

Berekeningen emissies en economie voor verschillende scenario's voor verwaarding van rundveemest

NL Next Level Mestverwaarden

Luuk Gollenbeek, Jos van Gastel, Flavia Casu, Iris Huisman, Nico Verdoes

Openbaar
Rapport 1372

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Berekeningen emissies en economie voor verschillende scenario's voor verwaarding van rundveemest

NL Next Level Mestverwaarden

1 Wageningen Livestock Research
2 Promillicon

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en Promillicon, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Agrifirm, Darling Ingredients International, De Heus Voeders, VanDrie Group, FrieslandCampina en ForFarmers

Wageningen Livestock Research
Wageningen, mei 2022

Openbaar

Rapport 1372

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

[redacted] 2022. *Berekeningen emissies en economie voor verschillende scenario's voor verwaarding van rundveemest; NL Next Level Mestverwaarden.* Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1372.

Samenvatting NL In het kader van het project NL Next Level mestverwaarden is onderzoek uitgevoerd naar emissies, massabalansen en kosten voor verschillende mestbewerkingsopties op rundveebedrijven. Hiervoor zijn een emissiemodel en een massabalans en kostenraming voor mestverwerking opgesteld. Er zijn scenario's doorgerekend, waarbij vooral gekeken is naar verschillende stalsystemen (sneller mest afvoeren, emissie reducerende maatregelen en scheiding urine en feces) in combinatie met al dan niet mestbewerken en wat daarvan de effecten zijn op ammoniak en broeikasgasemissies vanaf het uitscheiden van mest tot en met de aanwending van mestproducten.

Summary EN As part of the NL Next Level manure valorization project, research has been carried out into emissions, mass balances and costs for various manure processing options on cattle farms. An emission model and a mass balance and cost estimate for manure processing have been drawn up for this purpose. Scenarios have been calculated, mainly looking at different housing systems (faster manure removal, emission-reducing measures and separation of urine and faeces) in combination with and without manure processing, and their effects on ammonia and greenhouse gas emissions from excretion of manure to the application of manure products.

Dit rapport is gratis te downloaden op https://doi.org/10.18174/569408 of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2022
De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1372

Inhoud

Woord vooraf **7**

Samenvatting **8**

1 Inleiding **13**

1.1 Aanleiding 13
1.2 Doel 14

2 Beschrijving varianten en uitgangspunten **15**

2.1 Bedrijfstypen 15
2.2 Beschrijving van de scenario's 15

3 Methode **19**

3.1 Algemeen 19
3.2 Uitwerken massabalansen en kostenramingen 19
3.3 Berekening emissies 20
3.4 Implementatie 22

4 Optimalisatie biogasproductie **23**

5 Resultaten massabalansen, economie en emissies intensieve bedrijven **26**

5.1 Regulier (referentiescenario) zonder mestverwerking (scenario 1) 26
5.1.1 Emissies 26
5.1.2 Massabalansen 26
5.1.3 Investeringen en exploitatie 26
5.2 Regulier + monovergisten (scenario 2) 27
5.2.1 Emissies 27
5.2.2 Massabalansen 27
5.2.3 Investeringen en exploitatie 27
5.2.4 Gevoeligheid exploitatie 28
5.3 Regulier + monovergisten + strippen (scenario 3) 28
5.3.1 Emissies 28
5.3.2 Massabalansen 29
5.3.3 Investeringen en exploitatie 29
5.3.4 Gevoeligheid exploitatie 30
5.4 Regulier + verdunnen + strippen (scenario 4.1) 30
5.4.1 Emissies 30
5.4.2 Massabalansen 30
5.4.3 Investeringen en exploitatie 31
5.4.4 Gevoeligheid Exploitatie 31
5.5 Regulier + verdunnen + strippen+ monovergisten (scenario 4.2) 32
5.5.1 Emissies 32
5.5.2 Massabalansen 32
5.5.3 Investeringen en exploitatie 33
5.5.4 Gevoeligheid exploitatie 33
5.6 Dagontmesting (scenario 5) 33
5.6.1 Emissies 33
5.6.2 Massabalansen 34
5.6.3 Investeringen en exploitatie 34

5.7 Dagontmesting + monovergisten (scenario 6) 34
5.7.1 Emissies 34
5.7.2 Massabalansen 34
5.7.3 Investeringen en exploitatie 35
5.7.4 Gevoeligheid exploitatie 35
5.8 Dagontmesting + monovergisten + strippen (scenario 7) 36
5.8.1 Emissies 36
5.8.2 Massabalansen 36
5.8.3 Investeringen en exploitatie 36
5.8.4 Gevoeligheid exploitatie 37
5.9 Scheiden urine + feces (scenario 8) 37
5.9.1 Emissies 37
5.9.2 Massabalansen 38
5.9.3 Investeringen en exploitatie 38
5.10 Semi-dichte vloer + onder afzuiging (scenario 9.1) 38
5.10.1 Emissies 38
5.10.2 Massabalansen 38
5.10.3 Investeringen en exploitatie 39
5.10.4 Gevoeligheid exploitatie 39
5.11 Semi-dichte vloer + onder afzuiging + monovergisten (scenario 9.2) 40
5.11.1 Emissies 40
5.11.2 Massabalansen 40
5.11.3 Investeringen en exploitatie 40
5.11.4 Gevoeligheid exploitatie 41
5.12 Overzicht resultaten scenario's 42
5.12.1 Emissies 42
5.12.2 Kostenramingen 44
5.13 Methaanemissie door enterische fermentatie 46

6 Resultaten massabalansen, economie en emissies extensieve bedrijven 48

6.1 Regulier (referentie scenario 1) 48
6.1.1 Emissies 48
6.1.2 Massabalansen 48
6.1.3 Investeringen en exploitatie 48
6.2 Regulier + monovergisten (scenario 2) 49
6.2.1 Emissies 49
6.2.2 Massabalansen 49
6.2.3 Investeringen en exploitatie 49
6.2.4 Gevoeligheid exploitatie 50
6.3 Regulier + verdunnen + strippen (scenario 4.1) 50
6.3.1 Emissies 50
6.3.2 Massabalansen 51
6.3.3 Investeringen en exploitatie 51
6.3.4 Gevoeligheid exploitatie 52
6.4 Regulier + verdunnen + strippen + monovergisten (scenario 4.1) 52
6.4.1 Emissies 52
6.4.2 Massabalansen 52
6.4.3 Investeringen en exploitatie 53
6.4.4 Gevoeligheid exploitatie 53
6.5 Dagontmesting (scenario 5) 54
6.5.1 Emissies 54
6.5.2 Massabalansen 54
6.5.3 Investeringen en exploitatie 54
6.6 Dagontmesting + monovergisten (scenario 6) 54
6.6.1 Emissies 54
6.6.2 Massabalansen 55

6.6.3 Investeringen en exploitatie 55
6.6.4 Gevoeligheid exploitatie 55
6.7 Scheiden urine + feces (scenario 8) 56
6.7.1 Emissies 56
6.7.2 Massabalansen 56
6.7.3 Investeringen en exploitatie 57
6.8 Semi-dichte vloer + onder afzuiging (scenario 9.1) 57
6.8.1 Emissies 57
6.8.2 Massabalansen 57
6.8.3 Investeringen en exploitatie 58
6.8.4 Gevoeligheid exploitatie 58
6.9 Semi-dichte vloer + onder afzuiging + monovergisten (scenario 9.2) 58
6.9.1 Emissies 58
6.9.2 Massabalansen 59
6.9.3 Investeringen en exploitatie 59
6.9.4 Gevoeligheid exploitatie 59
6.10 Overzicht resultaten scenario's 60
6.10.1 Emissies 60
6.10.2 Kostenramingen 63
6.11 Methaanemissie door enterische fermentatie 65

7 Discussie 67

7.1 Biogasopbrengst in relatie tot ouderdom mest 67
7.2 Haalbaarheid monovergisten in relatie tot schaalgrootte 67
7.3 Groengas en samenwerking bij monovergisting 68
7.4 Effect energieprijzen 68
7.5 Nauwkeurigheid ramingen en emissiemodel 69
7.6 Uitgangspunten bedrijfssystemen 70
7.7 Emissiefactoren uit Regeling ammoniak en veehouderij 71
7.8 Melkveesector 71

8 Conclusies 72

Literatuur 73

Bijlage 1 Uitgangspunten emissieberekeningen 74

Bijlage 2 Uitgangpunten en kengetallen BBPR 80

Bijlage 3 Stroomschema's emissieberekeningen 82

Bijlage 4 Resultaten broeikasgasemissies 88

Bijlage 5 Processchema's mestverwerkingsroutes en massabalansen 90

Bijlage 6 Detaillering kostenramingen 110

Bijlage 7 Uitgangspunten kostenramingen 118

Bijlage 8 Toetsing uitgangspunten modellering methaanproductie 120

Bijlage 9 Voorbeeldberekening vermeden kosten mestafzet en aankoop kunstmest 123

Woord vooraf

De Nederlandse veehouderij produceert niet alleen hoogstaande producten zoals vlees en zuivel, maar ook de in potentie waardevolle reststroom mest. Dierlijke mest van goede kwaliteit is met name van groot belang voor het sluiten van kringlopen, in een klimaatvriendelijke, circulaire voedselproductie. Zes bedrijven in de agrarische sector (Agrifirm, Darling Ingredients International, ForFarmers, Royal Friesland Campina, Van Drie Group en De Heus) hebben, samen met Wageningen University & Research, het Nederlands Centrum Mestverwaarding (NCM) en het ministerie van LNV, de handschoen opgepakt om tot een transitie rond mest en bemesting te komen. Deze transitie is gericht op het verwaarden van mest tot marktrijpe organische en anorganische bemestingsproducten voor afzet in de land- en tuinbouw in Nederland en daarbuiten.

Op basis van de inzichten tot nu toe en de verwachte ontwikkelingen in de verschillende dossiers (stistof, broeikasgassen, gasproductie, kringlooplandbouw) onderzoeken we binnen dit project op welke wijze mestverwaarding kan bijdragen aan deze ontwikkelingen, wat daarvan de kosten zijn en hoe dat georganiseerd moet worden. De kernvraag binnen het project is: Op welke wijze kan mestverwaarding bijdragen aan kringlooplandbouw, en aan de reductie van ammoniak- en broeikasgasemissies? Voor de varkenshouderij en de kalverhouderij zijn deze studies reeds verschenen. Het onderzoek voor de rundveehouderij ligt voor u.

Het onderzoeksprogramma NL Next Level Mest Verwaarden is een Publiek Private Samenwerking. Het voorliggende onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en Promillicon. De auteurs danken de financiers voor hun deskundige begeleiding van het onderzoek. Die dank geldt ook voor alle mensen en personen die in het kader van deze studie zijn geconsulteerd.

Namens het onderzoeksteam,

[redacted] projectleider.

Samenvatting

Doel van deze studie is het effect te bepalen op de N-kringloop en op de emissies wanneer mestbewerking op het melkveebedrijf (mestscheiding en productie kunstmestvervangers) wordt toegepast met normale drijfmest (opslag) als referentie. Met deze kennis kan worden geduid op welke wijze de N-kringloop optimaal is en de emissies minimaal.

Het betreft dus een eerste haalbaarheidsscan van verwerkingsscenario's voor de rundveehouderij met een indicatie van de mestverwerkingsprijs (business case) en methaan- en stikstofbalans. Via berekeningen in de verschillende scenario's worden onder meer de volgende vragen beantwoord:

1. Welk gevolg heeft het gebruik van dagverse rundveemest op de mestverwaardingsketen?
2. Wat betekent het gebruik van gescheiden urine en feces fracties voor het verwaarden van de mest?
3. Welke potentiële mestverwaardingstechnieken zijn beschikbaar voor de melkveehouderijbedrijven op het bedrijf?
4. Wat zijn de verwachte effecten op emissies van ammoniak en broeikasgassen voor alle gedefinieerde mestverwaardingsroutes.

Er is in Nederland een grote variatie in melkveebedrijfstypen, in deze studie is gekozen om scenario's voor twee typen bedrijven door te rekenen: een intensief en een extensief bedrijf op zandgrond. De uitgangspunten voor beide bedrijfstypen zijn samengevat in tabel S.1. In alle scenario's wordt uitgegaan van mestbewerking op het eigen bedrijf. De kengetallen van het intensieve en extensieve bedrijf zijn door het computerprogramma Bedrijfs Begrotings Programma Rundvee (BBPR) berekend. Er is gerekend met een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien (een gemiddeld bedrijf omvat circa 110 melkkoeien) omdat verwacht wordt dat mestbewerking op locatie haalbaarder wordt indien de bedrijfsschaal groter is.

Tabel S.1 *Uitgangspunten en kengetallen intensief en extensief bedrijf uit BBPR.*

Uitgangspunten / kengetallen	**Intensief**	**Extensief**
Aantal melkkoeien	250	250
Aantal stuks jongvee	175	175
Melkproductie (kg/koe/jaar)	9000	9000
Oppervlakte (ha)	100	180
Verhouding grasland/bouwland	80/20	80/20
Weidegras in rantsoen	nee	ja
Weidegang (uur)	0	798*
Totale mestproductie (ton)**	9004	8206
Gehalte N-totaal in mest (g/kg)	4,0	4,3
Gehalte P_2O_5 in mest (g/kg)	1,5	1,6
Mestafzet naar derden	ja	nee

* 798 uur = 120 dagen, 6 uur per dag.

** In verband met verschillen in het rantsoen is er ook sprake van een verschillende mestproductie. Het gaat hier om het totaal geproduceerd in stal en weide inclusief spoelwater, strooisel en voerresten. En voor alle aanwezige dieren op het bedrijf.

Op basis van de kennis vergaard in Gollenbeek et al. (2020, 2021a en 2021b) zijn scenario's uitgewerkt en zijn parameters verzameld voor verdere berekeningen. De scenario's (zie tabel S.2) zijn zo gekozen dat de onderzoeksvragen hiermee onderzocht worden en dat een goede vergelijking met referentie situaties (zonder verdere mestverwerking) gemaakt kan worden.

Tabel S.2 *Samenvatting uitgewerkte scenario's en belangrijkste verschillen in uitgangspunten.*

Scenario	**Mestverwerking**	**Gemiddelde ouderdom melkveemest bij vergisten (dagen)**	**Emissiefactor (RAV) kg/per dierplaats/jaar**	**Reductie percentage***
1 Regulier geen vergisting**	Nee	n.v.t	13	-
2 Regulier + monovergisting**	Ja	36	13	-
3 Regulier + monovergisten + N strippen	Ja	36	13	-
4.1 Regulier + verdunnen + strippen**	Ja	n.v.t	4.9	62%
4.2 Regulier + verdunnen + monovergisting + strippen**	Ja	36	4.9	62%
5. Dagontmesting geen vergisting**	Nee	n.v.t	7	46%
6. Dagontmesting + monovergisting**	Ja	1	7	46%
7. Dagontmesting +monovergisting + strippen	Ja	1	7	46%
8. Scheiding urine/feces **	Nee	n.v.t	8	38%
9.1 Semi dichte vloer + onder afzuiging + strippen**	nee	n.v.t	3.6	72%
9.2 Semi dichte vloer + onder afzuiging + strippen + monovergisten**	Ja	1	3.6	72%

* Dit is de reductie ten opzichte van scenario 1.

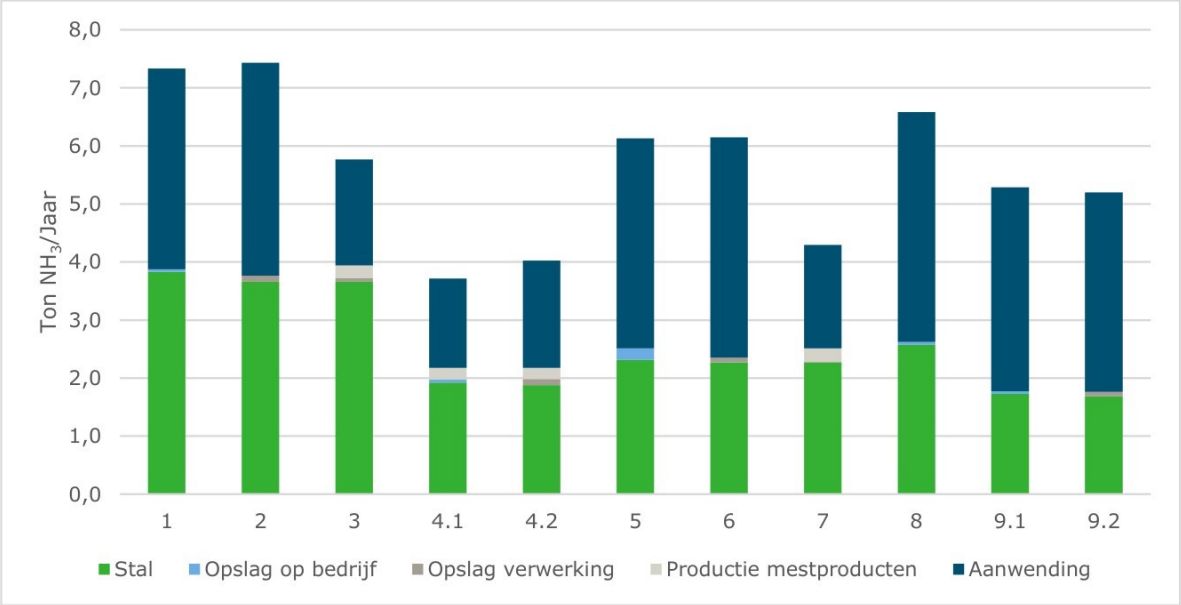
** Deze scenario's zijn voor zowel intensief en extensief, waarbij voor de extensieve scenario's beweiding is meegenomen.

Er is een massabalansmodel en economisch model mestverwerking en een emissiemodel opgesteld die gekoppeld zijn aan elkaar. Uit de gemodelleerde mestverwerking komen de gegevens voor 'emissies uit mestverwerking' en de samenstellingen van de producten met betrekking tot emissies tijdens het aanwenden. Op basis van de mestverwerking massabalansen zijn de economische berekeningen uitgevoerd.

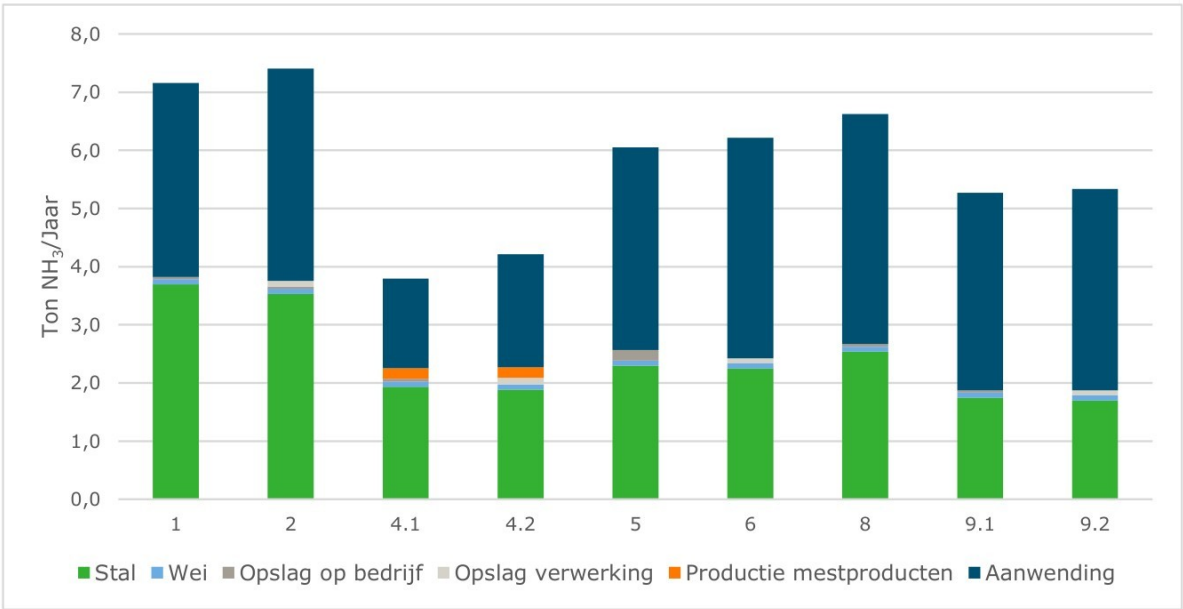
Op basis van de uitgevoerde modelstudie wordt geconcludeerd dat:

- De emissie reducerende maatregelen Regulier + verdunnen + strippen' en 'Semi-dichte vloer + onder afzuiging' (scenario's 4.1, 4.2 en 9.1, 9.2) leiden tot hoge ammoniak reducties in de stal. De meerkosten van dergelijke systemen zijn echter wel hoger dan de opbrengsten uit bespaarde kunstmest en bespaarde mestafvoerkosten (zie figuren S.1 en S.2).
- Aanwenden van digestaat leidt modelmatig tot een toename van de ammoniakemissie ten opzichte van drijfmest vanwege het hogere gehalte ammoniumstikstof in het digestaat. Praktijkmetingen ontbreken (zie figuren S.1 en S.2).
- Door het strippen van de ammoniumstikstof uit het digestaat kan de ammoniakemissie bij aanwending effectief worden verminderd.
- Toepassing van vergisting biedt perspectief ten aanzien van de verlaging van methaanemissies in de keten en daarmee ook verlaging van de CO_2 equivalenten. Dit perspectief is het grootst bij huisvestingssystemen met dagontmesting. Dagontmesting leidt ook tot hoogste biogasopbrengsten bij het vergistingsproces (zie figuren S.3 en S.4).

