaar producten. Een voorbeeld zijn onverteerde polysacchariden (lignine verbindingen) die na hydrolyse en/of bacteriewerking worden afgebroken tot een mengsel van monosacchariden in de mest.
- Ook de complete mest kan worden bewerkt met bijvoorbeeld HTU, of liquefactie technieken. Wederom dient verdere opwerking van het mengsel van reactieproducten te zorgen voor vermarktbaar producten.

De intrinsieke waarde van een in mest aanwezige component is gekoppeld aan de concentratie waarin deze voorkomt. Hierbij moet rekening gehouden worden met bewerkingen, omdat deze de concentratie kunnen verhogen (de uitgangskoncentratie monosacchariden in mest is nihil, maar door hydrolyse van polysacchariden kan deze bijvoorbeeld worden verhoogd). Ook zijn de eerder vermelde randvoorwaarden van toepassing, hetgeen inhoudt dat er verdere afbraak en/of omzettingen kunnen plaatsvinden in het verkregen mengsel van (hydrolyse-)producten in mest. Elk organisch eind- of tussenproduct in een mest matrix zal hieraan in meer of mindere mate aan onderhevig zijn, dit is inherent aan mest.

Zoals ook blijkt uit figuur 5, zijn er bij mest meerdere technieken nodig, gebaseerd op verschillende fysische kenmerken en/of principes, om vaak maar een deel van de waardevolle producten in handen te krijgen. De resterende stroom heeft dan nog steeds de karakteristieken van mest en valt daarom ook nog steeds onder de mestwetgeving, waardoor additionele verwerkingsstappen nodig zijn. Hierdoor komt vierkantsverwaarding onder druk te staan.

Om de intrinsieke waarde van mestcomponenten te kunnen exploiteren is raffinage nodig in meer of minder stappen van scheiding en zuivering, afhankelijk van de markt en de daarbij horende producten. De vraag is of mest voldoende intrinsieke waarde bevat (zoals vermeld in de tabellen 9, 10, 11 en 12) om voldoende rendement op de raffinagekosten te kunnen realiseren. Daarbij dient rekening gehouden te worden met het feit dat rendementen van 80% (zoals aangenomen in de tabellen 11 en 12) ambitieus zijn bij een complexe matrix als mest en aan de bovenkant liggen van wat realistisch is. Verder dienen de alternatieven voor afnemers in ogenschouw te worden genomen. Zo lijkt de meeste waarde te zitten in hemicellulose en cellulose, maar de vraag is of gebruikers van deze stoffen in opgezuiverde vorm momenteel een probleem hebben met de sourcing. Immers deze twee stoffen zijn in hoge mate aanwezig in veel biomassa grondstoffen als hout en stro. En in deze biomassa is de stof in hogere concentratie aanwezig terwijl deze biomassa beter gedefinieerd is en daarmee aantrekkelijker voor raffinage. Daarentegen hebben mest van runderen en varkens ten opzichte van andere reststromen het voordeel dat er grote stromen beschikbaar zijn van redelijk constante kwaliteit. Het nadeel is dat het drogestofgehalte relatief laag is zodat verwerking niet ver van de plaats van productie verwijderd kan zijn. Tenslotte moeten we ons realiseren dat de marktwaarden die gebruikt zijn in de tabellen 9-12 behoren bij productkwaliteiten die moeilijk uit mest of alleen tegen zeer hoge raffinagekosten te produceren zijn. Een goed voorbeeld is foodgrade producten die met die kwaliteit waarschijnlijk niet uit mest gewonnen kunnen worden. Dit geeft aan dat de opbrengstenkant eveneens ambitieus te noemen is.

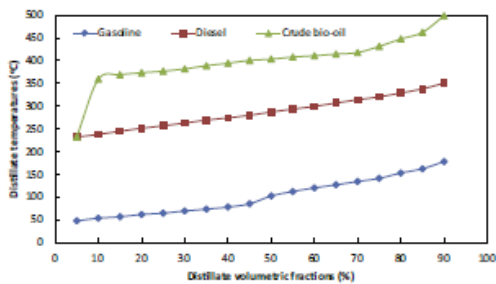
De vezels in mest zijn voor een deel polysacchariden (cellulose, hemicellulose) die potentieel geschikt zijn om bioethanol of zelfs andere chemische producten te maken via fermentatie. De vraag is echter de gehalten aan deze stoffen voldoende is voor een rendabel proces. De productie van ethanol uit digestaat is beschreven door Zhengbo et al (2009)⁶⁰ en later door Vancov et al (2015)⁶¹. De achtergrond hiervan is dat het proces van vergisting een voorbehandeling geeft die omzetting van cellulose naar ethanol efficiënter maakt. De auteurs gaan uit van de dikke fractie van digestaat als grondstof voor de ethanolproductie via fermentatie. Overigens kan fermentatie ook gebruikt worden voor de productie van andere grondstoffen voor de chemische industrie. Het bedrijf Panda heeft in 2008 in het Texaanse Hereford een fabriek gebouwd die ethanol uit mest zou maken. Inmiddels wordt deze fabriek gebruikt om ethanol uit maïs te produceren ten teken dat dit proces nog niet rendabel is. Het genoemde onderzoek dat van later datum is, laat ook zien dat de Hereford fabriek niet gebaseerd is op een voldragen innovatie. Aan de Universiteit van Wisconsin-Madison in de VS loopt onderzoek naar de verwaardingstap van het winnen van bioethanol uit vezels van polysacchariden (gestart in 2012).