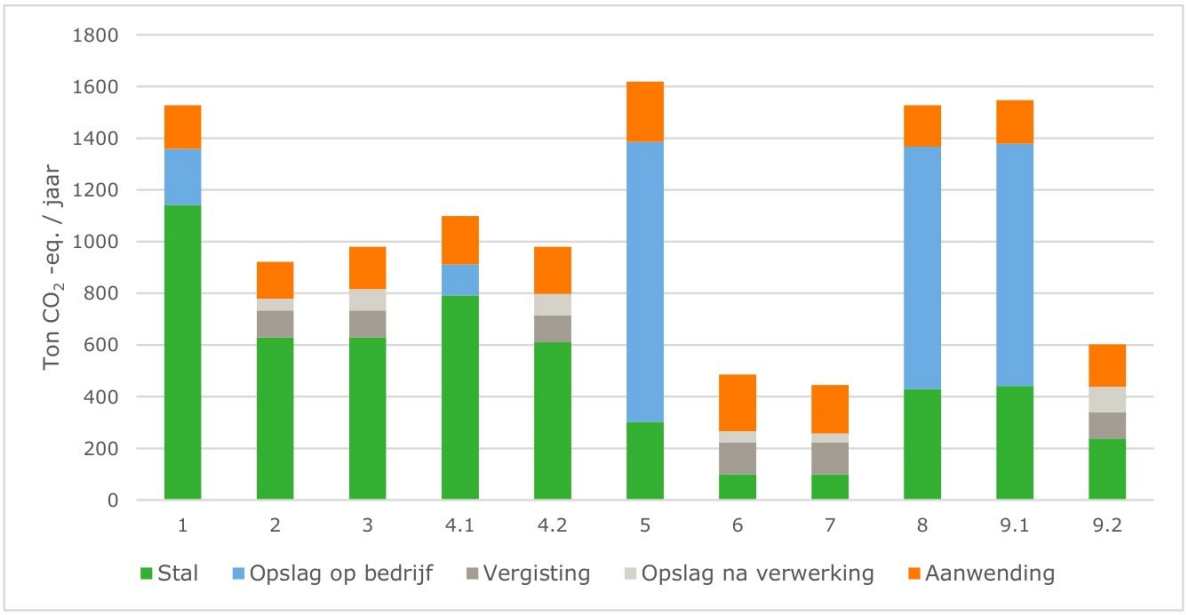
- Het scheiden van urine/gier en feces leidt niet tot economische voordelen, het verlagen van de ammoniak emissie in de stal is de belangrijkste winst (zie tabel S.3).
- In deze studie gehanteerde uitgangspunten ligt de minimale bedrijfsomvang waarbij toepassing van vergisting en strippen bij stalsystemen met dagontmesting een positieve exploitatie leveren, op ca. 250 melkkoeien (intensieve bedrijven) (zie tabel S.3).



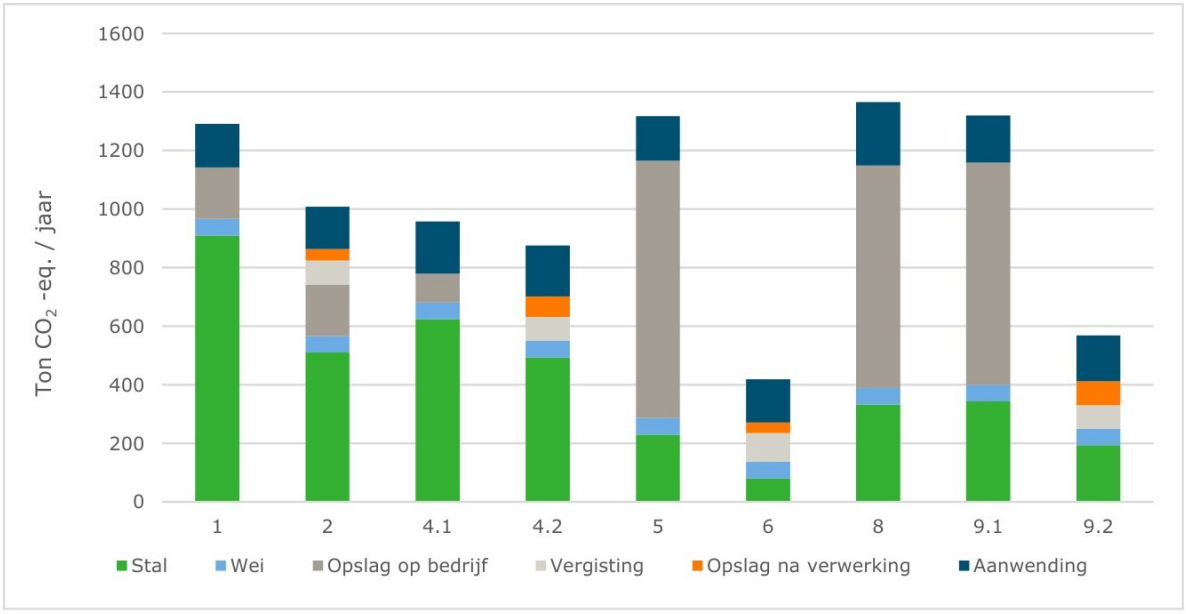
Figuur S.1 *Ammoniakemissies (ton NH_3/jaar) per scenario intensief.*



Figuur S.2 *Ammoniakemissies (ton NH_3/jaar) per scenario extensief.*



Figuur S.3 *Broeikasgasemissies (ton CO_2-eq./jaar) per scenario intensief.*



Figuur S.4 *Broeikasgasemissies (ton CO_2-eq./jaar) per scenario extensief.*

Tabel S.3 Overzicht investeringen en resultaat exploitatie. *Meerkosten ten opzichte van referentie (scenario 1).*

	Scenario	Bedrijf	Eenheid	Intensief	Extensief
1	Regulier	Investering	k€	-	-
		Opbrengsten	€/melkkoe	-	-
2	Regulier + monovergisting	Investering	k€	421	405
		Opbrengsten	€/melkkoe	74	-1
3	Regulier + monovergisting + strippen	Investering	k€	622	x
		Opbrengsten	€/melkkoe	-74	x
4.1	Regulier + verdunnen + strippen	Investering	k€	303	303
		Opbrengsten	€/melkkoe	-284	-304
4.2	Regulier + verdunnen + strippen	Investering	k€	728	711
	+ monovergisten	Opbrengsten	€/melkkoe	-197	-289
5	Dagontmesting	Investering	k€	34	34
		Opbrengsten	€/melkkoe	-13	-13
6	Dagontmesting + monovergisting	Investering	k€	462	445
		Opbrengsten	€/melkkoe	156	63
7	Dagontmesting + monovergisting	Investering	k€	660	x
	+ strippen	Opbrengsten	€/melkkoe	-22	x
8	Scheiding urine/feces	Investering	k€	40	40
		Opbrengsten	€/melkkoe	-15	-15
9.1	Semi-dichte vloer + onderafzuiging	Investering	k€	300	300
		Opbrengsten	€/melkkoe	-259	-236
9.2	Semi-dichte vloer + onderafzuiging	Investering	k€	727	710
	monovergisting	Opbrengsten	€/melkkoe	-165	-225

- Referentie
x Niet berekend

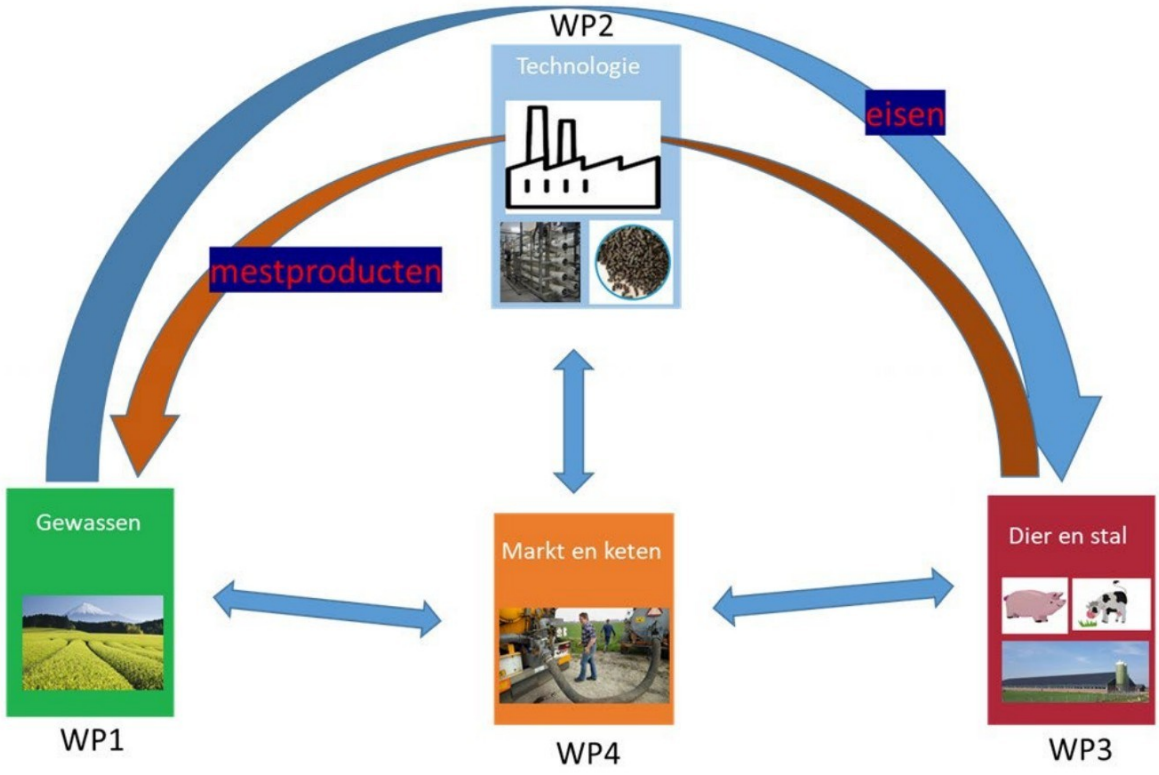
1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het onderzoeksprogramma Next Level Mest Verwaarden wordt gewerkt vanuit de vraag naar producten uit dierlijke mest. Het programma wil emissiearme bemestingsproducten ontwikkelen die bijdragen aan een goede bodemkwaliteit. Waarmee de noodzaak van aanvullend bemesten met kunstmest afneemt.

He onderzoeksprogramma is opgedeeld in de volgende werkpakketten (zie ook figuur 1.1):

- WP1 Gewassen: welke productmarktcombinaties (PMC's) hebben landbouwkundig gezien toekomst in binnen- en buitenland?
- WP2 Technologie: welke technologie en technologische ontwikkelingen zijn nodig om die producten te maken?
- WP3 Dier en stal: welke behandeling van mest op de boerderij is nodig om een goede grondstof te kunnen leveren voor hoogwaardige producten?
- WP4 Markt en keten: welke interventies zijn nodig in de huidige markt en mestketen om een stabiele mest verwaardingsketen te ontwikkelen?



Figuur 1.1 *Schematische weergave van werkpakketten in programma Next Level Mest Verwaarden.*

Deze rapportage valt onder werkpakketten 2 'Technologie' en 3 'Dier en stal'. In (Gollenbeek et al., 2020) zijn voor de varkenshouderij mogelijke mestverwaardingsroutes gedefinieerd en berekend. Een nadere studie naar deze routes in combinatie met stalmaatregelen (primair scheiden en dagverse afvoer van mest) is gerapporteerd in Gollenbeek et al. (2021a). Vervolgens verscheen een studie voor de kalverhouderij (Gollenbeek et al., 2021b). Echter voor deze diersectoren is steeds uitgegaan van

mestverwaarden op een centrale locatie en afzet van de mestproducten naar binnen- en buitenland. We verwachten geen centrale grootschalige mestverwerking in de rundveehouderij, wel (lokale) mestscheidingsinstallaties installaties op bedrijfsniveau. Met de opgedane kennis en modellen kan worden uitgewerkt wat de economisch en milieukundig optimale mestbewerking is op rundveebedrijven (bron/stal/bedrijfsniveau, uitwerking WP3).
Uit de eerdere studies bleek dat alleen het verwaarden van dagverse mest en het gescheiden afvoeren van urine en feces uit de stal de business case voor mestverwaarden kan verbeteren en de emissies substantieel kunnen verminderen. Dit staat dan ook centraal bij de opgestelde scenario's.

1.2 Doel

Doel van deze studie is het effect te bepalen op de N-kringloop en op de emissies wanneer mestbewerking op het bedrijf (mestscheiding en productie kunstmestvervangers) wordt toegepast met normale drijfmest (opslag) als referentie. Met deze kennis kan worden geduid op welke wijze de N kringloop optimaal is en de emissies minimaal van een aantal bewerkingsstappen, waarbij mestbewerkingsmaatregelen op het bedrijf zijn genomen. Ook kan de kennis worden gebruikt in de beleidsvorming om innovaties in stallen te verplichten, te stimuleren c.q. te subsidiëren. Het kan tevens dienen als input bij de herziening van het mestbeleid.

Het betreft dus een eerste haalbaarheidsscan van verwerkingsscenario's voor de rundveehouderij met een indicatie van de mestverwerkingsprijs (business case) en methaan- en stikstofbalans. Via berekeningen in de verschillende scenario's worden onder meer de volgende vragen beantwoord:

1. Welk gevolg heeft het gebruik van dagverse rundveemest op de mestverwaardingsketen?
2. Wat betekent het gebruik van gescheiden urine en feces fracties voor het verwaarden van de mest?
3. Welke innovatieve mestverwaardingstechnieken zijn beschikbaar voor de melkveehouderijbedrijven?
4. Wat zijn de verwachte effecten op emissies van ammoniak en broeikasgassen voor alle gedefinieerde mestverwaardingsroutes.

2 Beschrijving varianten en uitgangspunten

2.1 Bedrijfstypen

Het nieuwe mestbeleid heeft onder andere als focus om de melkveehouderij grondgebonden te maken, waardoor mest of geheel op eigen land zal worden aangewend, of via leveringsovereenkomsten met afnemers in de regio zal worden afgevoerd. Wanneer rundveedrijfmest wordt gescheiden bij de bron, kan de dikke fractie worden afgevoerd naar een centrale verwerking, maar melkveehouders zullen vooral pogen een kringloop op eigen bedrijf te creëren. Daarom is voor een aantal typen bedrijven uitgewerkt hoe die kringloop met zo laag mogelijke emissies op melkveebedrijven gestalte kan krijgen.

Er is in Nederland een grote variatie in bedrijfstypen, in deze studie is gekozen om de scenario's voor twee typen bedrijven door te rekenen: een intensief en een extensief bedrijf op zandgrond. De uitgangspunten voor beide bedrijfstypen zijn samengevat in tabel 2.1 en in bijlage 2 is een uitgebreide uiteenzetting weergegeven. In alle scenario's wordt uitgegaan van mestbewerking op het eigen bedrijf. Omdat bewerking van mest na vergisting niet voor alle bedrijven rendabel is, zijn bepaalde scenario's, waarin mest na vergisting verder wordt verwerkt in verschillende mestproducten, alleen doorgerekend voor intensieve bedrijven. De verschillende scenario's zijn in paragraaf 2.2 beschreven. De kengetallen van het intensieve en extensieve bedrijf zijn door het computerprogramma Bedrijfs Begrotings Programma Rundvee (BBPR) berekend.

Tabel 2.1 *Uitgangspunten en kengetallen intensief en extensief bedrijf uit BBPR.*

Uitgangspunten / kengetallen	**Intensief**	**Extensief**
Aantal melkkoeien	250	250
Aantal stuks jongvee	175	175
Melkproductie (kg/koe/jaar)	9000	9000
Oppervlakte (ha)	100	180
Verhouding grasland/bouwland	80/20	80/20
Weidegras in rantsoen	nee	ja
Weidegang (uur)	0	798*
Totale mestproductie (ton)	9004	8206
Gehalte N-totaal in mest (g/kg)	4,0	4,3
Gehalte P_2O_5 in mest (g/kg)	1,5	1,6
Mestafzet naar derden	ja	nee

* 798 uur = 120 dagen, 6 uur per dag.

** In verband met verschillen in het rantsoen is er ook sprake van een verschillende mestproductie. Het gaat hier om het totaal geproduceerd in stal en weide inclusief spoelwater, strooisel en voerresten. En voor alle aanwezige dieren op het bedrijf.

2.2 Beschrijving van de scenario's

In deze paragraaf zijn de verschillende scenario's beknopt beschreven. In totaal zijn er negen scenario's, waarvan scenario vier en negen verschillende varianten hebben (met en zonder monomestvergisting). Hierbij is rekening gehouden met de inzet van innovatieve technologie (kennis uit WP2). Voor de opslag van mest en mestproducten (inclusief digestaat) is voor alle scenario's uitgegaan van een totale opslagduur en -capaciteit van 6 maanden. In tabel 2.1 staan deze scenario's samengevat. Als basis is de werkwijze uit Gollenbeek et al. (2020, 2021a en 2021b) aangehouden. De scenario's zijn zo gekozen dat de onderzoeksvragen hiermee onderzocht worden en dat een goede

vergelijking met referentie situaties, (zonder verdere mestverwerking) gemaakt kan worden. In hoofdstuk 4 wordt in het bijzonder ingegaan op het organische stofgehalte en het biogaspotentieel op het moment van invoeren in de vergister. In tabel 2.1 zijn de uitgangspunten weergegeven betreffende mestverwerking, ouderdom mest bij vergisten en de stalsystemen uit de verschillende scenario's. Scenario's 3 en 6 zijn alleen uitgewerkt voor de intensieve variant, omdat verwacht werd dat de meerwaarde van verdere mestverwaarding bij een extensief bedrijf laag is.

Regulier geen verwerking (1)
Dit scenario dient als referentiescenario, waar drijfmest van melkvee en jongvee niet verder wordt verwerkt en als zodanig wordt afgezet in de landbouw. De melkkoeien worden in een standaard huisvestingssysteem gehouden (RAV-code A1.100) waar de drijfmest 6 maanden wordt opgeslagen in de kelder onder de betonroostervloer alvorens het wordt aangewend. De gemiddelde ouderdom van de drijfmest bij aanwenden is dan 3 maanden.