5.3 Beschouwing bio-olie uit mest

Een alternatieve manier van mestverwerken is de afgelopen 10 jaar in ontwikkeling door medewerkers van de University of Illinois. Na hun resultaten met de liquefactie van algen biomassa tot ruwe bio-olie met 2,5 – 4,9 % N op 100 ml schaal,⁵⁴ zijn de onderzoekers daar nu bezig met de co-liquefactie van algen biomassa en varkensmest.⁵⁰ Het doel hierbij is het chemisch “op een hoop gooien” van de organische massa, en deze toegankelijk maken voor één doel: de vorming van brandstof.

Liquefactie is het vloeibaar maken van componenten. Hoogmoleculaire vaste componenten worden onder verhoogde temperatuur afgebroken tot een vaste massa en lichte moleculen. Een deel van de lichte moleculen (re-)polymeriseert tot een vloeibare ruwe bitumineuze bio-olie, die zichzelf afscheidt van de waterige fractie. De waterige fractie die overblijft wordt gerecycled naar de biomassa productie, de vaste fractie heeft kenmerken van asfalt. Omdat de proeven nog op kleine schaal zijn uitgevoerd is de toepassing van met name de waterige fractie nog onzeker.

Parallel aan bovengenoemd liquefactie onderzoek is de North Carolina A&T State University actief op het gebied van de co-liquefactie van glycerol en varkensmest.⁵⁵ Zij presenteerden als eersten een destillatie-curve van de verkregen bio-olie (figuur 6).



Figuur 6 Destillatie curves van de crude bio-olie geproduceerd uit de co-liquefactie van glycerol en varkensmest vergeleken met de curves van benzine (gasoline) en diesel. Uitgezet is de verkregen volumefractie (horizontaal) tegen de kooktemperatuur.

Zoals te zien is in figuur 6, liggen de kooktemperaturen van de componenten aanwezig in de geproduceerde biobrandstof nog aan de hoge kant. De destillatieproef toonde aan dat 90 % van de volumefractie van de biobrandstof een hoger kookpunt heeft dan de hoogst kokende component in normale dieselbrandstof. Een toepassing als zware stookolie voor schepen ligt daarom meer voor de hand dan de toepassing als brandstof voor vliegtuigen. De hoge stikstof- en zwavelgehalten (ca. 2 % resp. 1,5 %) beperken echter de toepassingsmogelijkheden van deze brandstof. Ook opwerking in een conventionele raffinaderij is problematisch, aangezien een hoog stikstofgehalte de gebruikte katalysatoren zal vergiftigen (gelijk aan de problemen bij de opwerking van schalieolie met stikstof gehalten tussen de 1 en 2 % N).

Mest bevat, in vergelijking met plantaardige biomassa, relatief hoge gehalten as, stikstof, zwavel en zouten. In onderzoek⁵⁶ naar toepassing van Hydro Thermal Upgrading (HTU, bij 330 °C en 180 Bar) op dikke fractie van vleesvarkensmest bleek dat de lichte brandstof die uit crude geproduceerd kon worden, hoge gehalten aan stikstof (5 %) en zwavel (2 %) te bevatten die toepassing als transportbrandstof bemoeilijkt. Een verdere zuivering is dan noodzakelijk.

Een kanttekening voor toepassing van de hierboven genoemde brandstoffen als scheepsbrandstof moet worden gemaakt. Op volle zee mocht tot 2012 nog stookolie met maximaal 4,5% zwavel

worden gebruikt. Dit is anno 2014 verlaagd naar 3,5% zwavel. Na 2020 moet dit gehalte zijn teruggebracht naar 0,5% zwavel.