Regulier + monovergisten (2)
In dit scenario wordt drijfmest, dat via een betonroostervloer naar de kelder gaat, verwerkt op het bedrijf. Opslagduur in de kelder is 72 dagen waarna het, samen met de jongveedrijfmest via een luchtdichte tussenopslag naar een monovergister wordt gebracht. De gemiddelde ouderdom van de melkveedrijfmest bij invoeren van de drijfmest in de vergister is dan 36 dagen. In de vergister wordt de mest verwarmd en gemixt om biogas te produceren, waarbij de verblijftijd in de vergister 50 dagen is. Een totale opslagopslagcapaciteit van 6 maanden is aangehouden voor drijfmest en digestaat. Het digestaat wordt in een silo opgeslagen en gebruikt voor bemesting. Het biogas wordt verbrand in een warmte kracht koppeling (WKK) om elektriciteit en warmte te genereren. Het digestaat wordt afgezet in de landbouw.

Regulier + monovergisten + strippen (3)
Dit scenario is gelijk aan scenario 2, echter wordt het digestaat verder verwerkt. Na vergisting vindt mechanische scheiding plaats, waarna de ammoniak in de dunne fractie met behulp van een ammoniakstripper uit de vloeistof wordt verwijderd en met behulp van een luchtwasser wordt opgevangen in zwavelzuur. Dit levert een kunstmestvervanger (ammoniumsulfaat) op voor gebruik op eigen land. Het biogas wordt verbrand in een warmte kracht koppeling (WKK) om elektriciteit en warmte te genereren. De kunstmestvervanger wordt opgeslagen in een kunststof luchtdichte silo en de dikke fractie in een sleufsilo. De kunstmestvervanger, dunne fractie en dikke fractie worden afgezet in de landbouw (deels op eigen bedrijf, deels bij derden). Dit scenario is alleen voor het intensieve bedrijf uitgewerkt.

Regulier + verdunnen + strippen (4.1 zonder monovergisting en 4.2 met monovergisting)
Dit scenario bestaat uit twee varianten (met en zonder monovergisten) waarin de melkkoeien op een roostervloer zijn gehuisvest. De drijfmest wordt mechanisch gescheiden waarna ammoniak uit de dunne fractie wordt gestript door middel van het toevoegen van base en de ammoniak wordt uit de lucht verwijderd met een luchtwasser. De ammonium arme fractie wordt gebruikt om de roosters te spoelen, door middel van een mestrobot, en de drijfmest in de mestkelder te verdunnen. De gestripte ammoniak wordt in een luchtwasser opgevangen en kan als kunstmestvervanger worden ingezet (scenario 4.1), waarbij de dikke fractie als zodanig wordt toegepast op het land. In scenario 4.2 wordt de drijfmest gescheiden en de dikke fractie wordt direct naar een monovergister getransporteerd, waarbij het digestaat als zodanig wordt afgezet in de landbouw. De dunne fractie wordt net als bij 4.1 gestript en wordt gebruikt als spoelwater over de roostervloer.

Dagontmesting, geen verwerking (5)
Bij dit scenario wordt drijfmest dagelijks uit de stal verwijderd (via een schuif op een dichte vloer) en extern opgeslagen op het bedrijf (huisvestingssysteem volgens RAV code A1.21). De drijfmest van melkvee en jongvee wordt 6 maanden opgeslagen en daarna afgezet in de landbouw. Dit is tevens een scenario om het effect van monomestvergisting (scenario 6 en 7) en verdere mestverwerking inzichtelijk te maken.

Dagontmesting + monovergisten (6)

In dit scenario wordt drijfmest elke dag verwijderd uit de stal en direct naar de monovergister gebracht. De gemiddelde ouderdom van de drijfmest bij het invoeren in de vergister is 1 dag. Het huisvestingssysteem is gelijk aan scenario 5 (schuif op een dichte vloer). Tevens wordt de jongveedrijfmest in de vergister gevoerd (iedere maand). De opslagcapaciteit van de vergister en mestsilo van het digestaat is in totaal 6 maanden. Het digestaat wordt als zodanig afgezet in de landbouw.

Dagontmesting + monovergisten + strippen (7)
Dit scenario is gelijk aan scenario 6, echter wordt het digestaat verder verwerkt. Na vergisting vindt mechanische scheiding van het digestaat plaats, waarbij de dunne fractie verder wordt verwerkt tot ammoniumsulfaat (zie scenario 3). Het kunstmestvervanger en de dunne en dikke fractie worden afgezet in de landbouw. Dit scenario is alleen voor het intensieve bedrijfstype uitgewerkt.

Scheiden urine en feces (8)
Dit scenario betreft een dichte vloer met drainage voor de urine naar de kelder (huisvestingssysteem volgens RAV-code A1.18). De feces worden verzameld doormiddel van een schuif of mestrobot en wordt apart opgeslagen. De dikke fractie wordt gemengd met jongveedrijfmest alvorens het wordt aangewend, en de urine/gier fractie wordt als zodanig afgezet.

Semi-dichte vloer + onder afzuiging (9.1 zonder monovergisting en 9.2 met monovergisting)
In dit scenario wordt drijfmest bij de bron gescheiden met een semi dichte vloer. De urine komt in een kelder onder de vloer terecht en de feces worden met een mestrobot afgevoerd naar een externe opslag. In de stal wordt de kelderlucht afgezogen maar door gaatjes in de vloer wordt ook lucht boven de roosters afgezogen. Door de onderdruk in de mestkelder (opslag urine) worden de emissies afgevangen. De afgezogen lucht wordt gereinigd van ammoniak met een luchtwasser met zwavelzuur (eventueel kan ook salpeterzuur gebruikt worden, er is met zwavelzuur gerekend). Aangenomen is dat het ontstane spuiwater gebruikt mag worden als een kunstmestvervanger. De kunstmestvervanger wordt in een afgesloten silo opgeslagen. De feces wordt in een mestsilo opgeslagen en wordt gemengd met de jongveedrijfmest. De urine/gier fractie die in de kelder blijft, wordt passief gestript en wordt als zodanig aangewend.
In scenario 9.2 wordt de feces vergist, wat een dikker digestaat oplevert. De gemiddelde ouderdom van de feces is 1 dag. Dit scenario is voor zowel het intensieve als extensieve bedrijf doorgerekend.

Tabel 2.2 *Samenvatting uitgewerkte scenario's en belangrijkste verschillen in uitgangspunten.*

Scenario	**Mestverwerking**	**Gemiddelde ouderdom melkveemest bij vergisten (dagen)**	**Emissiefactor (RAV) kg/per dierplaats/jaar**	**Reductie percentage***
1 Regulier geen vergisting**	Nee	n.v.t	13	-
2 Regulier + monovergisting**	Ja	36	13	-
3 Regulier + monovergisten + N strippen	Ja	36	13	-
4.1 Regulier + verdunnen + strippen**	Ja	n.v.t	4.9	62%
4.2 Regulier + verdunnen + monovergisting + strippen**	Ja	36	4.9	62%
5. Dagontmesting geen vergisting**	Nee	n.v.t	7	46%
6. Dagontmesting + monovergisting**	Ja	1	7	46%
7. Dagontmesting +monovergisting + strippen	Ja	1	7	46%
8. Scheiding urine/feces **	Nee	n.v.t	8	38%
9.1 Semi dichte vloer + onder afzuiging + strippen**	nee	n.v.t	3.6	72%
9.2 Semi dichte vloer + onder afzuiging + strippen + monovergisten**	Ja	1	3.6	72%

* Dit is de reductie ten opzichte van scenario 1. Regulier zonder vergisten, voor de scenario's met dagontmesting geld scenario 5. Dagontmesting geen vergisting als referentie. Aangenomen is dat de emissies in de jongveestal gelijk blijven. De jongveestal wordt dus niet emissiearm uitgevoerd.

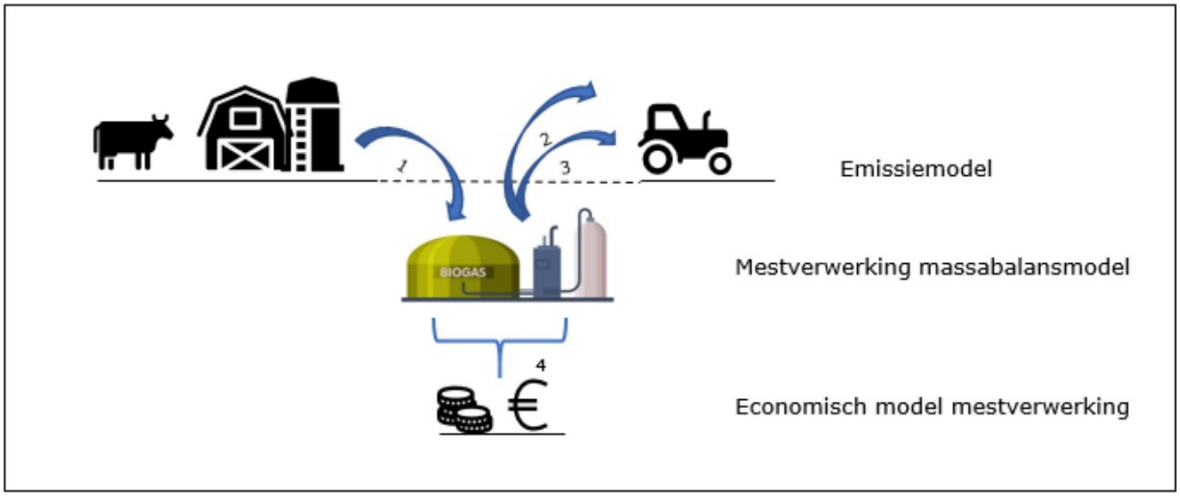
** Deze scenario's zijn voor zowel intensief en extensief, waarbij voor de extensieve scenario's beweiding is meegenomen.

3 Methode

3.1 Algemeen

Er is gekozen voor het berekenen van de samenstellingen van feces en urine onder de staart van het dier. Omdat de effecten van bijvoorbeeld versere mest op de vergisting (en daarmee het financiële voordeel) uitgaande van standaard waarden niet goed inzichtelijk werden. Dit wijkt af van benaderingen in andere modellen waar veelal gerekend wordt met gemiddelde samenstellingen drijfmest omdat deze samenstelling ten behoeve van mesttransporten veelvuldig bepaald wordt in Nederland.

Het emissiemodel, de massabalans en de economische berekening zijn (na separaat opgezet te zijn) gekoppeld aan elkaar. Dit houdt in dat de samenstelling van de mest die op het bedrijf wordt bewerkt zoals is berekend in het emissiemodel als input wordt gebruikt in het massabalansmodel (zie figuur 2.1 pijl 1). De emissies van de mestverwerking worden andersom weer bepaald op basis van de gegevens uit de berekening van het massabalansmodel (pijl 2) en ook de samenstelling van de producten bij aanwenden (pijl 3) volgen uit de massabalans berekeningen. De gedetailleerde uitwerking van de mestbewerking en bijbehorende producten is de input voor de economische berekeningen. In paragrafen 2.3 en 2.4 is de werkwijze voor beide modellen beschreven.



Figuur 3.1 *Schematische weergave modelleringen. Pijl 1 gegevens samenstelling mest uit emissiemodel als input voor massabalansmodel, pijl 2 output massabalansmodel voor berekening emissies mestverwerking, pijl 3 samenstellingen mestproducten uit mestverwerking input voor emissiemodel berekeningen emissies bij aanwenden en 4 input voor economische model.*

3.2 Uitwerken massabalansen en kostenramingen

Als basis zijn de modellen zoals deze voor Gollenbeek et al. (2020, 2021a en 2021b) zijn ontwikkeld gebruikt. Voor deze studie zijn de modellen wel omgebouwd omdat mestproductie, mestverwerking en aanwenden van mest op het eigen bedrijf plaatsvindt. Het model is, zoals benoemd in paragraaf 2.1, gekoppeld aan het emissiemodel.

Op basis van de vastgestelde mestverwerkingsroutes zijn kostenramingen opgesteld. Informatie van de investeringskosten van de stalsystemen en de benodigde uitrusting voor de behandeling van de meststromen is verkregen van de leveranciers van de systemen en van veehouders die dergelijke systemen in gebruik hebben. Daarnaast is voor mestopslagen en investeringen in bepaalde stalaanpassingen gebruikgemaakt van KWIN, Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2020-2021. Van de verschillende scenario's zijn steeds de extra investeringen bepaald ten opzichte van het reguliere stalsysteem.

Ook bij de berekening van de exploitatie van de verschillende scenario's zijn steeds de meer- of minderopbrengsten ten opzichte van de exploitatie van een regulier stalsysteem beschouwd.

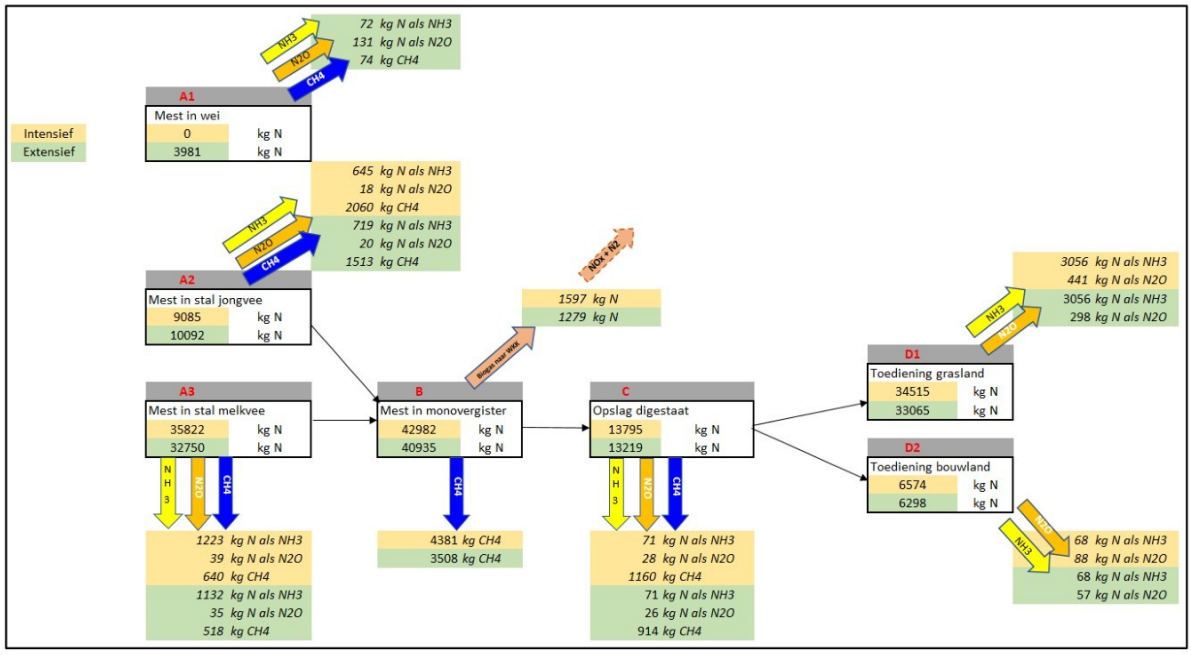
Met betrekking tot de kosten is rekening gehouden met kosten voor energie, verbruik van hulpstoffen, arbeid, rente, afschrijving, onderhoud en overige bedrijfskosten zoals kantoorkosten, verzekeringen, kosten nutsvoorzieningen.
Aan de opbrengstenkant is gekeken naar vermeden kosten voor mestafzet en vermeden kosten voor aankoop van kunstmest. In de scenario's waarin monovergisting is toegepast is daarnaast gerekend met opbrengsten uit vermeden energieverbruiken, verkoop van energie en inkomsten uit SDE-subsidie.

In bijlage 7 zijn de belangrijkste uitgangspunten voor de kostenramingen en de exploitatieberekeningen weergegeven.

3.3 Berekening emissies

Om de massabalansen en emissies voor het gehele mestverwerkingsproces te bepalen, is gewerkt met een modelstudie waarin de hoeveelheden en samenstelling van de mestproducten worden weergeven en bij elke stap in het mestverwerkingsproces de emissies berekend worden (zie figuur 3.2). Het model is opgebouwd uit verschillende blokken, waarbij elk blok een (verwerkings)stap representeert. Het model start bij de uitscheiding van mest in de stal en eindigt met het moment dat mestproducten op het land worden aangewend. Bij deze laatste stap worden emissies tijdens toediening (op eigen land maar ook van afgevoerde mest) van mestproducten meegenomen, maar worden verdere bodemprocessen buiten beschouwing gelaten. In deze modelstudie zijn alleen de emissies die ontstaan uit de mest of uit het dier berekend. Emissies die ontstaan door het gebruik van fossiele brandstoffen, elektriciteit of grondstoffen zijn niet meegenomen.

Het startpunt van het model is de samenstelling van drijfmest (of urine en feces) 'onder de staart': de vrachten stikstof, fosfor (fosfaat), koolstof en organische stof (N, P, C en OS) en de methaan- en stikstofhoudende emissies die hierbij vrijkomen. In bijlage 1 zijn de uitgangspunten voor de modelstudie per scenario beschreven. Voor alle scenario's zijn per stap in het mestverwerkingsproces de stikstofhoudende emissies berekend middels emissiefactoren. De ammoniakemissies die in dit rapport worden gepresenteerd geven de totale emissies tijdens aanwending, inclusief aanwending op land van derden (zie bijlage 1 voor de gebruikte emissiefactoren). Voor de verschillende mestproducten zijn de emissiefactoren voor aanwenden van drijfmest en/of kunstmest als basis gebruikt. Voor berekening van deze emissies is voor gras- en bouwland gekozen voor de aanwendtechniek die het meeste voorkomt in Nederland op de verschillende gronden (Van Bruggen et al., 2021).



Figuur 3.2 *Voorbeeld schematische weergave voor berekening emissies (In bijlage 3 zijn de schematische weergaven van alle scenario's weergegeven).*

Wanneer stikstofemissies plaatsvinden, veranderd het totale stikstofgehalte in de mest. Voor het stikstofgehalte in mest wordt het TAN-gehalte gecorrigeerd op basis van de ammoniak- en lachgasemissies die plaatsvinden: de geëmitteerde stikstof wordt afgetrokken van de hoeveelheid TAN in de mest. Tijdens het vergistingsproces vinden echter verschillende processen plaats die van invloed zijn op het TAN gehalte in het digestaat. Het TAN gehalte is daarnaast van belang voor de berekening van de ammoniakemissie die plaatsvindt bij aanwending van de mestproducten.

Naast de totale ammoniakemissie is de ammoniakemissie ook uitgedrukt in kg NH_3/dierplaats/jaar. Deze is berekend door de totale ammoniakemissie uit stal en opslag te delen door het aantal dierplaatsen waarmee is gerekend in deze studie (250 dierplaatsen).

In de modelberekening is rekening gehouden met drie processen die van invloed zijn op het TAN gehalte van het digestaat:

1. Omzetting van organische stof

Door de omzetting van organische stof komt een deel van de organisch gebonden stikstof vrij in de vorm van ammoniak. In het emissiemodel is aangenomen dat het gewicht van het geproduceerd biogas overeenkomt met het gewicht van organische stof dat is verwijderd uit de mest. Vervolgens is aangenomen dat het percentage organische gebonden stikstof dat vrijkomt in de vorm van ammoniak overeenkomt met percentage organische stof dat tijdens het vergistingsproces is verwijderd.

2. Stikstofverlies uit de vergisters

Tijdens het vergistingsproces treedt verlies van stikstof op, omdat het geproduceerde biogas kleine hoeveelheden (0-2 % v/v) ammoniak bevat[1]. In het model is gerekend met een ammoniakgehalte van 1% in het geproduceerde biogas. Dit is waarschijnlijk een overschatting. Namelijk een deel van de ammoniak in het biogas zal in condenswater oplossen en dit condenswater kan naar de vergister worden geleid of bij het digestaat worden gevoegd. In de doorgerekende scenario's met vergisting wordt het biogas gebruikt voor de gecombineerde opwekking van elektriciteit en warmte met behulp van een WKK installatie. Aangenomen is dat de 1% ammoniak in het biogas daarbij vrijkomt als NOx uit de schoorsteen van de WKK.

[1] https://nl.wikipedia.org/wiki/Biogas#cite_note-OSU-2 en https://www.biogas-netzeinspeisung.at/technische-planung/funktionsprinzip-einer-biogasanlage/zusammensetzung-von-rohbiogas.html en https://biogas.fnr.de/biogas-gewinnung/was-ist-biogas.

Biogas kan naast ammoniak ook N_2 bevatten. De N_2 stikstof is echter niet afkomstig uit de mest, maar uit de omgevingslucht die wordt gebruikt voor de biologische verwijdering van H_2S uit het biogas. Deze N_2 stroom is dan ook niet van invloed op de TAN/Norg verhouding in het digestaat.

3. Vastlegging van stikstof in anaeroob slib

Tijdens het vergistingsproces treedt groei van anaerobe biomassa op. Een deel van de in de mest aanwezige ammoniumstikstof wordt hierdoor vastgelegd in de gevormde biomassa en dus niet omgezet in TAN. In het model is uitgegaan van een opname stikstof in biomassa van 13 g N per kg CZV[2] verwijderd De verwijdering van CZV uit de mest is berekend uit de CZV waarde van methaan in het gevormde biogas. De CZV waarde van methaan bedraagt 4 kg per kg CH_4.

De methaanemissie is berekend op basis van het OS-gehalte dat verandert/afhangt van de ouderdom van de mest (zie hoofdstuk 3.1 en 3.2 en uitgansgpunten in bijlage 1).

Om de totale uitstoot van broeikasgasemissies per scenario in kaart te brengen, zijn de methaan- en lachgasemissies omgerekend naar CO_2-equivalenten[3] met de volgende rekenregels (Myhre et al., (2013):

1 kg methaan = 28 CO_2-equivalenten
1 kg lachgas = 265 CO_2-equivalenten

3.4 Implementatie

Het kan – in het nieuwe mestbeleid - dat een deel van mestproducten naar een akkerbouwer gaat waarmee een samenwerking is aangegaan. Wat qua mestbewerking gunstig is voor het melkveebedrijf hoeft niet per se ook gunstig te zijn voor de akkerbouwer. Een besparing op kunstmest op een melkveebedrijf, leidt mogelijk tot een ontsparing op het akkerbouwbedrijf. Dit onderdeel zal meer kwalitatief benaderd worden.

De berekeningen worden ook getoetst aan andere tools, kennis en projecten die momenteel in de praktijk lopen (b.v. Jumpstart) en aan lopende emissiemetingen.
In de discussie wordt ook beschouwd hoe de resultaten van deze studie op bedrijfsniveau kunnen worden vertaald naar sectorniveau.

[2] Emis, https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/selectiesystemen/wass/technieken/anaerobe-biologische-afvalwaterzuivering
[3] Eén CO_2-equivalent staat gelijk aan het effect dat de uitstoot van 1 kg CO_2 heeft.

4 Optimalisatie biogasproductie

Naarmate de mest op de veehouderijbedrijven langer in opslag wordt gehouden, wordt een groter deel van de organische stof omgezet in methaan door de in de mest aanwezige bacteriën. De hoeveelheid biogas die bij het vergisten van mest gewonnen kan worden neemt daarom af naarmate de ouderdom van de mest toeneemt.

Teneinde de emissie van broeikasgassen te beperken en methaanwinning uit mest te optimaliseren is het zinvol de methaanverliezen die in de praktijk optreden zoveel mogelijk te beperken. Door de mest zo kort mogelijk in opslag te houden op de melkveebedrijven en deze zo snel mogelijk te behandelen kunnen de methaanverliezen worden gereduceerd.

Ten behoeve van de modelberekeningen is de methaanproductie bij een bepaalde ouderdom van de mest berekend met onderstaande vergelijking (1):

$$(1) \quad CH4\,(t) = \quad CH4,max \times \left(1 - \frac{1}{1 + Kh \times t}\right)$$

Waarbij:

CH_4 (t)	= Methaanproductie bij ouderdom mest van t dagen (in m^3 CH_4/kg OS)
CH_4, max	= Maximale methaanproductie bij ouderdom mest t is 0 dagen (in m^3 CH_4/kg OS)
Kh	= hydrolyse constante (in d^{-1})
t	= Ouderdom van de mest (in dagen)

De afbraak van organische stof en de vorming van methaan verloopt in een vergistingstank sneller dan in een mestkelder of mestopslag. Dit komt onder meer door de hogere temperatuur in de vergister en doordat in de vergister bacteriën en voedingsstoffen goed gemengd worden.
Deze verschillen vertalen zich in verschillende waarden van de hydrolyse constante Kh voor de situatie in mestkelders en opslagen en voor de situatie in de vergister.

Ten behoeve van de berekening van de methaanvorming uit mest in stal en opslag, bij vergisting en bij opslag van het digestaat zijn de uitgangspunten gehanteerd zoals weergegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1 *Gehanteerde uitgangspunten in het emissiemodel voor de maximale methaanproductie uit mest (CH_4, max) en de hydrolyseconstanten (Kh) voor de vorming van methaan in stal en opslag, tijdens vergisting en tijdens opslag van digestaat.*

Input emissiemodel	Eenheid	Waarde
CH_4, max	m^3/kg OS	0,2942
Kh (stal en opslag)	d^{-1}	0,0060
Kh (vergisting)	d^{-1}	0,1500
Kh (opslag digestaat)	d^{-1}	0,0006

De biogasopbrengst die bij vergisting kan worden gerealiseerd wordt beïnvloed door de hoeveelheid organische stof die in de stal is omgezet. De uitgangspunten van tabel 3.1 leiden tot een goede overeenkomst tussen de gemodelleerde biogasopbrengst bij vergisting van rundveemest en in de praktijk gemeten biogasopbrengsten (bijlage 8).

Hydrolyseconstante vorming methaan in stal en externe opslag
In het rapport van Gollenbeek et al. (2021) is een hydrolyseconstante van 0,0093 d^{-1} afgeleid voor de vorming van methaan uit de in de stal opgeslagen mest van varkensbedrijven. Omdat geen specifieke hydrolyse constante voor de vorming van methaan uit rundveemest in opslag bekend is, is gebruik gemaakt van de hydrolyseconstante voor varkensmest uit het rapport van Gollenbeek (2021).

De gemiddelde temperatuur van de mest in rundveestallen is echter lager dan de opgeslagen mest in varkensstallen. Aan de hand van vergelijking 2 is de hydrolyseconstante gecorrigeerd voor het temperatuurverschil aan de hand van formule (2) zoals gepresenteerd in Waterloopkundig Laboratorium 1978. Hierbij is een gemiddelde temperatuur van mest in varkensstallen aangehouden van 22 °C en van mest in rundveestallen van 12,5 °C.

$$(2) \quad Kh\,(T) = Kh\,(20)\,x\,\theta^{T-20}$$

Waarbij:

Kh (T)	= hydrolyse constante bij temperatuur T (in d-1)
Kh (20)	= hydrolyse constante bij 20 °C (in d-1)
θ	= constante 1,047
T	= temperatuur (in °C)

Hydrolyseconstante vorming methaan in het vergistingsproces

Timmerman et al. (2009) onderzocht met behulp van batchproeven het verloop van de biogasproductie gedurende de vergisting van varkensdrijfmest, mestfracties na scheiding van varkensmest en mest van specifiek zeugen, biggen en vleesvarkens. In het onderzoek van Timmerman et al. (2009) zijn voor verschillende soorten varkensmest de hydrolyseconstanten bepaald die van toepassing waren bij vergisting in batchproeven bij 37 °C. De waarde van de hydrolyseconstanten varieerde hier bij de verschillende soorten varkensmest tussen 0,09 en 0,27 d^{-1}, met een gemiddelde van 0,156 d^{-1}.

Vanwege het ontbreken van specifieke informatie van hydrolyseconstanten die van toepassing zijn bij vergisting van rundveemest is gebruikgemaakt van de gemiddelde waarde van 0,15 d^{-1} voor vergisting van varkensmest uit het onderzoek van Timmerman et al. (2009).

Hydrolyseconstante vorming methaan bij opslag van digestaat

In de literatuur is geen informatie gevonden over de snelheid waarmee methaan ontstaat uit reeds vergiste mest (digestaat). Omdat na het vergistingsproces het goed afbreekbare deel van de organische stof is omgezet, ontstaat uit het resterende deel van de organische stof aanwezig in het opgeslagen digestaat, weinig methaan meer. Voor de modellering is de aanname gedaan dat de vorming van methaan uit digestaat een factor 10 lager ligt ten opzichte van de snelheid van methaanvorming die is vastgesteld voor de mest in stal en opslag.

Maximale methaanproductie

De waarde van de maximale methaanproductie (CH_4, max) van 0,2942 m3 methaan per kg organische stof betreft een iteratief bepaalde waarde, waarbij de biogasopbrengsten tijdens het vergistingsproces afhankelijk van de ouderdom van de rundveemest het best overeenkomen met referenties in de praktijk. Zie bijlage 8 'Toetsing uitgangspunten modellering methaanproductie'. De iteratief bepaalde waarde van de maximale methaanproductie in m^3 methaan per kg organische stof is hoger dan de geschatte waarde van het Biochemisch Methaan Potentieel van rundveemest van 0,22 m^3/kg OS uit het onderzoek van Groenestein et al. (2016), maar valt wel binnen de bandbreedte 0,13-0,32 m^3/kg OS (EU) die op basis van literatuuronderzoek in dit rapport is vermeld.

Uitgangspunten ouderdom mest, samenstelling mest en biogasproductie

In tabel 3.2 zijn de parameters gegeven die van belang zijn voor de biogasproductie (ouderdom mest, organische stofgehalte van mest bij invoer in het vergistingsproces en biogasproductie) die is aangehouden voor de verschillende scenario's van het emissiemodel.

Tabel 3.2 *Gemiddelde ouderdom van de melkveemest[1], organische stofgehalte van mest bij invoer in het vergistingsproces en biogasproductie.*

Scenario	**Gemiddelde ouderdom van de mest** (dagen)	**Organische stofgehalte bij invoer vergister** *Intensief* (kg/ton)	**Organische stofgehalte bij invoer vergister** *Extensief* (kg/ton)	**Biogas-productie*** (m^3 biogas/kg OS)
1 Regulier rundveemest	90	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
2 Regulier rundveemest + monovergisting [2]	36	67,4	58,6	0,36
3 Regulier + monovergisten + scheiding digestaat + N strippen [2]	36	67,4	58,6	0,36
4.1 Regulier + verdunnen + strippen	36	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
4.2 Regulier + verdunnen + monovergisting + strippen[3]	36	68,7	61,3	0,36
5 Dagontmesting geen verwerking	1	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
6 Dagontmesting + monovergisting [2]	1	70,4	61,3	0,43
7 Dagontmesting stal +verwerking [2]	1	70,4	61,3	0,43
8 Scheiding urine/feces	1	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
9.1 Semi dichte vloer + onder afzuiging + strippen	1	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
9.2 Semi dichte vloer + onder afzuiging + strippen + monovergisten	1	118,2	82,5	0,43

[1] Jongveestal blijft in de verschillende scenario's ongewijzigd.

[2] Organische stofgehalte betreft mengsel van mest uit melkvee- en jongveestal.

[3] Organische stofgehalte betreft mengsel van jongveemest en dikke fractie en dunne fractie melkveemest.

[4] Organische stofgehalte betreft feces melkveemest en mest uit jongveestal.

* Berekende waarde.

5 Resultaten massabalansen, economie en emissies intensieve bedrijven

In dit hoofdstuk zijn de resultaten uit het emissiemodel, massabalansmodel en economische model beschreven per scenario. In paragraaf 5.12 zijn de uitkomsten van de verschillende scenario's vergeleken.

Overzichten van alle resultaten zijn opgenomen in de bijlagen:

- Emissies NH_3, CH_4 en N_2O: Bijlage 3.
- Flowschema's en massabalansen: Bijlage B5.
- Detaillering kostenramingen: Bijlage 6.

5.1 Regulier (referentiescenario) zonder mestverwerking (scenario 1)

5.1.1 Emissies

In tabel 5.1 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het referentiescenario waarbij drijfmest 6 maanden wordt opgeslagen in de kelder onder de roostervloer en niet wordt verwerkt. De totale jaarlijkse ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 7,3 ton NH_3 en 47,0 ton CH_4. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 12,0 kg NH_3 /dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee.

Tabel 5.1 *Emissie van methaan CH4 en ammoniak NH_3 (ton/jaar) voor referentie zonder mestverwerking.*

Emissie	Stal	Externe opslag	Aanwenden	Totaal
NH_3	3,8	0,04	3,5	7,3
CH_4	39,5	7,5		47,0

5.1.2 Massabalansen

De mestproductie van het intensieve referentie melkveebedrijf met 250 melkkoeien bedraagt 9.004 ton per jaar. Hierbij zijn de uitgangspunten gehanteerd zoals vermeld in tabel 2.1.

De excretie van stikstof bedraagt 44,9 ton per jaar. Als gevolg van de stikstofverliezen in stal en opslag resteert bij aanwending van de mest 41,7 ton stikstof. Het stikstofverlies uit stal en opslag bedraagt 3,2 ton N. Dit stikstofverlies is de som van emissies van ammoniak-N en lachgas-N. De excretie van fosfaat bedraagt 14,9 ton P_2O_5 per jaar.

5.1.3 Investeringen en exploitatie

Het scenario Regulier zonder mestverwerking' vormt het referentiescenario waartegen de resultaten van de overige scenario's zijn afgezet. Van de verschillende scenario's in deze studie zijn de meer-investeringen bepaald en zijn de verschillen in jaarkosten/- opbrengsten berekend ten opzichte van dit referentiescenario.

5.2 Regulier + monovergisten (scenario 2)

5.2.1 Emissies

In tabel 5.2 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij drijfmest wordt vergist en het digestaat als zodanig wordt aangewend. Het huisvestingssysteem is gelijk aan het referentiescenario. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 7,5 ton en 26,0 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 11,5 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee. Doordat drijfmest in dit scenario sneller uit de stal wordt verwijderd dan bij het referentiescenario, verschillen de ammoniakemissies per dierplaats tussen beide scenario's, ondanks dat hetzelfde huisvestingssysteem wordt gebruikt.

Tabel 5.2 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor regulier met monomestvergisting.*

Emissie	Stal	Vergisten	Opslag na verwerking	Aan-wenden	Totaal
NH_3	3,7		0,1	3,7	7,5
CH_4	21,1	3,7		1,1	26,0

5.2.2 Massabalansen

In het scenario 'Regulier + monovergisten' wordt per jaar 9.004 ton drijfmest vanuit de opslag in de stal naar de vergister geleid. Tijdens het vergistingsproces wordt organische stof omgezet en circa 220.000 m^3 biogas gevormd. Na vergisting resteert 8.740 ton digestaat.

De vracht stikstof in het digestaat bedraagt 40,2 ton N per jaar, waarvan circa 62% in de vorm van ammoniumstikstof aanwezig is. Het hoge aandeel ammoniumstikstof is het gevolg van de omzetting van organische stof in de vergister, waarbij een deel van de organisch gebonden stikstof vrijkomt in de vorm van ammoniak.

De vracht fosfaat in het digestaat bedraagt 14,9 ton P_2O_5 per jaar en de vracht kalium 48,6 ton K_2O per jaar.

5.2.3 Investeringen en exploitatie

Uit de berekeningen blijkt dat de realisatie van een monovergistingstinstallatie voor een bedrijf met 250 melkkoeien vraagt een investering van 421.000 euro. De jaarlijkse kosten die samenhangen met de exploitatie van de installatie bedragen 363 euro per melkkoe. Het aandeel rente en afschrijving bedraagt circa 49% van de jaarkosten.

De opbrengsten bedragen 436 euro per melkkoe en zijn vrijwel volledig gerelateerd aan de energieproductie uit biogas (zie tabel 5.3). De opbrengsten betreffen vermeden inkoop van energie, levering van energie en groencertificaten en SDE++ subsidie.
Een klein deel van de opbrengsten vloeien voort uit vermeden mestafzetkosten. Zie bijlage 9.

De exploitatie van een monovergistingsinstallatie voor een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien levert een positief resultaat 74 euro per melkkoe per jaar. Hierbij dient te worden opgemerkt dat bij de bepaling van de opbrengsten is gerekend met een nuttig gebruik van alle geproduceerde warmte. Het vergistingsproces zelf vraag ongeveer 30% van de geproduceerde warmte. Voor het overige deel van de warmte zal een nuttige bestemming gevonden moeten worden om het toegerekende voordeel daadwerkelijk te kunnen realiseren.

Tabel 5.3 *Investeringen, jaarkosten en -opbrengsten van toepassing van monovergisting van mest van een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investeringen	€	421.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	437
Kosten	€/melkkoe/jaar	363
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	74

5.2.4 Gevoeligheid exploitatie

Uit tabel 5.4 kan worden opgemaakt dat toepassing van monovergisting op een regulier intensief bedrijf vanaf een bedrijfsgrootte van circa 200 melkkoeien tot een positief exploitatieresultaat leidt. Hierbij is van belang dat de gemiddelde ouderdom van de mest bij inbreng in de vergister niet meer dan circa 30 dagen bedraagt. Van belang is dat is uitgegaan van 100% benutting van de warmte van de warmtekracht installatie. Wanneer buiten de warmtebehoefte van de vergister zelf geen andere toepassing voor de warmte op het bedrijf aanwezig wordt pas een bedrijfsgrootte vanaf circa 500 melkkoeien een positief exploitatieresultaat bereikt.

Naarmate de schaalgrootte toeneemt en de mest sneller vanuit de mestkelders in de vergister kan worden gebracht neemt het exploitatieresultaat verder toe.

Tabel 5.4 *Resultaten exploitatie[1] regulier intensief bedrijf met monovergisting bij variatie van de gemiddelde ouderdom van de mest bij invoer in de monovergisting en bij variatie van de bedrijfsgrootten.*

Ouderdom mest	**d**	**10**	**30**	**60**	**90**
Biogasopbrengst	m3/kg OS	0,41	0,37	0,32	0,28
Aantal melkkoeien					
100	€/melkkoe	-214	-258	-309	-349
150	€/melkkoe	-28	-72	-124	-163
200	€/melkkoe	68	23	-29	-69
250	€/melkkoe	126	81	29	-12
300	€/melkkoe	166	120	67	27

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

5.3 Regulier + monovergisten + strippen (scenario 3)

5.3.1 Emissies

In tabel 5.5 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij drijfmest wordt vergist, het digestaat wordt gescheiden en de dunne fractie verder wordt verwerkt in een stikstofconcentraat. Het huisvestingssysteem is gelijk aan het referentiescenario. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 5,8 ton NH_3 en 27,2 ton CH_4. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 11,5 kg NH_3 /dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee.

Tabel 5.5 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor regulier met monomestvergisting en strippen.*

Emissie	**Stal**	**Externe opslag**	**Productie mest-producten**	**Vergisten**	**Opslag na verwerking**	**Aan-wenden**	**Totaal**
NH_3	3,7		0,2		0,07	1,9	5,8
CH_4	21,1			3,7	2,4		27,2

5.3.2 Massabalansen

In het scenario 'Regulier + monovergisten + strippen' wordt per jaar 9.004 ton drijfmest vanuit de opslag in de stal naar de vergister gebracht. Het digestaat wordt gescheiden met behulp van een vijzelpers in een dikke en dunne mestfractie. De dunne mestfractie gaat naar een stripper waar onder toevoeging van warmte circa 80% van de aanwezige ammoniak wordt uitgedreven. De uitgedreven ammoniak wordt vervolgens in een chemische luchtwasser opgevangen in een zwavelzure oplossing, waarbij ammoniumsulfaat wordt gevormd.