6 Conclusies

De berekende potentiële verkoopopbrengsten op basis van het gemiddelde gehalten aan stoffen met de hoogste verkoopwaarde, een win-rendement van 80% en een opbrengstprijis van 80% van de marktwaarde zijn als volgt voor de hoofdcategorieën:

- Organische stof: € 16 – 31 per ton melkveemest; € 25 – 34 per ton vleesvarkensmest
- Amino-zuren: € 7 – 24 per ton melkveemest; € 16 – 46 per ton vleesvarkensmest
- Vluchtige vetzuren: € 2 – 5 per ton melkveemest; € 6 – 15 per ton vleesvarkensmest
- Mineralen: € 3 – 5 per ton melkveemest; € 4 – 8 per ton vleesvarkensmest
- Zware metalen: minder dan € 1 per ton melkvee- of vleesvarkensmest
- Antibiotica: minder dan € 0,01 per ton melkvee- of vleesvarkensmest
- Hormonen: minder dan € 0,01 per ton melkvee- of vleesvarkensmest

Op basis van de zeer lage potentiële verkoopopbrengsten zal de winning van zware metalen, antibiotica en hormonen niet haalbaar zijn. De categorieën organische stof, amino-zuren, vluchtige vetzuren en mineralen bieden de financieel de meeste ruimte voor terugwinning. Echter hierbij dient wel te worden gerealiseerd dat de eindproducten in de juiste zuiverheid geproduceerd dienen te worden. Aangezien dit veelal producten zijn van voedings- en/of medicinale kwaliteit, zal nader onderzocht moeten worden of deze stoffen wel geleverd kunnen worden tegen de aangegeven maximale prijs. Er dient ook een keuze te worden gemaakt voor een categorie stoffen die men wil terugwinnen in een bepaald winningsproces, want het is niet zo dat alle stoffen in een allesomvattend winningsproces eruit gehaald kunnen worden. Verder zijn win-rendementen van 80% ambitieus voor een complexe matrix als mest en tevens zijn er concurrerende alternatieve bronnen van biomassa beschikbaar om stoffen uit te winnen.

De potentiële verkoopopbrengsten van producten uit mestraffinage, moeten worden afgezet tegen de waarde van mest die niet wordt geraffineerd, maar door een boer op grasland of bouwland wordt aangewend. De waarde van de mest voor de boer betreft de bemestende waarde (nutriënten) en de organische stof (EOS). De totale waarde van de nutriënten (NPK) en organische stof (EOS) in de mest is:

- Rundveemest: €18 - 21 per ton
- Vleesvarkensmest: €17 - 19 per ton

De totale waarde van rundveemest is hoger dan van vleesvarkensmest, waardoor rundveemest aantrekkelijker is dan varkensmest. Wordt alleen gekeken naar de waarde van nutriënten (NPK) dan is varkensmest aantrekkelijker dan rundveemest en als alleen gekeken wordt naar organische stof (EOS) dan is rundveemest aantrekkelijker dan varkensmest.

Raffinage van mest voor het creëren van meerwaarde klinkt veelbelovend. Ja, er zitten componenten in mest die waardevol zijn in hun zuivere vorm. Echter, het economische plaatje dient wel te kloppen, niet alleen op basis van de daadwerkelijke gehalten, maar ook op basis van raffinage rendementen hetgeen afhankelijk is van de technologie. Een goede prijs krijg je als producent alleen maar voor producten van voldoende zuiverheid en kwaliteit. Ook de restproducten na het winnen van de waardevolle componenten moeten een plaats krijgen. Dit kan drukken op het resultaat, afhankelijk van de marktwaarde. In Nederland hebben mineralen een beperkte waarde, omdat er landelijk een mestoverschot is. En gezien de waarde van mest als meststof voor de boer zal toepassing van mest als meststof het belangrijkste afzetkanaal blijven voor mest.