De eindproducten van deze mestbehandeling zijn:
- 580 ton dikke fractie,
- 8.137 ton gestripte dunne fractie, (ammonium arme dunne fractie),
- 360 ton ammoniumsulfaat oplossing,
- 220.000 m^3 biogas.

De berekende samenstelling van de eindproducten is weergegeven in bijlage 5.
Van de 41,8 ton stikstof (N) die via de rundveemest in de vergister wordt ingevoerd komt circa 43% in de vorm van ammoniumsulfaat uit de installatie vrij.
Van de 14,9 ton fosfaat (P_2O_5) in de rundveemest komt circa 70% in de dunne fractie terecht en 30% in de dikke fractie. Het scheidingsrendement voor fosfaat van de gehanteerde mestscheider bedraagt 30%.

5.3.3 Investeringen en exploitatie

De investering voor de monovergistingstinstallatie met scheider, stripper en luchtwasser voor een bedrijf met 250 melkkoeien bedraagt 622.000 euro (zie tabel 5.6). De jaarlijkse kosten die samenhangen met de exploitatie van de installatie bedragen 674 euro per melkkoe. De belangrijkste posten vormen rente en afschrijving (39%) en energie (36%).

De opbrengsten bedragen 600 euro per melkkoe en houden vooral verband met de energieproductie uit biogas. De opbrengsten betreffen vermeden inkoop van energie, levering van energie en groencertificaten en SDE++ subsidie. Samen 86% van de opbrengsten. Alle geproduceerde warmte kan worden benut in de procesketen. De warmte wordt ingezet voor het verwarmen van de vergister en het strippen van de dunne fractie.
Ten opzichte van de situatie waarbij alleen monovergisting wordt toegepast worden meer inkomsten gehaald uit vermeden inkoop van kunstmest en vermeden mestafzetkosten. Ten opzichte van de opbrengsten gerelateerd aan energieproductie is dit aandeel in opbrengsten nog steeds beperkt.

De exploitatie van een monovergistingsinstallatie inclusief scheiden en strippen levert voor een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien een negatief resultaat van 74 euro per melkkoe per jaar. Door de extra investering voor het scheiden en strippen van het digestaat nemen de kosten sterker toe dan de opbrengsten.

Tabel 5.6 *Investeringen, jaarkosten en -opbrengsten van toepassing van monovergisting van mest van een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investeringen	€	622.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	600
Kosten	€/melkkoe/jaar	674
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-74

5.3.4 Gevoeligheid exploitatie

Uit tabel 5.7 kan worden opgemaakt dat toepassing van monovergisting en strippen van stikstof uit de dunne fractie van het digestaat op een regulier intensief bedrijf vanaf een bedrijfsgrootte van circa 250 melkkoeien tot een positief exploitatieresultaat kan leiden, wanneer ervoor wordt gezorgd dat de ouderdom van de mest bij invoer in de vergister niet meer dan 10 dagen bedraagt.

Het strippen van ammoniak uit de dunne mestfractie van het digestaat leidt bij de gekozen uitgangspunten niet tot een verbetering van het exploitatieresultaat ten opzichte van de situatie waarbij alleen monovergisting wordt toegepast. Het voordeel van vermeden mestafzetkosten en besparing van inkoop van kunstmest wegen niet op tegen de kosten van de hogere investering.

Naarmate de schaalgrootte toeneemt en de mest sneller vanuit de mestkelders in de vergister kan worden gebracht neemt het exploitatieresultaat verder toe.

Tabel 5.7 *Resultaten exploitatie[1] regulier intensief bedrijf met monovergisting en strippen van stikstof uit de dunne fractie van het digestaat bij variatie van de gemiddelde ouderdom van de mest bij invoer in de monovergisting en bij variatie van de bedrijfsgrootte.*

Ouderdom mest	**d**	**10**	**30**	**60**	**90**
Biogasopbrengst	m3/kg OS	0,41	0,37	0,32	0,28
Aantal melkkoeien					
100	€/melkkoe	-490	-560	-642	-692
150	€/melkkoe	-213	-285	-368	-419
200	€/melkkoe	-75	-146	-229	-281
250	€/melkkoe	10	-63	-145	-198
300	€/melkkoe	66	-6	-90	-142

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

5.4 Regulier + verdunnen + strippen (scenario 4.1)

5.4.1 Emissies

In tabel 5.8 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij mest in de stal wordt verdund en verder wordt verwerkt in een stikstofconcentraat. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 3,7 ton NH_3 en 31,4 ton CH_4. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 4,4 kg NH_3 /dierplaats/jaar, op basis van een voorlopige metingen, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal.

Tabel 5.8 *Emissie van methaan CH_4 en ammoniak NH_3 (ton /jaar) voor regulier met verdunnen en strippen.*

Emissie	**Stal**	**Externe opslag**	**Productie mest-producten**	**Aanwenden**	**Totaal**
NH_3	1,9	0,06	0,2	1,5	3,7
CH_4	27,6	3,8			31,4

5.4.2 Massabalansen

In het scenario 'Regulier + verdunnen + strippen' wordt een mestrobot ingezet om de mest van de roostervloeren van de melkveestal te verwijderen. De robot veegt de feces door de roosters en spoelt de roosters na met ammoniakarme dunne mestfractie. Hiervoor wordt per volumedeel mest dat geproduceerd wordt, viermaal het volume ammoniakarme dunne fractie gebruikt. Door de verdunning van de mest neemt de concentratie ammoniak in de mestkelders af en daalt de emissie van ammoniak

afkomstig uit de mestkelder. De dunne ammoniakarme mestfractie wordt verkregen door de mest uit de mestkelder van de melkveestal te scheiden en de ammoniak uit de dunne fractie te drijven. Het uitdrijven de ammoniak vindt plaats door de pH van de dunne fractie te verhogen onder toevoeging van natronloog. De luchtstroom die door de stripkolom wordt geleid, voert de uitgedreven ammoniak vervolgens naar een luchtwasser waar de ammoniak wordt teruggewonnen en opgevangen in een zwavelzure oplossing.

Bij een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien worden de volgende hoeveelheden eindproducten geproduceerd:
- 5.922 ton ammoniakarme dunne fractie,
- 3.063 ton mengsel dikke fractie en jongveemest,
- 318 ton ammoniumsulfaat.

Van de hoeveelheid stikstof die uit het stalsysteem vrijkomt (43,3 ton N) komt circa 37% (15,9 ton N) in het spuiwater van de luchtwasser terecht. De dunne mestfractie bevat circa 16% en de dikke fractie circa 47% van de hoeveelheid stikstof in de mest. Een relatief beperkt deel van de stikstof in de mest die uit de stal komt, emitteert bij het luchtwasproces. (de hoeveelheid stikstof in de mest die uit de stal komt is reeds minder dan de hoeveelheid excretie van stikstof vanwege de emissies die in de stal zelf optreden).

Van de hoeveelheid fosfaat in de mest uit de melkvee- en jongveestal (circa 14,9 ton P_2O_5) bevindt zich 49% in de dunne fractie en 51% in het mengsel dikke fractie en jongveemest.

5.4.3 Investeringen en exploitatie

De investering voor de stalaanpassing en mestbehandeling bedraagt voor een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien ruim 303.000 euro (zie tabel 5.8). De jaarkosten voor het verbruik van natronloog voor het strippen van ammoniak en zwavelzuur van de luchtwasser zijn relatief groot, namelijk 105 euro per melkkoe, ofwel circa 31% van de totale jaarkosten van 335 euro per melkkoe.

Tegenover de kosten staan opbrengsten uit vermeden mestafzetkosten en vermeden inkoop van kunstmest van 52 euro per melkkoe.
De jaaropbrengsten zijn aanzienlijk lager dan de jaarkosten en resulteren in een negatief resultaat van circa 284 euro per melkkoe per jaar.

Tabel 5.8 *Investeringen, jaarkosten en -opbrengsten bij toepassing van verdunnen met ammoniakarme dunne fractie, verkregen door scheiden en strippen van de mest van een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investeringen	€	303.225
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	52
Kosten	€/melkkoe/jaar	335
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-284

5.4.4 Gevoeligheid Exploitatie

Uit tabel 5.9 kan worden opgemaakt voor alle doorgerekende bedrijfsgrootten en variaties van de investeringsomvang een negatief bedrijfsresultaat ontstaat.
Een toenemende bedrijfsgrootte heeft een sterk effect heeft op het exploitatieresultaat. Een toename van de bedrijfsgrootte van 100 naar 300 melkkoeien leidt tot ongeveer een halvering van kosten.

Tabel 5.9 *Resultaten exploitatie[1] regulier intensief bedrijf en toepassing van het verdunnen van de mest in de mestkelder met ammoniak arme dunne fractie bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.*

Investeringen		**90%**	**100%**	**110%**
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-474	-507	-540
150	€/melkkoe	-365	-389	-413
200	€/melkkoe	-298	-316	-334
250	€/melkkoe	-268	-284	-299
300	€/melkkoe	-239	-252	-265

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

5.5 Regulier + verdunnen + strippen+ monovergisten (scenario 4.2)

5.5.1 Emissies

In tabel 5.10 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij mest op dezelfde manier wordt verwerkt als scenario 4.1, echter wordt de dikke fractie, samen met de jongveemest, eerst vergist. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 4,0 ton en 27,0 ton. Het huisvestingssysteem is gelijk aan scenario 4.1 en komt voor een intensief bedrijfssysteem op 4,4 kg/dierplaats/jaar, op basis van een voorlopige metingen, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal.

Tabel 5.10 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor regulier met verdunnen, strippen en monomestvergisting.*

Emissie	**Stal**	**Productie mest-producten**	**Vergisten**	**Opslag na verwerking**	**Aanwenden**	**Totaal**
NH_3	1,9	0,2		0,1	1,8	4,0
CH_4	21,1		3,7	2,2		27,0

5.5.2 Massabalansen

In het scenario 'Regulier + verdunnen+ strippen+ monovergisten' is een vergistingsproces toegevoegd aan het stalsysteem en mestbehandeling zoals is beschreven onder paragraaf 5.4.
De dikke fractie uit de scheiding van mest, het overschot ammoniakarme dunne fractie uit de stripper en de jongveemest worden in dit scenario ingevoerd in de vergister.

Bij een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien worden de volgende hoeveelheden eindproducten geproduceerd:
- 8.719 ton digestaat (inclusief overschot dunne fractie),
- 318 ton ammoniumsulfaat,
- 222.000 m^3 biogas.

Van de hoeveelheid stikstof die uit het stalsysteem vrijkomt (43,3 ton N) komt circa 37% (15,9 ton N) in het spuiwater van de luchtwasser terecht. Het overige deel bevindt zich in het digestaat. Een relatief beperkt deel van de stikstof in de mest die uit de stal komt, emitteert bij het luchtwasproces. (De hoeveelheid stikstof in de mest die uit de stal komt is reeds minder dan de hoeveelheid excretie van stikstof vanwege de emissies die in de stal zelf optreden). De hoeveelheid fosfaat in de mest uit de melkvee- en jongveestal (circa 14,9 ton P_2O_5) komt volledig in het digestaat terecht.

5.5.3 Investeringen en exploitatie

De toevoeging van het vergistingsproces leidt tot een hogere benodigde investering ten opzichte van de variant zonder vergisting. De investering inclusief monovergisting bedraagt ruim 728.000 euro (zie tabel 5.11).

Door de hogere investering nemen de jaarkosten voor onderhoud, afschrijving en rente toe, waardoor de totale jaarkosten oplopen tot 670 euro per melkkoe. De opbrengsten uit vermeden energiekosten, levering van energie, SDE-subsidie en vermeden mestafzetkosten en besparing van kunstmestinkoop bedragen samen 473 euro per melkkoe. Hierdoor wordt een negatief resultaat berekend van 197 euro per melkkoe.

Tabel 5.11 *Investeringen, jaarkosten en -opbrengsten bij toepassing van verdunnen met ammoniakarme dunne fractie, verkregen door scheiden en strippen van de mest van een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien en toepassing van monovergisting.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investeringen	€	727.884
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	473
Kosten	€/melkkoe/jaar	670
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-197

5.5.4 Gevoeligheid exploitatie

Uit tabel 5.12 kan worden opgemaakt voor alle doorgerekende bedrijfsgrootten en variaties van de investeringsomvang een negatief bedrijfsresultaat ontstaat. Vanaf een bedrijfsgrootte van circa 200 melkkoeien leidt de toevoeging van monovergisting tot een verbetering van het exploitatieresultaat ten opzichte van de situatie zonder vergisting. Bij kleinere bedrijfsgrootten dan 200 melkkoeien verslechtert het exploitatieresultaat ten opzichte van de situatie zonder monovergisting.

Tabel 5.12 *Resultaten exploitatie[1] regulier intensief bedrijf en toepassing van het verdunnen van de mest in de mestkelder met ammoniak arme dunne fractie en toepassing van monovergisting bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.*

Investeringen		**90%**	**100%**	**110%**
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-638	-728	-818
150	€/melkkoe	-377	-441	-505
200	€/melkkoe	-232	-282	-331
250	€/melkkoe	-155	-197	-239
300	€/melkkoe	-94	-131	-167

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

5.6 Dagontmesting (scenario 5)

5.6.1 Emissies

In tabel 5.13 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij drijfmest dagelijks wordt verwijderd uit de stal maar niet verder wordt verwerkt. Hierdoor wordt de mest voor langere tijd opgeslagen in een externe opslag op het bedrijf. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 6,1 ton en 47,7 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 5,9 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee.

Tabel 5.13 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor dagontmesting.*

Emissie	Stal	Externe opslag	Aanwenden	Totaal
NH_3	2,3	0,2	3,6	6,1
CH_4	10,0	37,7		47,7

5.6.2 Massabalansen

De mestproductie van het intensieve melkveebedrijf met 250 melkkoeien bedraagt 9.004 ton per jaar. Hierbij zijn de uitgangspunten gehanteerd zoals vermeld in tabel 2.1.

De excretie van stikstof bedraagt 44,9 ton N per jaar. Als gevolg van de stikstofverliezen in stal en opslag resteert bij aanwending van de mest 42,7 ton N. Het stikstofverlies in stal en opslag bedraagt 2,2 ton kg N. Dit stikstofverlies is de som van emissies van ammoniak-N en lachgas-N. De excretie van fosfaat bedraagt circa 14,9 ton P_2O_5 per jaar. Er treedt geen verlies van fosfaat op.

5.6.3 Investeringen en exploitatie

In het scenario 'Dagontmesting' is uitgegaan van toepassing van een stalsysteem met RAV-code A1.21 De meer-investering voor een stalsysteem met dagontmesting ten opzichte van een stalsysteem zonder het geïmplementeerde emissiearme systeem bedraagt 135 euro per dierplaats. De jaarkosten van het stalsysteem bedragen 13 euro per dierplaats. (KWIN-veehouderij 2020-2021).

5.7 Dagontmesting + monovergisten (scenario 6)

5.7.1 Emissies

In tabel 5.14 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij drijfmest dagelijks wordt verwijderd uit de stal en direct naar een vergister wordt getransporteerd. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 6,2 ton en 8,3 ton. Het huisvestingssysteem is gelijk aan scenario 5 en komt uit op 5,9 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee.

Tabel 14 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor dagontmesting met monomestvergisting.*

Emissie	Stal	Externe opslag	Productie mest-producten	Vergisten	Opslag na verwerking	Aanwenden	Totaal
NH_3	2,3				0,1	3,8	6,2
CH_4	2,7			4,4	1,2		8,3

5.7.2 Massabalansen

In het scenario 'Dagontmesting + monovergisten' wordt per jaar 9.004 ton drijfmest vanuit de opslag in de stal naar de vergister geleid. Tijdens het vergistingsproces wordt organische stof omgezet en circa 275.000 m^3 biogas gevormd. De biogasproductie is circa 25% hoger ten opzichte van de situatie bij een reguliere stal met monovergisting. Na vergisting resteert 8.674 ton digestaat.

De vracht stikstof in het digestaat bedraagt 43 ton N per jaar, waarvan ruim 62% in de vorm van ammoniumstikstof aanwezig is. Het relatief hoge aandeel ammoniumstikstof is het gevolg van de omzetting van organische stof in de vergister, waarbij een deel van de organisch gebonden stikstof

vrijkomt in de vorm van ammoniak. De vracht fosfaat in het digestaat bedraagt 14,9 ton P_2O_5 per jaar.

5.7.3 Investeringen en exploitatie

De realisatie van een monovergistingstinstallatie voor een bedrijf met 250 melkkoeien vraagt een investering van 462.000 euro (zie tabel 5.15). De investering is enigszins hoger dan voor de realisatie van een monovergistingsinstallatie voor een regulier bedrijf. De meer-investering komt voort uit de aanpassing van het huisvestingssysteem en de meerkosten voor de vergistingsinstallatie die samenhangen met de hogere biogasproductie. De jaarlijkse kosten van stalsysteem en monovergisting bedragen 382 euro per melkkoe. Het aandeel rente en afschrijving bedraagt circa 50% van de jaarkosten.

De opbrengsten bedragen 538 euro per melkkoe en zijn vrijwel volledig gerelateerd aan de energieproductie uit biogas. De opbrengsten betreffen vermeden inkoop van energie, levering van energie en groencertificaten en SDE++ subsidie. Een klein deel van de opbrengsten vloeien voort uit vermeden mestafzetkosten.

De exploitatie van een monovergistingsinstallatie voor een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien levert een positief resultaat 156 euro per melkkoe per jaar. Hierbij dient te worden opgemerkt dat bij de bepaling van de opbrengsten is gerekend met een nuttig gebruik van alle geproduceerde warmte. Het vergistingsproces zelf vraag ongeveer 30% van de geproduceerde warmte. Voor het overige deel van de warmte zal een nuttige bestemming gevonden moeten worden om het toegerekende voordeel daadwerkelijk te kunnen realiseren.

Tabel 5.15 *Investeringen, jaarkosten en -opbrengsten van toepassing van monovergisting van mest van een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien.*

Onderwerp	**Eenheid**	**Waarde**
Investeringen	€	462.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	538
Kosten	€/melkkoe/jaar	382
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	156

5.7.4 Gevoeligheid exploitatie

Uit tabel 5.16 kan worden opgemaakt dat toepassing van monovergisting op een intensief bedrijf met dagontmesting vanaf een bedrijfsgrootte vanaf circa 150 melkkoeien tot een positief exploitatieresultaat leidt. De invoer van verse mest in de vergister leidt tot een hogere biogasopbrengst dan bij de reguliere stalsystemen. Toepassing van monovergisting is bij dagontmesting om die reden vanaf een kleinere bedrijfsomvang haalbaar dan bij reguliere stalsystemen.

Tabel 5.16 *Resultaten exploitatie[1] intensief bedrijf en toepassing dagontmesting en monovergisting bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.*

Investeringen		**90%**	**100%**	**110%**
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-118	-176	-235
150	€/melkkoe	49	7	-37
200	€/melkkoe	135	100	63
250	€/melkkoe	186	156	124
300	€/melkkoe	221	194	166

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

5.8 Dagontmesting + monovergisten + strippen (scenario 7)

5.8.1 Emissies

In tabel 5.17 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij drijfmest dagelijks wordt verwijderd uit de stal en direct naar een vergister wordt getransporteerd. Het digestaat wordt daarna gescheiden en verder verwerkt in een stikstofconcentraat. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 4,3 ton en 8,2 ton. Het huisvestingssysteem is gelijk aan scenario 5 en komt uit op 5,9 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee.

Tabel 5.17 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor dagontmesting met monomestvergisting en strippen.*

Emissie	Stal	Externe opslag	Productie mest-producten	Vergisten	Opslag na verwerking	Aanwenden	Totaal
NH_3	2,3		0,2		0,02	1,8	4,3
CH_4	2,7			4,4	1,1		8,2

5.8.2 Massabalansen

In het scenario 'Dagontmesten + monovergisten + strippen' wordt per jaar 9.004 ton drijfmest vanuit de opslag in de stal naar de vergister gebracht. Het digestaat wordt gescheiden met behulp van een vijzelpers in een dikke en dunne mestfractie. De dunne mestfractie gaat naar een stripper waar onder toevoeging van warmte circa 80% van de aanwezige ammoniak wordt uitgedreven. De uitgedreven ammoniak wordt vervolgens in een chemische luchtwasser opgevangen in een zwavelzure oplossing, waarbij ammoniumsulfaat wordt gevormd.