Literatuur

1. Chen, S., et al., Value-added chemicals from animal manure, Washington State University and Pacific Northwest National Laboratory, Report 1, Richland, Washington, USA, 2003.
2. Timmerman, M., H.J.C. van Dooren, and G. Biewenga, Mestvergisting op boerderijschaal, Animal Sciences Group / Praktijkonderzoek, Praktijkrapport Varkens 42, Lelystad, 2005.
3. Timmerman, M., et al., Optimaliseren van mestvergisting, Animal Sciences Group Wageningen UR, Rapport 243, Wageningen, 2009.
4. Combalbert, S., et al., Fate of steroid hormones and multiple endocrine activities in agricultural waste treatment facilities, in RAMIRAN. 2010.
5. Wise, A., K. O'Brien, and T. Woodruff, Are oral contraceptives a significant contributor to the estrogenicity of drinking water? *Environmental Science & Technology*, 2011. 45: p. 51-60.
6. Gezondheidsraad, Hormoonontregelaars in ecosystemen, Gezondheidsraad, Den Haag, 1999.
7. Tamis, W.L.M., et al., Potentiële effecten van diergeneesmiddelen op het terrestrische milieu in Nederland, Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden, CML rapport 178, Leiden, 2008.
8. Lorimor, J.C., S.W. Melvin, and B.M. Leu, Nutrient characteristics of wastes from deep pits and anaerobic lagoons. 1975: p. 306-308.
9. Westerman, P.W., et al. Available nutrients in livestock waste. C3 - ASAE Publication. in *Agricultural Waste Utilization and Management, Proceedings of the Fifth International Symposium on Agricultural Wastes*. 1985. St. Joseph, MI, USA, Chicago, IL, USA: ASAE.
10. Kirchmann, H. and E. Witter, Composition of fresh, aerobic and anaerobic farm animal dung. 1992. 40(2): p. 137-142.
11. Genevini, P.L., V. Mezzanotte, and A. Garbarino, Analytical characterization of composts of different origins: Agronomic properties and risk factors of the environment. 1987. 5(4): p. 501-511.
12. Paul, J.W. and E.G. Beauchamp, Relationship between volatile fatty acids, total ammonia, and pH in manure slurries. 1989. 29(4): p. 313-318.
13. Balasubramanian, P.R. and R.K. Bai, Recycling of biogas-plant effluent through aquatic plant (*Lemna*) culture. 1992. 41(3): p. 213-216.
14. Rodríguez, L. and T.R. Preston, Use of effluent from low-cost plastic biodigesters as fertilizer for duck weed ponds. 1996. 8(2): p. 104-114.
15. Le, H.C., Biodigester effluent versus manure, from pigs or cattle, as fertilizer for duckweed (*Lemna* spp.). 1998. 10(3): p. 56-65.
16. Fallowfield, H.J., N.J. Martin, and N.J. Cromar, Performance of a batch-fed High Rate Algal Pond for animal waste treatment. 1999. 34(3): p. 231-237.
17. Koch Eurolab. Gemiddelde samenstelling organische meststoffen in bulk. Available from: <http://www.eurolab.nl/meststof-organisch-v.htm>.
18. Derikx, P.J.L., H.C. Willers, and P.J.W. Ten Have, Effect of pH on the behaviour of volatile compounds in organic manures during dry-matter determination. 1994. 49(1): p. 41-45.
19. Canh, T.T., et al., Influence of Dietary Factors on Nitrogen Partitioning and Composition of Urine and Feces of Fattening Pigs. 1997. 75(3): p. 700-706.
20. Westerman, P.W. and J.R. Bicudo, Tangential flow separation and chemical enhancement to recover swine manure solids, nutrients and metals. 2000. 73(1): p. 1-11.
21. Chastain, J.P., et al., Removal of solids and major plant nutrients from swine manure using a screw press separator. 2001. 17(3): p. 355-363.
22. Ra, C.S., et al., Biological nutrient removal with an internal organic carbon source in piggery wastewater treatment. 2000. 34(3): p. 965-973.
23. Nelson, N.O., R.L. Mikkelsen, and D.L. Hesterberg, Struvite precipitation in anaerobic swine lagoon liquid: Effect of pH and Mg:P ratio and determination of rate constant. 2003. 89(3): p. 229-236.
24. Dagnew, M.D., T.G. Crowe, and J.J. Schoenau, Measurement of nutrients in Saskatchewan hog manures using near-infrared spectroscopy. 2004. 46: p. 6.33-6.37.
25. Saeyes, W., P. Darius, and H. Ramon, Potential for on-site analysis of hog manure using a visual and near infrared diode array reflectance spectrometer. 2004. 12(5): p. 299-309.
26. Malley, D.F., et al., Compositional analysis of cattle manure during composting using a field-portable near-infrared spectrometer. 2005. 36(4-6): p. 455-475.