De eindproducten van deze mestbehandeling zijn:
- 538 ton dikke fractie,
- 8.114 ton gestripte dunne fractie,
- 369 ton ammoniumsulfaat oplossing,
- 275.000 m^3 biogas.

Van de 43 ton stikstof (N) die via de rundveemest in de vergister wordt ingevoerd komt circa 43% in de vorm van ammoniumsulfaat uit de installatie vrij.
Van de 14,9 ton fosfaat (P_2O_5) in de rundveemest komt circa 70% in de dunne fractie terecht en 30% in de dikke fractie. Het scheidingsrendement voor fosfaat van de gehanteerde mestscheider bedraagt 30%.

5.8.3 Investeringen en exploitatie

De toevoeging van het vergistingsproces leidt tot een hogere benodigde investering ten opzichte van de variant zonder vergisting. De investering inclusief monovergisting bedraagt ruim 660.000 euro (zie tabel 5.18).

Door de hogere investering nemen de jaarkosten toe tot 705 euro per melkkoe. De opbrengsten uit vermeden energiekosten, levering van energie, SDE-subsidie en vermeden mestafzetkosten en besparing van kunstmestinkoop bedragen samen 683 euro melkkoe. Bij deze bedrijfsgrootte zijn opbrengsten en kosten nagenoeg gelijk. Het berekende licht negatieve resultaat bedraagt 22 euro per melkkoe.

Tabel 5.18 *Investeringen, jaarkosten en -opbrengsten bij toepassing van een stalsysteem met dagontmesting en vergisting van mest bij intensief bedrijf met een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investeringen	€	660.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	705
Kosten	€/melkkoe/jaar	683
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-22

5.8.4 Gevoeligheid exploitatie

Uit tabel 5.19 kan worden opgemaakt dat toepassing van monovergisting en strippen van stikstof uit de dunne fractie van het digestaat op een intensief bedrijf met dagontmesting vanaf een bedrijfsgrootte van circa 250 melkkoeien tot een positief exploitatieresultaat leidt.

Het strippen van ammoniak uit de dunne mestfractie van het digestaat leidt bij de gekozen uitgangspunten niet tot een verbetering van het exploitatieresultaat ten opzichte van de situatie waarbij alleen monovergisting wordt toegepast. Het voordeel van vermeden mestafzetkosten en besparing van inkoop van kunstmest wegen niet op tegen de kosten van de hogere investering.

Tabel 5.19 *Resultaten exploitatie[1] intensief bedrijf en toepassing dagontmesting, monovergisting en strippen van ammoniak uit de dunne fractie van het digestaat bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.*

Investeringen		**90%**	**100%**	**110%**
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-444	-530	-618
150	€/melkkoe	-188	-250	-313
200	€/melkkoe	-59	-108	-159
250	€/melkkoe	20	-22	-65
300	€/melkkoe	73	36	-2

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

5.9 Scheiden urine + feces (scenario 8)

5.9.1 Emissies

In tabel 5.20 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij drijfmest in de stal wordt gescheiden. De feces- en gierfracties worden niet verder verwerkt en als zodanig aangewend. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 6,6 ton en 47,5 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 7,0 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee.

Tabel 5.20 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor scheiden urine en feces.*

Emissie	Stal	Externe opslag	Productie mest-producten	Vergisten	Opslag na verwerking	Aanwenden	Totaal
NH_3	2,6	0,05				4,0	6,6
CH_4	14,4	33,1					47,5

5.9.2 Massabalansen

Het stalsysteem voorziet in een gescheiden opvang van feces en urine in de melkveestal. De totale mestproductie van melkvee en jongvee bedraagt 9.004 ton per jaar.

Uit het stalsysteem komen de volgende meststromen vrij:
- 3.514 ton urine (gier),
- 3.514 ton feces van melkvee,
- 1.976 ton jongveemest.

De feces en drijfmest uit de jongveestal worden gemengd aangewend.

De excretie van stikstof bedraagt 44,9 ton per jaar. Als gevolg van de stikstofverliezen in stal en opslag resteert bij aanwending van de mest 42,7 ton stikstof. Het stikstofverlies dat optreedt in de stal en opslag bedraagt 2,2 ton N/jaar.
De excretie van fosfaat bedraagt 14, 9 ton P_2O_5 per jaar. Er treedt geen verlies van fosfaat op.

5.9.3 Investeringen en exploitatie

De meer-investering voor een stalsysteem met scheiding van urine en feces met RAV-code A1.18 ten opzichte van een stalsysteem zonder het geïmplementeerde emissiearme systeem bedraagt 158 euro per dierplaats. De jaarkosten van het stalsysteem bedragen 15 euro per dierplaats. (KWIN-veehouderij 2020-2021).

5.10 Semi-dichte vloer + onder afzuiging (scenario 9.1)

5.10.1 Emissies

In tabel 5.21 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij drijfmest wordt gescheiden en de lucht onder en boven de roosters wordt afgezogen. De dunne fractie wordt verder verwerkt in een stikstofconcentraat. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 5,3 ton en 47,5 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 3,6 kg/dierplaats/jaar, op basis van een voorlopige RAV emissiefactor, uitgaande van alleen ammoniakemissies uit de melkveestal.

Tabel 5.21 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor semi-dichte vloer met onderafzuiging.*

Emissie	Stal	Externe opslag	Productie mest-producten	Vergisten	Opslag na verwerking	Aanwenden	Totaal
NH_3	1,7	0,04				3,5	5,3
CH_4	14,4	33,1					47,5

5.10.2 Massabalansen

In het scenario 'Semi-dichte vloer + onder afzuiging' zijn inlegstukken met kleine openingen in de sleuven van de roostervloer aangebracht waardoor urine kan afstromen naar de mestkelder en feces op de roosters achterblijft. De feces wordt verzameld en binnen een dag uit de stal afgevoerd met behulp van een mestrobot. De robot spoelt de roosters met water na. Hierdoor treedt enige verdunning van de mest op. De lucht onder de roosters wordt afgezogen en afgevoerd naar een chemische luchtwasser. Door de verdunning en door de afzuiging van de mestkelder wordt de emissie van ammoniak uit de mestkelder gereduceerd.
De mestproductie van melkvee en jongvee bedraagt 9.004 ton per jaar. De hoeveelheid water die gebruikt wordt voor het schoonspoelen van de roostervloer bedraagt 2.000 ton per jaar.

Uit het stalsysteem komen de volgende meststromen vrij:
- 5.514 ton urine,
- 5.490 ton feces en jongveemest,
- 75 ton ammoniumsulfaat.

De berekende samenstelling van de eindproducten is weergegeven in bijlage 5.
Er is van uitgegaan dat de verzamelde feces en jongveemest gezamenlijk worden opgeslagen en als mengsel worden aangewend.

Van de hoeveelheid stikstof die uit het stalsysteem vrijkomt (43,3 ton N) komt circa 9% (3,8 ton N) in het spuiwater van de luchtwasser terecht. De urine bevat circa 44% en het mengsel van feces en jongveemest circa 46% van de hoeveelheid stikstof die uit de stal vrijkomt. Een relatief beperkt deel van de stikstof in de mest van de melkveestal, emitteert bij de luchtwasser. Naast de restemissie uit de luchtwasser van de onder afzuiging treedt emissie van stikstof vanaf de vloeren van de melkveestal en vanuit de jongveestal op.

Van de hoeveelheid fosfaat in de mest uit de melkvee- en jongveestal (circa 14,9 ton P_2O_5) bevindt zich 14% in de urinefractie en 86% in het mengsel feces en jongveemest.

5.10.3 Investeringen en exploitatie

De investering in het stalsysteem bedraagt voor een bedrijf met 250 melkkoeien circa 300.000 euro (zie tabel 5.22). Het waterverbruik van de mestrobot leidt tot een toename van het mestvolume en daarmee tot een toename van de mestafzetkosten. De opbrengstenpost 'vermeden mestafzetkosten' is in dit scenario dus negatief. Er is wel een beperkt voordeel ten aanzien van de inkoop van kunstmest, maar dat voordeel is aanzienlijk kleiner dan de extra kosten voor mestafzet.
De toepassing van dit stalsysteem leidt bij de gehanteerde uitgangspunten tot een negatief resultaat van 259 euro per melkkoe.

Tabel 5.22 *Investeringen, jaarkosten en -opbrengsten bij toepassing van een stalsysteem met semi-dichte vloer en onder afzuiging bij een intensief bedrijf met een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investeringen	€	300.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	-32
Kosten	€/melkkoe/jaar	221
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-253

5.10.4 Gevoeligheid exploitatie

Uit tabel 5.23 kan worden opgemaakt dat voor alle doorgerekende bedrijfsgrootten en variaties van de investeringsomvang een negatief bedrijfsresultaat ontstaat.

Tabel 5.23 *Resultaten exploitatie[1] intensief bedrijf en toepassing van een semi dichte roostervloer, onder afzuiging met luchtwassing bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.*

Investeringen		90%	100%	110%
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-253	-272	-290
150	€/melkkoe	-247	-265	-284
200	€/melkkoe	-236	-254	-272
250	€/melkkoe	-235	-253	-271
300	€/melkkoe	-228	-247	-265

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

5.11 Semi-dichte vloer + onder afzuiging + monovergisten (scenario 9.2)

5.11.1 Emissies

In tabel 5.24 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario welke gelijk is aan scenario 9.1, echter wordt de dikke fractie, samen met de jongveemest, vergist. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 5,2 ton en 13,8 ton. Het huisvestingssysteem is gelijk aan scenario 9.1 waarbij de ammoniakemissie uitkomt op 3,6 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen ammoniak emissies uit de melkveestal.

Tabel 5.24 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor semi-dichte vloer met onderafzuiging en monomestvergisting.*

Emissie	Stal	Externe opslag	Productie mest-producten	Vergisten	Opslag na verwerking	Aanwenden	Totaal
NH_3	1,7				0,1	3,4	5,2
CH_4	7,2			3,6	3,0		13,8

5.11.2 Massabalansen

In het scenario 'Semi-dichte vloer+ onder afzuiging +monovergisten' is een vergistingsproces toegevoegd aan het stalsysteem en mestbehandeling zoals is beschreven onder paragraaf 5.10. De feces en jongveemest worden in dit scenario ingevoerd in de vergister.

Bij een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien worden de volgende hoeveelheden eindproducten geproduceerd:
- 5.212 ton digestaat,
- 5.514 ton urine,
- 75 ton ammoniumsulfaat,
- 231.000 m^3 biogas.

Van de hoeveelheid stikstof die uit het stalsysteem vrijkomt (43,4 ton N) komt circa 9% (3,8 ton N) in het spuiwater van de luchtwasser terecht. Het overige deel bevindt zich in het digestaat (44%) en in de urinefractie (45%). Een relatief beperkt deel van de stikstof in de mest die uit de stal komt, emitteert bij het luchtwasproces.

Van de hoeveelheid fosfaat in de mest uit de melkvee- en jongveestal (circa 14,9 ton P_2O_5) bevindt zich 14% in de urinefractie en 86% in het mengsel feces en jongveemest.

5.11.3 Investeringen en exploitatie

De toevoeging van het vergistingsproces leidt tot een hogere benodigde investering ten opzichte van de variant zonder vergisting. De investering inclusief monovergisting bedraagt ruim 727.000 euro (zie tabel 4.25.

Door de hogere investering nemen de jaarkosten voor onderhoud, afschrijving en rente toe, waardoor de totale jaarkosten oplopen tot 575 euro per melkkoe. De opbrengsten uit vermeden energiekosten, levering van energie, SDE-subsidie en vermeden mestafzetkosten en besparing van kunstmestinkoop bedragen samen 410 euro melkkoe. Hierdoor wordt een negatief resultaat berekend van 165 euro per melkkoe.

Tabel 5.25 *Investeringen, jaarkosten en -opbrengsten bij toepassing van een stalsysteem met semi-dichte vloer en onder afzuiging bij een intensief bedrijf met een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien en toepassing van monovergisting.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investeringen	€	727.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	410
Kosten	€/melkkoe/jaar	575
Opbrengsten – kosten	€/melkkoe/jaar	-165

5.11.4 Gevoeligheid exploitatie

De toevoeging van monomestvergisting leidt tot een verbetering van het exploitatieresultaat ten opzichte van de situatie zonder vergisting. Het totale exploitatieresultaat inclusief het stalsysteem is negatief voor de doorgerekende bedrijfsgrootten.

Tabel 5.26 *Resultaten exploitatie[1] intensief bedrijf en toepassing van een semi dichte roostervloer, onder afzuiging met luchtwassing en toepassing van monovergisting bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.*

Investeringen		**90%**	**100%**	**110%**
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-91	-161	-232
150	€/melkkoe	-113	-169	-224
200	€/melkkoe	-116	-164	-212
250	€/melkkoe	-122	-165	-209
300	€/melkkoe	-121	-161	-201

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

5.12 Overzicht resultaten scenario's

5.12.1 Emissies

In tabel 5.27 en figuur 5.1 zijn de ammoniakemissies per verwerkingsstap voor alle scenario's en varianten van intensieve bedrijfssystemen met 250 melkkoeien weergegeven.

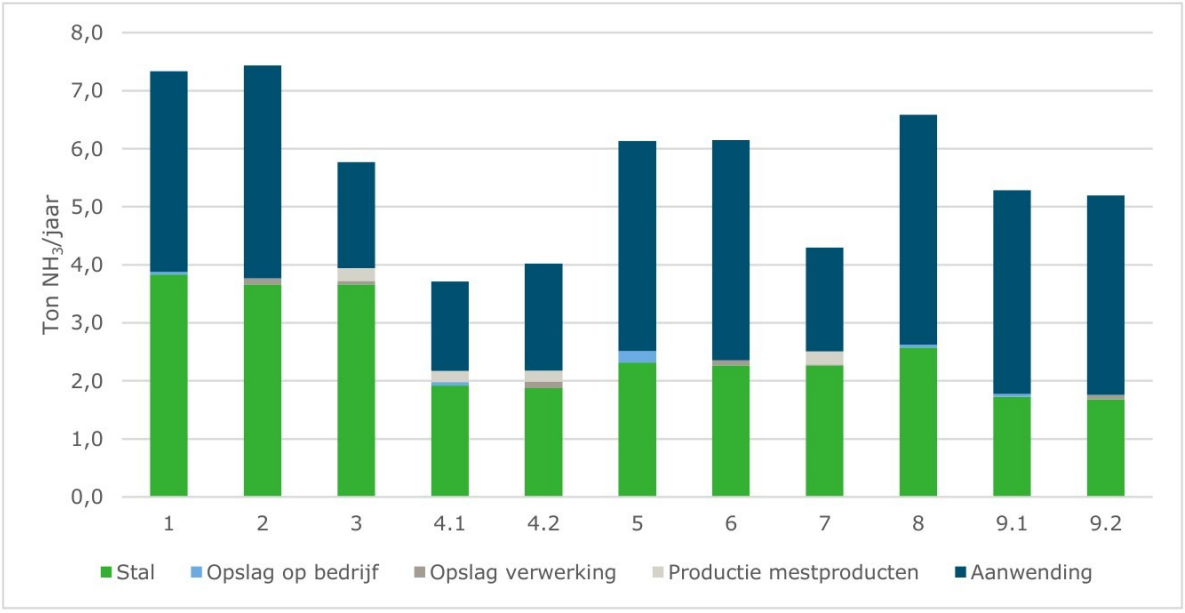
Tabel 5.27 *Ammoniakemissie voor verschillende scenario's van verwerking rundveemest (ton/jaar) voor intensieve bedrijfssystemen.*

Nr.	Scenario	Stal	Externe opslag bedrijf	Productie mest-producten	Opslag na verwerking	Aanwending	Totaal
1	Regulier	3,8	0,04			3,5	7,3
2	Regulier + vergisten	3,7			0,1	3,7	7,5
3	Regulier + vergisten + strippen	3,7		0,2	0,07	1,9	5,8
4.1	Regulier + verdunnen + strippen	1,9	0,06	0,2		1,5	3,7
4.2	Regulier + verdunnen + strippen + vergisten	1,9		0,2	0,1	1,8	4,0
5	Dagontmesting zonder verwerking	2,3	0,2			3,6	6,1
6	Dagontmesting + vergisten	2,3			0,1	3,8	6,2
7	Dagontmesting + vergisten + strippen	2,3		0,2	0,02	1,8	4,3
8	Scheiden urine en feces	2,6	0,05			4,0	6,6
9.1	Semi-dichte vloer + onder afzuiging	1,7	0,04			3,5	5,3
9.2	Semi-dichte vloer + onder afzuiging + vergisten	1,7			0,1	3,4	5,2

Voor ammoniak liggen de gasvormige verliezen voor scenario 4.1 het laagst, met een totaalverlies van 3,7 ton NH_3/jaar waarbij mest in de stal wordt verdund en verder wordt verwerkt in een stikstofconcentraat. Waardoor ook bij aanwenden minder verliezen optreden. Ook scenario's 4.2, 7 en 9.2 zorgen voor lage emissies, waarbij de totale ammoniakemissie tussen 4,0-5,2 ton/jaar zijn. Ten opzichte van het reguliere scenario, waarin drijfmest niet verder wordt verwerkt, zorgt scenario 4.1 voor een totale afname in emissies van 50%. Scenario's 4.2, 7 en 9.2 zorgen voor een gemiddelde afname van 39% ten opzichte van het reguliere scenario. Ten opzichte van scenario 3, waarin oude drijfmest wel verder wordt verwerkt is dit een afname van 36% voor scenario 4.1 en gemiddeld 22% voor scenario 4.2, 7 en 9.1.

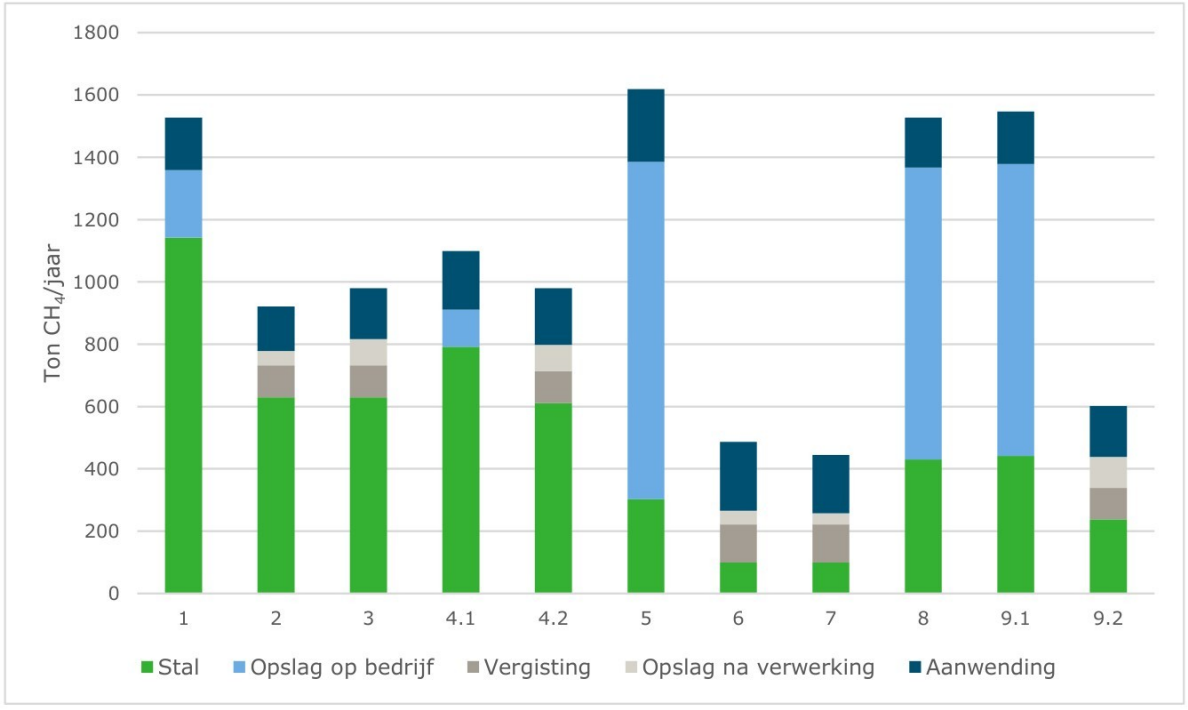
In figuur 5.1 is te zien dat vooral in de stal en tijdens aanwenden van mestproducten een reductie van ammoniak te realiseren is. Het dagelijks verwijderen van mest of scheiden van feces en urine kan in de stal voor een reductie tussen de 33% en 56% zorgen, afhankelijk van het huisvestingssysteem en of de mest(fracties) snel worden verwijderd. Het verder verwerken van drijfmest kan tijdens aanwending van de mestproducten voor een reductie van 47-56% zorgen. Echter is dit sterk afhankelijk van de fracties die overblijven. In scenario 9.1 en 9.2, waar naast een stikstofconcentraat, ook een urine- en dunne mestfractie overblijft, blijft de emissie tijdens aanwending nagenoeg gelijk aan scenario 1 waarin drijfmest als zodanig wordt aangewend.