27. Singh, A. and J.R. Bicudo. Development of calibration curves for quick tests used in estimating nutrients from dairy wastes in Kentucky C3 - ASAE Annual International Meeting 2004. in ASAE Annual International Meeting 2004. 2004. Ottawa, ON.
28. Suresh, A., et al., Prediction of the nutrients value and biochemical characteristics of swine slurry by measurement of EC - Electrical conductivity. 2009. 100(20): p. 4683-4689.
29. Monzyk, B.F. and P.J. Usinowicz. The 21st century farm: Strategies for effective energy and product recovery C3 - Animal Agriculture and Processing: Managing Environmental Impacts. in Animal Agriculture and Processing: Managing Environmental Impacts. 2005. St. Louis, MO.
30. Geisert, B.G., et al., Phosphorus requirement and excretion of finishing beef cattle fed different concentrations of phosphorus. 2010. 88(7): p. 2393-2402.
31. Herrera, D., et al., Effect of dietary modifications of calcium and magnesium on reducing solubility of phosphorus in feces from lactating dairy cows. 2010. 93(6): p. 2598-2611.
32. González, C., P.A. García, and R. Muñoz, Effect of feed characteristics on the organic matter, nitrogen and phosphorus removal in an activated sludge system treating piggery slurry, in Water Science and Technology. 2009. p. 2145-2152.
33. Lu, L., et al., A reformed SBR technology integrated with two-step feeding and low-intensity aeration for swine wastewater treatment. 2009. 30(3): p. 251-260.
34. Moral, R., et al., Characterisation of the organic matter pool in manures. 2005. 96(2): p. 153-158.
35. Moral, R., et al., Estimation of nutrient values of pig slurries in Southeast Spain using easily determined properties. 2005. 25(7): p. 719-725.
36. Van Der Stelt, B., E.J.M. Temminghoff, and W.H. Van Riemsdijk, Measurement of ion speciation in animal slurries using the Donnan Membrane Technique. 2005. 552(1-2): p. 135-140.
37. Liao, W., et al., Acid hydrolysis of fibers from dairy manure. 2006. 97(14): p. 1687-1695.
38. Mondor, M., et al., Use of electrodialysis and reverse osmosis for the recovery and concentration of ammonia from swine manure. 2008. 99(15): p. 7363-7368.
39. Singh, K., et al., Effect of fractionation on fuel properties of poultry litter. 2008. 24(3): p. 383-388.
40. Curtis, S.B., et al., Biomining with bacteriophage: Selectivity of displayed peptides for naturally occurring sphalerite and chalcopyrite. 2009. 102(2): p. 644-650.
41. Das, D.D., et al., Chemical composition of acid-base fractions separated from biooil derived by fast pyrolysis of chicken manure. 2009. 100(24): p. 6524-6532.
42. Bevacqua, C.E., et al., Steroid hormones in biosolids and poultry litter: A comparison of potential environmental inputs. 2011. 409(11): p. 2120-2126.
43. Ciparis, S., L.R. Iwanowicz, and J.R. Voshell, Effects of watershed densities of animal feeding operations on nutrient concentrations and estrogenic activity in agricultural streams. 2012. 414: p. 268-276.
44. Cantrell, K.B., et al., Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. 2012. 107: p. 419-428.
45. Lin, Y., et al., Chemical and structural analysis of enhanced biochars: Thermally treated mixtures of biochar, chicken litter, clay and minerals. 2013. 91(1): p. 35-40.
46. Wileman, A., A. Ozkan, and H. Berberoglu, Rheological properties of algae slurries for minimizing harvesting energy requirements in biofuel production. 2012. 104: p. 432-439.
47. Zhou, W., et al., Novel fungal pelletization-assisted technology for algae harvesting and wastewater treatment. 2012. 167(2): p. 214-228.
48. Biller, P., C. Friedman, and A.B. Ross, Hydrothermal microwave processing of microalgae as a pre-treatment and extraction technique for bio-fuels and bio-products. 2013. 136: p. 188-195.
49. Asmare, A.M., B.A. Demessie, and G.S. Murthy, Investigation of microalgae co-cultures for nutrient recovery and algal biomass production from dairy manure. 2014. 30(2): p. 335-342.
50. Chen, W.T., et al., Co-liquefaction of swine manure and mixed-culture algal biomass from a wastewater treatment system to produce bio-crude oil. 2014. 128: p. 209-216.
51. Kangas, P. and W. Mulbry, Nutrient removal from agricultural drainage water using algal turf scrubbers and solar power. 2014. 152: p. 484-489.
52. Yan, C., et al., Influence of influent methane concentration on biogas upgrading and biogas slurry purification under various LED (light-emitting diode) light wavelengths using *Chlorella* sp. 2014. 69: p. 419-426.
53. Starmans, D.A.J. and M. Timmerman, Apparatus for the ammonium recovery from liquid animal manure. Applied Engineering in Agriculture, 2013. 29(5): p. 761-767.
54. Chen, W.-T., et al., Hydrothermal liquefaction of mixed-culture algal biomass from wastewater treatment system into bio-crude oil. Bioresource Technology, 2014. 152: p. 130-139.
55. Cheng, D., et al., Characterization of physical and chemical properties of the distillate fractions of crude bio-oil produced by the glycerol-assisted liquefaction of swine manure. Fuel, 2014. 130: p. 251-256.

56. De Buissonjé, F.E., et al., Perspectief van HTU voor mestverwerking (HTU = Hydro Thermal Upgrading), Wageningen UR Livestock Research, Report 320, Lelystad, 2010.
57. Haan, Janjo de, Joanneke Spruijt en Harry Versteegen. 2015. Waarde van organische stof in project Bodemkwaliteit op Zandgrond. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen UR. Lelystad.
58. Handboekbodemenbemesting.nl:
<http://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Organisch-stofbeheer/Organische-stof/Aanvoerbronnen-effectieve-organische-stof.htm>
59. KWIN-AGV. 2012 Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen UR. Lelystad. PPO Publicatienr. 486 ISSN 1571-3059.
60. Zheng, Yue, C. Teater, Y. Liu, J. MacLellan & W. Liao, 2010. A sustainable pathway of cellulosic ethanol production integrating anaerobic digestion with biorefining. *Biotechnology and Bioengineering*, 105 (6): 1031-1039.
61. Vancov, T., R.C.S. Scheinder, J. Palmer, S. McIntosh & R. Stuetz (2015). Potential of feedlot cattle manure for bioethanol production. *Bioresource Technology*, 183: 120-128.
62. Buissonjé, F.E. & R. Verheijen, 2014. Drijfmest verliest snel zijn waarde voor biogas. *V-Focus : vakblad voor adviseurs in de dierlijke sector*, 11(2): p. 20-21.