Voor intensieve bedrijven is op basis van het aantal hectares gras- en bouwland op het bedrijf en de mestgebruiksnormen berekend welk deel van de mest(fracties) op eigen bedrijf kan worden aangewend en hoeveel mest(fracties) moet worden afgezet naar derden. De ammoniakemissies tijdens aanwending die hier zijn gepresenteerd vormen het totaal van emissies tijdens aanwending op eigen land en bij derden. Zie bijlage 1 voor de gebruikte emissiefactoren voor aanwending op gras- en bouwland.



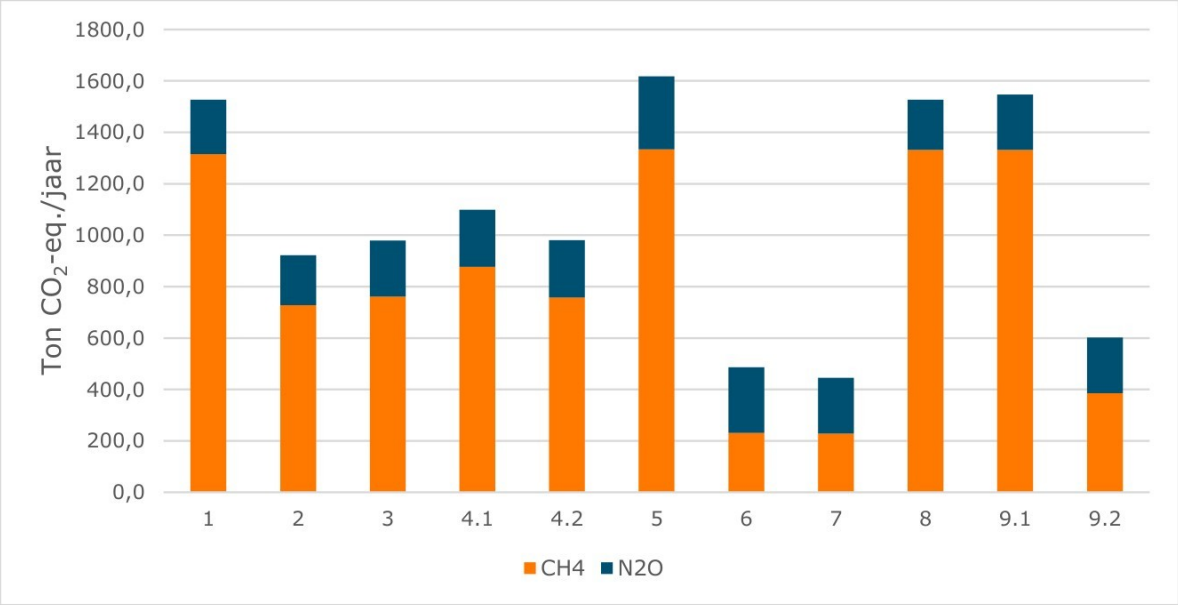
Figuur 5.1 *Ammoniakemissies (ton NH_3/jaar) per scenario voor intensieve bedrijven.*

Het effect op de broeikasgasemissies van de verschillende huisvestingssystemen en het wel of niet verder ver- en bewerken van de rundveemest is weergegeven in figuur 5.2. Deze emissies zijn gebaseerd op de methaan- en lachgasemissies die vrijkomen uit de stal tot en met aanwending van de mest(producten). In bijlage 3 zijn de totale methaan- en lachgasemissies weergegeven. Hier is te zien dat scenario 5 (dagontmesting zonder verwerking) de hoogste broeikasgas emissies heeft met in totaal ruim 1.600 ton CO_2-eq./jaar. Deze broeikasgas-emissies zijn in dit scenario vooral te relateren aan langdurige opslag, aangezien de dagelijks verwijderde mest voor gemiddeld 3 maanden in opslag zit. Scenario's 2 t/m 4.2 hebben vergelijkbare broeikasgas-emissies (tussen de 925 – 1.100 ton CO_2-eq./jaar). In deze scenario's liggen de stalemissies lager dan het referentiescenario (1) door het sneller verwijderen van de mest waarna deze verder wordt verwerkt. De scenario's waarbij dagontmesting met verdere verwerking wordt toegepast (6 en 7) en het scheiden van urine en feces in de stal (9.2) hebben een aanzienlijke reductie in totale emissies, welke gemiddeld 65% lager liggen dan het referentiescenario.



Figuur 5.2 *Broeikasgasemissies (ton CO_2-eq./jaar) per scenario.*

In figuur 5.3 is het aandeel methaan en lachgas in totale broeikasgasemissies uit mest weergegeven. Hierin is te zien dat methaan voor alle scenario's een aanzienlijke rol speelt in totale broeikasgasemissies die vrijkomen in de keten. Lachgas speelt een relatief kleine rol met een gemiddeld aandeel van 26% in totale emissies. Voor scenario 6 en 7, waar drijfmest dagelijks wordt verwijderd uit de stal en verder wordt verwerkt, is het aandeel methaan en lachgas nagenoeg gelijk met een verhouding van respectievelijk 0,47/0,53 en 0,51/0,49.



Figuur 5.3 *Totale methaan- en lachgasemissie in de keten (ton CO_2-eq./jaar) per scenario.*

Wanneer zowel ammoniak- als broeikasgasemissies worden vergeleken, geeft scenario 7 (dagontmesting + monovergisten + strippen) de laagste totale emissies per jaar van stal tot mestverwerking en aanwending van de mestproducten. Scenario 4.2 en 9.2 zorgen voor significante reducties van respectievelijk ammoniak en broeikasgassen maar is er over de gehele keten enige afwenteling te zien. Een samenvatting van broeikasgas- en ammoniakemissies voor deze scenario's is in tabel 5.28 weergegeven.

Tabel 5.28 *Scenario's met de laagste emissies voor ammoniak en broeikasgassen.*

Nr.	Scenario	NH_3 emissie (ton/jaar)	NH_3 emissie (kg/dierplaats/jaar)[1]	Broeikasgasemissie (ton CO_2-eq./jaar)
7	Dagontmesting + vergisten + strippen	4,3	17,2	444
4.1	Regulier + verdunnen + strippen + vergisten	3,7	16,1	1099
9.2	Semi-dichte vloer + onder afzuiging + vergisten	5,2	20,8	602

1 Berekend over de gehele keten: van uitscheiding mest in stal tot en met aanwending mestproducten, toegekend aan 250 dierplaatsen melkvee.

5.12.2 Kostenramingen

Tabel 5.29 toont de meerinvestering en het exploitatieresultaat van de doorgerekende scenario's voor intensieve bedrijven met 250 melkkoeien ten opzichte van reguliere stallen zonder mestbehandeling. In figuur 5.5 zijn de meerinvesteringen in een kolomdiagram weergegeven en figuur 5.6 geeft het exploitatieresultaat weer uitgedrukt in het verschil tussen jaarlijkse opbrengsten en jaarlijkse kosten.

Uit figuur 5.6 blijkt dat het toepassen van monovergisting voor intensieve bedrijven met 250 melkkoeien met reguliere stalsystemen rendabel is. Uit de gevoeligheidsanalyse is gebleken dat

monovergisting voor intensieve bedrijven vanaf een bedrijfsomvang van circa 200 melkkoeien rendabel kan zijn. Bij toepassing van een stalsysteem met dagontmesting kan dagverse mest in de vergister worden ingevoerd, waardoor een hogere biogasproductie plaatsvindt en de opbrengsten toenemen. Bij de toepassing van monovergisting is gerekend met een nuttig gebruik van alle warmte die de warmtekrachtinstallatie produceert. Dat is echter geen vanzelfsprekendheid.

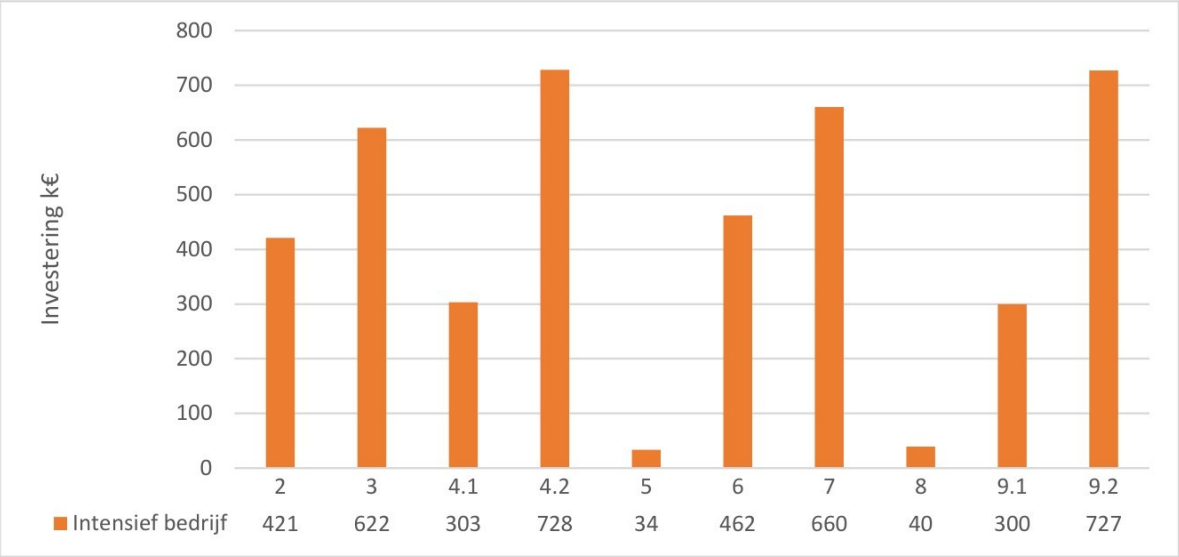
Een deel van de geproduceerde warmte die vrijkomt bij het verbranden van het biogas in een WKK installatie wordt gebruikt voor het verwarmen de vergister. Het overige deel van de warmte kan worden gebruikt om ammoniak uit de mest te strippen en op te vangen in de vorm van ammoniumsulfaat. Echter, met de hier gehanteerde uitgangspunten wegen opbrengsten niet op tegen de kosten voor het strippen van de mest. Bij reguliere stalsystemen met monovergisting en strippen van de dunne fractie van het digestaat, leidt dit tot een negatief exploitatieresultaat. Bij stalsystemen met dagontmesting kan wel nog een positief exploitatieresultaat worden behaald vanaf een bedrijfsomvang van meer dan 250 melkkoeien, maar dat is aanzienlijk lager dan zonder stripproces.

Het scenario waarbij in de reguliere stallen de mest wordt verdund met ammoniakarme dunne fractie met het doel om de ammoniakemissie uit de stallen te reduceren brengt relatief hoge kosten met zich mee. Het verbruik aan chemicaliën voor het strippen van de stikstof en het opvangen van de stikstof in zwavelzuur vormt een belangrijke kostenpost. Toevoeging van monovergisting levert in de reguliere bedrijfssituatie niet voldoende opbrengsten om de kosten te compenseren. Uit de gevoeligheidsanalyse is gebleken dat ook bij een bedrijfsgrootte van 300 melkkoeien en 10% lagere investeringskosten een negatief exploitatieresultaat blijft bestaan.

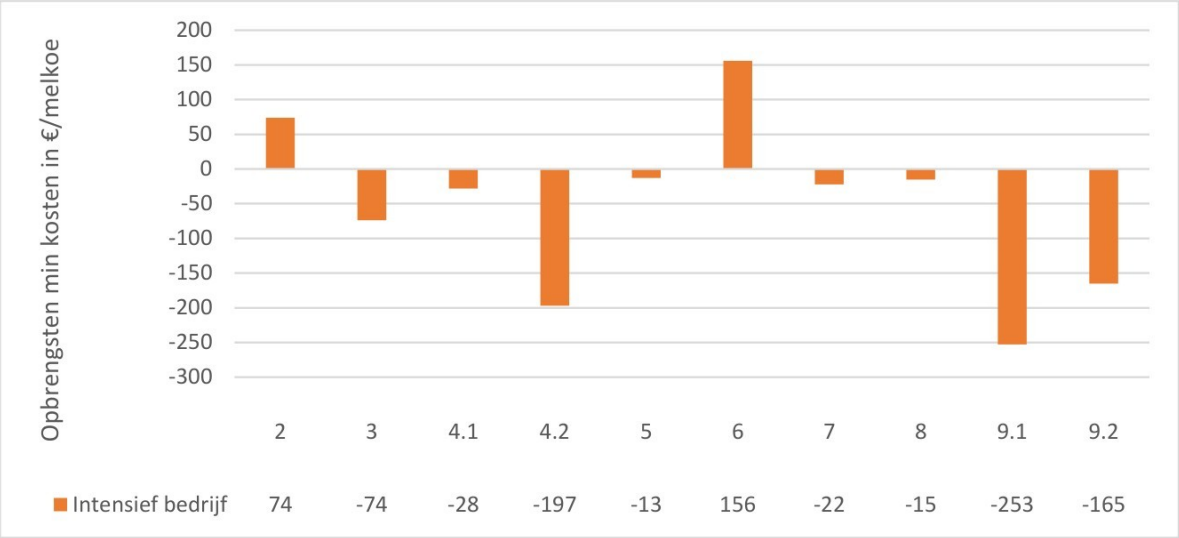
Ook de stalsystemen waarbij de emissie van ammoniak wordt gereduceerd door toepassing van semi-dichte vloeren en afzuiging van de mestkelder met luchtwassing, leiden tot relatief hoge jaarkosten. De toename van het mestvolume door het besproeien van de roostervloeren leidt tot een aanzienlijke toename van de mestafzetkosten. Toepassing van monovergisting is bij dit stalsysteem en de bedrijfsomvang van 250 melkkoeien rendabel. Echter, de opbrengsten zijn niet voldoende om de kosten van het stalsysteem te compenseren.

Tabel 5.29 *Overzicht van investeringen en exploitatieresultaat van de doorgerekende scenario's voor intensieve melkveebedrijven met 250 melkkoeien, 9.004 ton mest en 100 ha.*

	Scenario	**Bedrijf**	**Eenheid**	**Bedrag**
1	Regulier	Investering	k€	-
		Exploitatie	€/melkkoe	-
2	Regulier + monovergisting	Investering	k€	421
		Exploitatie	€/melkkoe	74
3	Regulier + monovergisting + strippen	Investering	k€	622
		Exploitatie	€/melkkoe	-74
4.1	Regulier + verdunnen + strippen	Investering	k€	303
		Exploitatie	€/melkkoe	-28
4.2	Regulier + verdunnen + strippen	Investering	k€	728
	+ monovergisten	Exploitatie	€/melkkoe	-197
5	Dagontmesting	Investering	k€	34
		Exploitatie	€/melkkoe	-13
6	Dagontmesting + monovergisting	Investering	k€	462
		Exploitatie	€/melkkoe	156
7	Dagontmesting + monovergisting	Investering	k€	660
	+ strippen	Exploitatie	€/melkkoe	-22
8	Scheiding urine/feces	Investering	k€	40
		Exploitatie	€/melkkoe	-15
9.1	Semi-dichte vloer + onder afzuiging	Investering	k€	300
		Exploitatie	€/melkkoe	-253
9.2	Semi-dichte vloer + onder afzuiging	Investering	k€	727
	monovergisting	Exploitatie	€/melkkoe	-165



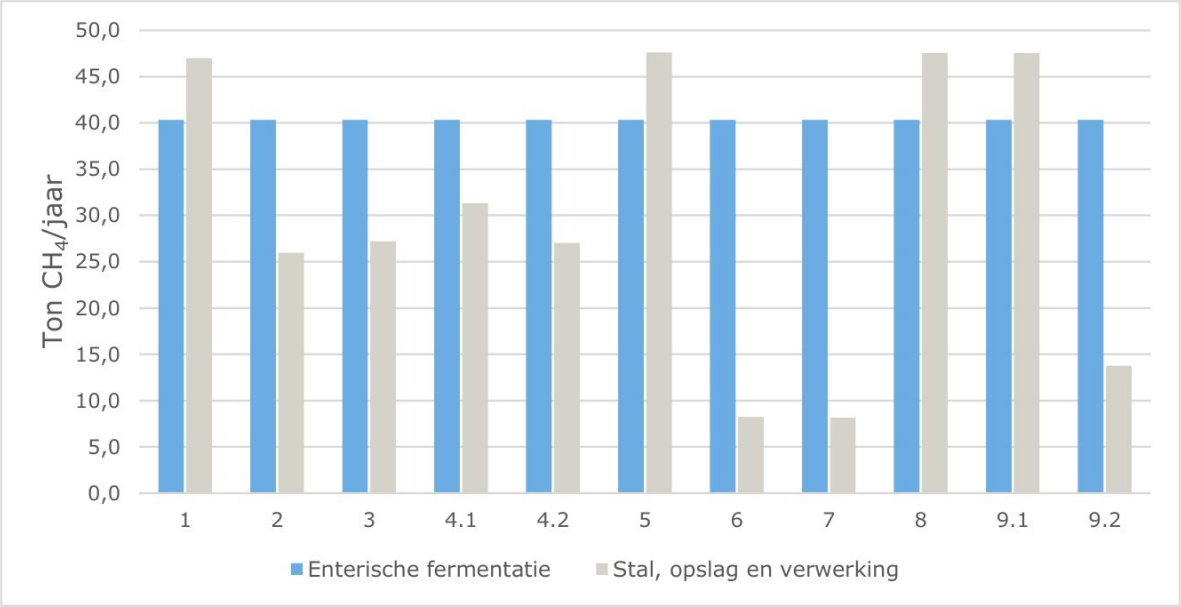
Figuur 5.5 *Meer investering stalsystemen en mestbehandeling van intensieve bedrijven met 250 melkkoeien ten opzichte van reguliere stalsystemen zonder behandeling van mest.*



Figuur 5.6 *Opbrengsten minus kosten van stalsystemen en mestbehandeling van intensieve bedrijven met 250 melkkoeien ten opzichte van reguliere stalsystemen zonder behandeling van mest.*

5.13 Methaanemissie door enterische fermentatie

Deze studie heeft zich gericht op de emissiereductie uit mest die kan worden behaald wanneer bepaalde huisvestingssystemen en/of mestverwerkingstechnieken worden toegepast op een melkveehouderijbedrijf. Hierbij is gekeken naar de gasvormige stikstofemissies en methaanemissies. De resultaten tonen aan dat de methaanemissie aanzienlijk kan worden gereduceerd wanneer mest snel wordt verwijderd uit de stal en via monovergisten verder wordt verwerkt. Echter dienen deze reducties naast de methaanemissie uit pens- en darmfermentatie te worden gelegd, om een compleet beeld te krijgen van de mate waarin methaanemissies kunnen worden gereduceerd op bedrijfsniveau. Op basis van emissiefactoren voor melkkoeien, pinken en kalveren (zie bijlage 1 voor de uitgangspunten) is voor deze studie berekend wat de gemiddelde methaanproductie uit enterische fermentatie is voor de gehanteerde veestapel. In figuur 5.7 is de totale methaanemissie uit enterische fermentatie naast de totale methaanemissie van mest uit stal, opslag en verwerking weergegeven.