Bijlage 1: Historie van onderzoek naar meststoffen

Met de opkomst van mestoverschotten in de jaren zeventig, kwam er druk om de bemestende waarde van mest en mestproducten te beschrijven.^{8, 9} De nadruk lag met name op de concentratie stikstof en de verdeling tussen ammoniak en organisch gebonden stikstof (specificering), welke mede werd beïnvloed door versheid van de mest en de wijze waarop de mest werd bewaard,¹⁰ alsmede de invloed van compostering van de mest.¹¹ Tabel 21 geeft de globale samenstelling weer van diverse mestsoorten.¹⁷

Tabel 20 Mestsamenstellingen

Mestsoort	Dicht- heid (kg/d m ³)	DS (%)	OS (%)	N-tot (g/kg)	N-min (g/kg)	N-org (g/kg)	P ₂ O ₅ (g/kg)	K ₂ O (g/kg)	MgO (g/kg)	Na ₂ O (g/kg)	S (g/kg)
Vloeibare mest											
Rundvedrijfmest	1.005	8.6	6.4	4.4	2.2	2.2	1.6	6.2	1.3	0.7	0.7
Vleeskalverdrijfmest	1.000	2.0	1.5	3.0	2.4	0.6	1.5	2.4	1.0	1.0	0.2
Vleesvarkendrijfmest	1.040	9.0	6.0	7.2	4.2	3.0	4.2	7.2	1.8	0.9	0.6
Zeugendrijfmest	1.000	5.5	3.5	4.2	2.5	1.7	3.0	4.3	1.1	0.6	0.4
Kippendrijfmest	1.020	14.5	9.3	10.2	5.8	4.4	7.8	6.4	2.2	0.9	0.9
Rundveegier	1.030	2.5	1.0	4.0	3.8	0.2	0.2	8.0	0.2	1.0	0.8
Varkensgier	1.010	2.0	0.5	6.5	6.1	0.4	0.9	4.5	0.2	1.0	0.7
Zeugengier	1.020	1.0	1.0	2.0	1.9	0.1	0.9	2.5	0.2	0.2	0.2
Vaste mest											
Vaste rundveemest	0.900	24.8	15.0	6.4	1.2	5.2	4.1	8.8	2.1	0.9	0.2
Vaste varkensmest	0.800	23.0	16.1	7.5	1.5	6.0	9.0	3.5	2.5	1.0	0.6
Droge hennenmest	0.600	51.5	37.6	24.1	2.4	21.7	18.8	12.7	4.9	1.5	2.4
Kippenstrooiselmest	0.600	64.0	42.2	19.1	8.6	10.5	24.2	13.3	5.3	4.2	3.3
Vleeskuikenmest	0.600	60.5	50.8	30.5	5.5	25.0	17.0	22.5	6.5	3.0	3.6

Pas eind jaren tachtig werd er meer aandacht besteed aan overige bestanddelen van mest. De invloed van pH op vluchtige vetzuren en totaal ammoniak werd opgehelderd,¹² een eerste aanzet tot het recyclen van drijfmest effluenten na biogas productie werd onderzocht,¹³ en ook de toepassing van eendenkroos (*Lemna spp.*) voor het concentreren van stikstof en fosfaat in mest en digestaat werd onderzocht.¹⁴⁻¹⁶

Begin jaren negentig koppelde toenmalig IMAG overkoepelende fenomenen zoals vervluchtiging van vetzuren aan analysetechnieken van toen,¹⁸ en voersamenstelling aan de verdeling van stikstof over urine en feces.¹⁹ Een correcte bemonstering van drijfmest stond toen nog in de kinderschoenen. Ook kreeg mestscheiding en mestverwerking meer aandacht. De voornaamste zorg waren de hoeveelheid nutriënten (N en P) en de organische stof. Deze stoffen werden mechanisch,^{20, 21} via biologische weg (zuiveringsslib)²² of via precipitatie tot struviet (MAP-slib)²³ uit de mest gehaald.

Om de overgebleven mest beter te kunnen plaatsen (matchen met de vraag van geteelde gewassen) werden snelle meetmethoden voor N en P onderzocht zoals NIRS (nabij infrarood spectroscopie),²⁴⁻²⁶ en het meten van de geleidbaarheid.^{27, 28} Vanaf 2005 kwam er meer aandacht voor de overige stoffen in mest, waarbij de nadruk lag op het toepassen als energiebron en generiek hergebruik.²⁹ Tabel 21 geeft weer welke stoffen in mest door deze onderzoekers nader werden onderzocht.

Tabel 21 Specifieke stoffen uit mest die nader zijn onderzocht

Nr.	Mestproduct	Doel	Refs	Opmerkingen
1.	Organische stof	Rijpheid mest bepalen	³⁴ , ³⁵	Om graad van hergebruik vooraf te bepalen.
2.	Ion specificering	Plant beschikbaarheid kationen bepalen	³⁶	Scheiding met geladen membraan.
3.	Monosachariden	Zure afbraak lignocellulose	³⁷	Verdere scheiding nog wel nodig!
4.	Ammoniak	Maken stikstof meststof met electro-dialyse en omgekeerde osmose.	³⁸	Maximum 1.6 % N mogelijk, geen concurrentie voor de kunstmestindustrie.
5.	Droge stof	Verschil in verbrandingskarakteristiek tussen fijne en grove fractie kippenmest	³⁹	De manier van drogen heeft invloed op het resultaat.
6.	Zwavel verbindingen	Verrijking van ZnS, CuFeS ₂ door flotatie en binding met kleine kunstmatig gemaakte peptide ketens.	⁴⁰	De producten dienen nog additioneel gezuiverd en gedroogd te worden om te kunnen worden afgezet.
7.	Bio-olie mengsel	Fractionering van een 500 componenten tellende bio-olie uit pyrolyse van kippenmest.	⁴¹	De vier geïsoleerde fracties hebben elk nog een veelvoud aan verschillende organische verbindingen. Zuur- en water bevattend product.
8.	Steroiden en hormonen	Aantonen dat mestapplicatie een bron kan zijn van eerder gevonden steroiden en hormonen in run-off water.	⁴² , ⁴³	Gevonden concentraties in alkalisch gemaakte biosolids afkomstig van een rioolwaterzuivering: Oestron 2.5 – 21.7 ng / g DS Progesteron 2.5 – 470 ng / g DS Gevonden in kippenmest (\bar{x} van 12 boerderijen): Oestron 41.4 ng / g DS Oestron sulfaat 19.2 ng / g DS Progesteron 63.4 ng / g DS Geen winning van de gevonden materialen, alleen detectie.
9.	Biochar	Verbeterde C/Nutriënten beschikbaarheid voor gewassen door afbraak onder druk en bij hoge temperatuur.	⁴⁴ , ⁴⁵	Pyrolyse bij hoge (180-220°C) of hogere (350-700°C) temperatuur. Geen bemestende waarde aangetoond.
10.	Nutriënten - > Biomassa	Productie van biobrandstoffen uit algenmateriaal.	⁴⁶⁻⁵²	Concentreren van biomassa door het laten groeien van algenmateriaal ([biomassa] 0.5 – 80 kg / m ³). Restproduct: vervuild kweekwater.
11.	Ammoniak	Winning vloeibare stikstofmeststof.	⁵³	Alleen ammoniakale stikstof (60%) wordt verwijderd. Eindconcentratie geproduceerde meststof >15% N. Restproduct is mest.

Hiernaast werden methoden gezocht om de hoeveelheid nutriënten in mest terug te brengen door de dieren een aangepast dieet te laten volgen. Voeraanpassingen zoals het terugbrengen van de concentratie fosfor³⁰, verhoging van fosfor opname door het dier door toevoeging van het enzym fytase en hulpstoffen om fosfor te binden³¹ werden onderzocht. De desalniettemin met de mest uitgescheiden nutriënten (N en P) werden verwijderd door toepassing van processen met geactiveerd slib³² en aangepaste sequential batch reactoren (SBR's).³³

Bijlage 2: Overzicht traditionele mestproducten en hun toepassing

Tabel 22 Mestproducten en hun toepassingen

Nr.	Mestproduct	Bijproduct	Toepassingen	Opmerkingen
1.	Drijfmest van varkens en rundvee (mengsel van urine en feces)	Geen	Bemesting landbouwgrond	Gangbare bemestingspraktijk (na hygiëniseren ook export mogelijk)
2.	Feces en urine (afzonderlijk opgevangen)	Geen	Feces: bemesting landbouwgrond, compostering, droging Urine: bemesting landbouwgrond, stikstofterugwinning (zie 15.), struvietproductie (zie 13.)	In experimenteel stadium. Enige vermenging treedt altijd op onder praktijkomstandigheden.
3.	Vaste pluimveemest (vogels produceren geen vloeibare urine)	Geen	Bemesting landbouwgrond / verbranding / mestkorrels	Vanwege hoge fosfaatgehalten veelal export of verbranding. Hygiëniseren t.b.v. export niet noodzakelijk.
4.	Digestaat van (co)vergisting van minimaal 50 % drijfmest met coproducten	Biogas/Groen gas Zie 5.	Bemesting landbouwgrond	Gangbare bemestingspraktijk (na hygiëniseren ook export mogelijk)
5.	Biogas / Groen Gas (gezuiverd biogas)	Digestaat zie 4., CO ₂ bij productie Groen Gas	Opwekking elektriciteit + warmte in WKK, aardgasvervanging (productie van Groen gas en invoeding in aardgasnet)	Groene stroom, WKK-warmte en Groen Gas zijn subsidiabel (SDE)
6.	Vaste stalrest (feces met enige urine en strooisel)	Gier (vooral urine, zeer dunne mest)	Bemesting landbouwgrond	Vaste stalrest gewilde meststof in akkerbouw (na hygiëniseren ook export mogelijk)
7.	Dikke fractie uit scheiding van drijfmest of digestaat	Dunne fractie (ca. 80 % van drijfmestvolume)	Dikke fractie: vergisten, composteren, drogen, hygiëniseren, pelleteren Dunne fractie: zie 8.	Dikke fractie (60-80 % vocht) met hoog fosfaatgehalte vooral voor export (na hygiëniseren)
8.	Dunne fractie uit scheiding van drijfmest of digestaat	Dikke fractie (ca. 20 % van mestvolume)	Dunne fractie: vergisten, toepassen als meststof, biologisch zuiveren, membraan zuiveren Dikke fractie: zie 7.	Dunne fractie (> 95 % vocht) met lager fosfaatgehalte maar wel met stikstof en kali wordt voornamelijk toegepast als meststof in Nederland
9.	Gecomposteerde vaste pluimveemest of dikke mestfractie	N.v.t.	Bemesting landbouwgrond, productie mestkorrels (zie 11.)	Compostering geeft exportwaardig mestproduct met verhoogde mineralengehalten. Status 'dierlijke mest' en hoog fosfaatgehalte beperken toepassing in NL (concurrentie met Groencompost)
10.	Mineralenconcentraat uit	water (ca. 60 %	Mineralenconcentraat:	Mineralenconcentraat

	toepassing omgekeerde osmose op dunne mestfractie	van volume dunne fractie)	NK-bemesting landbouwgrond bovenop N-gebruiksnorm voor dierlijke mest (pilot project), Water: toepassing als reinigingswater, in luchtwasser of lozing op riool / opp.water	(nog ?) geen EU-erkenning als kunstmestvervanger. Voor lozing water op oppervlaktewater is nazuivering m.b.v. ionenwisselaar noodzakelijk
11.	Mestkorrels (gepelleteerde gedroogde/gecomposteerde pluimveemest of gedroogde/gecomposteerde dikke fracties)	N.v.t.	Bemesting landbouwgrond na export (hygiënisatie noodzakelijk voor varkens- en rundveemest)	Geconcentreerde, stabiele organische meststof t.b.v. tuincentra en export
12.	As van verbranding vaste pluimveemest	Geen	Export, productie meststoffen	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O-MgO 0-12-12-5 (%)
13.	MAP-slib = struviethoudend slib uit dunne mestfractie of urine (zuiver struviet = NH ₄ MgPO ₄ ·6H ₂ O)	Dikke fractie en dunne fractie of urine met verlaagd fosfaatgehalte	Bemesting landbouwgrond. Uit mest geproduceerd struviet bevat ook organische stof: MAP-slib (Magnesium-Ammonium-Fosfaat-slib)	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O-MgO 6-29-0-16 (%) Zuiver struviet wordt niet uit mest geproduceerd. Hoog fosfaatgehalte maakt toepassing in NL problematisch
14.	Calciumfosfaatslib Ca ₃ (PO ₄) ₂ in organische matrix	Dikke fractie en dunne fractie met verlaagd fosfaatgehalte	Bemesting landbouwgrond	Geen vraag naar fosfaatrijk slib in Nederland
15.	Spuiwater : ammonium-sulfaatoplossing uit behandeling ammoniakhoudende luchtstroom met chemische luchtwasser met verdund zwavelzuur	Luchtstroom met verlaagd ammoniakgehalte	N-bemesting landbouwgrond (spuiwater is in NL erkend als kunstmestvervanger)	Hoog zwavelgehalte beperkt gebruik op landbouwgrond (zwavelbemestingsadvies max. 50 kg S/ha/jaar ≈ circa 1 ton spuiwater/ha/jr)
16.	Gewassen vezels uit rundveemest / olifantenmest / pandamest	Mest met minder vezels, verontreinigd waswater	Productie van bijzonder papier, productie van suikers uit lignine en cellulose	Wordt vanwege hoge productiekosten niet toegepast in EU
17.	Vluchtige vetzuren (azijnzuur, propionzuur, etc.) uit drijfmest of dunne mestfractie	Drijfmest of dunne mestfractie met lagere gehalten aan vluchtige vetzuren	Zuivere vluchtige vetzuren kunnen in velerlei toepassingen worden gebruikt.	Niet rendabele productie uit mest vanwege lage concentraties in mest en hoge kosten voor winning en zuivering t.o.v. huidige industriële productiewijze