Figuur 5.7 *Methaanemissie uit enterische fermentatie en mest (ton CH_4/jaar).*

Uit bovenstaande figuur wordt duidelijk dat methaanemissie uit pens- en darmfermentatie een significante rol speelt bij de totale emissie op bedrijfsniveau. Als stelregel wordt veelal gebruikt dat circa 60% van de methaan emissies enterische oorsprong heeft. Uit de berekening komt een lagere relatieve bijdrage van enterische methaan. Dit komt waarschijnlijk door de gekozen uitgangspunten bijvoorbeeld geen weidegang en langdurige opslag van mest.

6 Resultaten massabalansen, economie en emissies extensieve bedrijven

In dit hoofdstuk zijn de resultaten uit het emissiemodel, massabalansmodel en economische model beschreven per scenario. In paragraaf 6.12 zijn de uitkomsten van de verschillende scenario's vergeleken.

Overzichten van alle resultaten zijn opgenomen in de bijlagen:

- Emissies NH_3 CH_4 en N_2O: Bijlage 3.
- Flowschema's en massabalansen: Bijlage B5.
- Detaillering kostenramingen: Bijlage 6.

6.1 Regulier (referentie scenario 1)

6.1.1 Emissies

In tabel 6.1 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het referentiescenario waarbij drijfmest 1 maand wordt opgeslagen in de kelder onder de roostervloer en niet verder wordt verwerkt. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 7,2 ton en 37,4 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 11,1 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee.

Tabel 6.1 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor regulier (referentie).*

Emissie	Stal	Wei	Externe opslag	Aanwenden	Totaal
NH_3	3,7	0,1	0,04	3,3	7,2
CH_4	31,2	0,1	6,1		37,4

6.1.2 Massabalansen

De mestproductie van het extensieve referentie melkveebedrijf met 250 melkkoeien bedraagt 8.980 ton per jaar, waarvan 8.206 ton in de stal wordt geproduceerd en 744 ton gedurende de weidegang. Bij de berekening van de mestproductie zijn de uitgangspunten gehanteerd zoals vermeld in tabel 2.1.

De excretie van stikstof in de stal bedraagt 42,8 ton per jaar. De excretie van stikstof tijdens de weidegang bedraagt circa 4 ton per jaar. Als gevolg van de stikstofverliezen in stal en opslag resteert bij aanwending van de mest uit stal en opslag 39,7 ton stikstof Het stikstofverlies betreft ammoniak-N en lachgas-N.
De excretie van fosfaat bedraagt 15,9 ton P_2O_5 per jaar, waarvan 14,6 gedurende de stalperiode wordt uitgescheiden en het overige deel gedurende de weideperiode.

6.1.3 Investeringen en exploitatie

Het scenario Regulier zonder mestverwerking' vormt het referentiescenario waartegen de resultaten van de overige scenario's zijn afgezet. Van de verschillende scenario's in deze studie zijn de meer-investeringen bepaald en zijn de verschillen in jaarkosten/- opbrengsten berekend ten opzichte van dit referentiescenario.

6.2 Regulier + monovergisten (scenario 2)

6.2.1 Emissies

In tabel 6.2 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij drijfmest wordt vergist en het digestaat als zodanig wordt aangewend. Het huisvestingssysteem is gelijk aan het referentiescenario. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 7,4 ton en 26,9 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 10,6 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee. Doordat drijfmest in dit scenario sneller uit de stal wordt verwijderd dan bij het referentiescenario, verschillen de ammoniakemissies per dierplaats tussen beide scenario's, ondanks dat hetzelfde huisvestingssysteem wordt gebruikt.

Tabel 6.2 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor regulier met monomestvergisting.*

Emissie	Stal	Wei	Externe opslag	Vergisten	Opslag na verwerking	Aanwenden	Totaal
NH_3	3,5	0,1	0,03		0,1	3,6	7,4
CH_4	16,9	0,1	6,1	2,9	0,9		26,9

6.2.2 Massabalansen

In het scenario 'Regulier + monovergisten' wordt per jaar 8.206 ton drijfmest vanuit de opslag in de stal naar de vergister geleid. Tijdens het vergistingsproces wordt organische stof omgezet en circa 175.000 m^3 biogas gevormd. Na vergisting resteert 7.996 ton digestaat.

De vracht stikstof in het digestaat bedraagt 39,8 ton N per jaar, waarvan circa 64% in de vorm van ammoniumstikstof aanwezig is. Het hoge aandeel ammoniumstikstof is het gevolg van de omzetting van organische stof in de vergister, waarbij een deel van de organisch gebonden stikstof vrijkomt in de vorm van ammoniak.

De vracht fosfaat in het digestaat bedraagt 14,6 ton P_2O_5 per jaar.

6.2.3 Investeringen en exploitatie

De realisatie van een monovergistingsinstallatie voor een bedrijf met 250 melkkoeien vraagt een investering van 405.000 euro (zie tabel 6.3). De jaarlijkse kosten die samenhangen met de exploitatie van de installatie bedragen 346 euro per melkkoe. Het aandeel rente en afschrijving bedraagt circa 49% van de jaarkosten.

De opbrengsten bedragen eveneens 346 euro per melkkoe en zijn vrijwel volledig gerelateerd aan de energieproductie uit biogas. De opbrengsten betreffen vermeden inkoop van energie, levering van energie en groencertificaten en SDE++ subsidie.
Een klein deel van de opbrengsten vloeien voort uit vermeden mestafzetkosten.

De exploitatie van een monovergistingsinstallatie voor een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien is ongeveer break even. Hierbij dient te worden opgemerkt dat bij de bepaling van de opbrengsten is gerekend met een nuttig gebruik van alle geproduceerde warmte. Het vergistingsproces zelf vraagt ongeveer 30% van de geproduceerde warmte. Voor het overige deel van de warmte zal een nuttige bestemming gevonden moeten worden om het toegerekende voordeel daadwerkelijk te kunnen realiseren.

Tabel 6.3 *Investeringen, jaarkosten en -opbrengsten van toepassing van monovergisting van mest van een regulier extensief bedrijf met 250 melkkoeien.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investeringen	€	405.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	346
Kosten	€/melkkoe/jaar	346
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-1

6.2.4 Gevoeligheid exploitatie

Uit tabel 6.4 kan worden opgemaakt dat toepassing van monovergisting op een regulier extensief bedrijf vanaf een bedrijfsgrootte vanaf circa 250 melkkoeien tot een positief exploitatieresultaat leidt. Hierbij is van belang dat de gemiddelde ouderdom van de mest bij inbreng in de vergister niet meer dan circa 30 dagen bedraagt verder is uitgegaan van 100% benutting van de warmte van de warmtekracht installatie. Wanneer buiten de warmtebehoefte van de vergister zelf geen andere toepassing voor de warmte op het bedrijf aanwezig wordt pas een bedrijfsgrootte vanaf circa 500 melkkoeien een positief exploitatieresultaat bereikt. Dit is te verklaren met het feit dat bij extensieve bedrijven een deel van de mestproductie plaatsvindt tijdens de weidegang en dus minder mest beschikbaar is voor de productie van biogas ten opzichte van de situatie bij intensieve bedrijven waar geen weidegang wordt toegepast.

Naarmate de schaalgrootte toeneemt en de mest sneller vanuit de mestkelders in de vergister kan worden gebracht neemt het exploitatieresultaat verder toe.

Tabel 6.4 *Resultaten exploitatie[1] regulier extensief bedrijf met monovergisting bij variatie van de gemiddelde ouderdom van de mest bij invoer in de monovergisting en bij variatie van de bedrijfsgrootten.*

Ouderdom mest	**d**	**10**	**30**	**60**	**90**
Biogasopbrengst	m3/kg OS	0,41	0,37	0,32	0,28
Aantal melkkoeien					
100	€/melkkoe	-296	-329	-370	-401
150	€/melkkoe	-111	-146	-187	-217
200	€/melkkoe	-17	-52	-93	-125
250	€/melkkoe	40	5	-36	-68
300	€/melkkoe	79	43	2	-30

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

6.3 Regulier + verdunnen + strippen (scenario 4.1)

6.3.1 Emissies

In tabel 6.5 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij mest in de stal wordt verdund en verder wordt verwerkt in een stikstofconcentraat. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 3,8 ton en 24,6 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 4,0 kg/dierplaats/jaar, op basis van voorlopige metingen, uitgaande van alleen de ammoniakemissies uit de melkveestal.

Tabel 6.5 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor regulier met verdunnen en strippen.*

Emissie	**Stal**	**Wei**	**Opslag op bedrijf**	**Productiemestproducten**	**Aanwenden**	**Totaal**
NH_3	1,9	0,1	0,05	0,2	1,5	3,8
CH_4	21,6	0,1	2,9			24,6

6.3.2 Massabalansen

In het scenario 'Regulier + verdunnen + strippen' wordt een mestrobot ingezet om de mest van de roostervloeren van de melkveestal te verwijderen. De robot veegt de feces door de roosters en spoelt de roosters na met ammoniakarme dunne mestfractie. Hiervoor wordt per volumedeel mest dat geproduceerd wordt, viermaal het volume ammoniakarme dunne fractie gebruikt. Door de verdunning van de mest neemt de concentratie ammoniak in de mestkelders af en daalt de emissie van ammoniak afkomstig uit de mestkelder. De ammoniakarme dunne mestfractie wordt verkregen door de mest uit de mestkelder van de melkveestal te scheiden en de ammoniak uit de dunne fractie te drijven. Het uitdrijven de ammoniak vindt plaats door de pH van de dunne fractie te verhogen onder toevoeging van natronloog. De luchtstroom die door de stripkolom wordt geleid, voert de uitgedreven ammoniak vervolgens naar een luchtwasser waar de ammoniak wordt teruggewonnen en opgevangen in een zwavelzure oplossing.

Bij een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien worden de volgende hoeveelheden eindproducten geproduceerd:
- 5.448 ton ammoniakarme dunne fractie,
- 2.739 ton mengsel dikke fractie en jongveemest,
- 297 ton ammoniumsulfaat.

Van de hoeveelheid stikstof die uit het stalsysteem vrijkomt (41,2 ton N) komt circa 36% (14,8 ton N) in het spuiwater van de luchtwasser terecht. De dunne mestfractie bevat circa 15% en de dikke fractie circa 48% van de hoeveelheid stikstof die origineel in de mest aanwezig was. Een relatief beperkt deel van de stikstof in de mest die uit de stal komt, emitteert bij het luchtwasproces.

Van de hoeveelheid fosfaat in de mest uit de melkvee- en jongveestal (circa 14,6 ton P_2O_5) bevindt zich 47% in de dunne fractie en 53% in het mengsel dikke fractie en jongveemest.

6.3.3 Investeringen en exploitatie

De investering voor de stalaanpassing en mestbehandeling bedraagt voor een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien ruim 300.000 euro. De jaarkosten voor het verbruik van natronloog voor het strippen van ammoniak en zwavelzuur van de luchtwasser zijn relatief groot, namelijk 96 euro per melkkoe, ofwel circa 30% van de totale jaarkosten van 323 euro per melkkoe.

Tegenover de kosten staan beperkte opbrengsten uit vermeden mestafzetkosten en vermeden inkoop van kunstmest van 19 euro per melkkoe. Het uitdrijven van stikstof uit de dunne mestfractie biedt voor het extensieve bedrijf waar (nagenoeg) alle stikstof uit mest op het bedrijf kan worden benut nauwelijks voordeel ten aanzien van kosten voor mestaanwending en mestafzet. De hoeveelheid benodigde kunstmest stikstof verandert niet of nauwelijks.
De jaaropbrengsten zijn aanzienlijk lager dan de jaarkosten en resulteert in een negatief resultaat van circa 304 euro per melkkoe per jaar.

Tabel 6.6 *Investeringen, jaarkosten en -opbrengsten bij toepassing van verdunnen met ammoniakarme dunne fractie, verkregen door scheiden en strippen van de mest van een regulier extensief bedrijf met 250 melkkoeien.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investeringen	€	303.225
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	19
Kosten	€/melkkoe/jaar	323
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-304

6.3.4 Gevoeligheid exploitatie

Uit tabel 6.7 kan worden opgemaakt voor alle doorgerekende bedrijfsgrootten en variaties van de investeringsomvang een negatief bedrijfsresultaat ontstaat.
Een toenemende bedrijfsgrootte heeft een sterk effect op het exploitatieresultaat. Een toename van de bedrijfsgrootte van 100 naar 300 melkkoeien leidt tot ongeveer een halvering van kosten.

Tabel 6.7. *Resultaten exploitatie[1] regulier extensief bedrijf en toepassing van het verdunnen van de mest in de mestkelder met ammoniak arme dunne fractie bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.*

Investeringen		**90%**	**100%**	**110%**
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-495	-528	-560
150	€/melkkoe	-386	-410	-434
200	€/melkkoe	-319	-337	-354
250	€/melkkoe	-289	-304	-320
300	€/melkkoe	-260	-273	-286

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

6.4 Regulier + verdunnen + strippen + monovergisten (scenario 4.1)

6.4.1 Emissies

In tabel 6.8 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij mest op dezelfde manier wordt verwerkt als scenario 4.1, echter wordt de dikke fractie, samen met de jongveemest, eerst vergist waarna het digestaat wordt aangewend. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 4,2 ton en 21,7 ton. Het huisvestingssysteem is gelijk aan scenario 4.1 en komt voor een extensief bedrijfssysteem op 4,0 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissies uit de melkveestal.

Tabel 6.8 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor regulier met verdunnen, strippen en monomestvergisting.*

Emissie	**Stal**	**Wei**	**Productie mestproducten**	**Vergisten**	**Opslag na verwerking**	**Aan-wenden**	**Totaal**
NH_3	1,9	0,1	0,1		0,2	1,9	4,2
CH_4	16,9	0,1		2,9	1,8		21,7

6.4.2 Massabalansen

In het scenario 'Regulier + verdunnen+ strippen+ monovergisten' is een vergistingsproces toegevoegd aan het stalsysteem en mestbehandeling zoals is beschreven onder paragraaf 6.3.
De dikke fractie uit de scheiding van mest, het overschot ammoniakarme dunne fractie uit de stripper en de jongveemest worden in dit scenario ingevoerd in de vergister.

Bij een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien worden de volgende hoeveelheden eindproducten geproduceerd:
- 7.978 ton digestaat,
- 297 ton ammoniumsulfaat,
- 175.000 m^3 biogas.

Van de hoeveelheid stikstof die uit het stalsysteem vrijkomt (41,2 ton N) komt circa 36% (14,8 ton N) in het spuiwater van de luchtwasser terecht. Het overige deel bevindt zich in het digestaat. Een relatief beperkt deel van de stikstof in de mest die uit de stal komt, emitteert bij de luchtwasser van het stripproces.

De hoeveelheid fosfaat in de mest uit de melkvee- en jongveestal (circa 14,6 ton P_2O_5) komt volledig in het digestaat terecht.

6.4.3 Investeringen en exploitatie

De toevoeging van het vergistingsproces leidt tot een hogere benodigde investering ten opzichte van de variant zonder vergisting. De investering inclusief monovergisting bedraagt ruim 711.000 euro.

Door de hogere investering nemen de jaarkosten voor onderhoud, afschrijving en rente toe, waardoor de totale jaarkosten oplopen tot 642 euro per melkkoe. De opbrengsten uit vermeden energiekosten, levering van energie, SDE-subsidie en vermeden mestafzetkosten en besparing van kunstmestinkoop bedragen samen 353 euro melkkoe. Hierdoor wordt een negatief resultaat berekend van 289 euro per melkkoe.

Tabel 6.9 *Investeringen, jaarkosten en -opbrengsten bij toepassing van verdunnen met ammoniakarme dunne fractie, verkregen door scheiden en strippen van de mest van een regulier extensief bedrijf met 250 melkkoeien en toepassing van monovergisting.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investeringen	€	711.213
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	353
Kosten	€/melkkoe/jaar	642
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-289

6.4.4 Gevoeligheid exploitatie

Uit tabel 6.10 kan worden opgemaakt voor alle doorgerekende bedrijfsgrootten en variaties van de investeringsomvang een negatief bedrijfsresultaat ontstaat. Vanaf een bedrijfsgrootte van circa 250 melkkoeien leidt de toevoeging van monovergisting tot een verbetering van het exploitatieresultaat ten opzichte van de situatie zonder vergisting. Bij kleinere bedrijfsgrootten dan 250 melkkoeien verslechtert het exploitatieresultaat ten opzichte van de situatie zonder monovergisting.

Tabel 6.10 *Resultaten exploitatie[1] regulier extensief bedrijf en toepassing van het verdunnen van de mest in de mestkelder met ammoniak arme dunne fractie en toepassing van monovergisting bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.*

Investeringen		**90%**	**100%**	**110%**
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-729	-818	-906
150	€/melkkoe	-468	-531	-594
200	€/melkkoe	-324	-373	-422
250	€/melkkoe	-248	-289	-330
300	€/melkkoe	-188	-223	-258

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

6.5 Dagontmesting (scenario 5)

6.5.1 Emissies

In tabel 6.11 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij drijfmest dagelijks wordt verwijderd uit de stal maar niet verder wordt verwerkt. Hierdoor wordt de mest voor langere tijd opgeslagen in een externe opslag op het bedrijf. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 6,1 ton en 37,9 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 5,5 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee.

Tabel 6.11 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor dagontmesting.*

Emissie	Stal	Wei	Opslag op bedrijf	Vergisten	Opslag na verwerking	Aanwenden	Totaal
NH_3	2,3	0,1	0,2			3,5	6,1
CH_4	7,4	0,1	30,5				37,9

6.5.2 Massabalansen

De mestproductie in de stal van het extensieve melkveebedrijf met 250 melkkoeien bedraagt 8.206 ton per jaar. Gedurende de weide periode wordt 774 ton mest geproduceerd.
Bij de berekening van de mestproductie zijn de uitgangspunten gehanteerd zoals vermeld in tabel 2.1.

De excretie van stikstof in de stal bedraagt 42,8 ton per jaar. Als gevolg van de stikstofverliezen in stal en opslag resteert bij aanwending van de mest 40,7 ton stikstof. Het stikstofverlies uitgedrukt in ammoniak bedraagt circa 2,6 ton NH_3/jaar (ca. 2,1 ton N/jaar).
De excretie van fosfaat bedraagt 15,9 ton P_2O_5 per jaar, waarvan 14,6 gedurende de stalperiode wordt uitgescheiden en het overige deel gedurende de weide periode.

6.5.3 Investeringen en exploitatie

In het scenario 'Dagontmesting' is uitgegaan van toepassing van een stalsysteem met RAV-code A1.21 De meer-investering voor een stalsysteem met dagontmesting ten opzichte van een stalsysteem zonder het geïmplementeerde emissiearme systeem bedraagt 135 euro per dierplaats. De jaarkosten van het stalsysteem bedragen 13 euro per dierplaats. (KWIN-veehouderij 2020-2021).

6.6 Dagontmesting + monovergisten (scenario 6)

6.6.1 Emissies

In tabel 6.12 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij drijfmest dagelijks wordt verwijderd uit de stal en direct naar een vergister wordt getransporteerd. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 6,2 ton en 6,5 ton. Het huisvestingssysteem is gelijk aan scenario 4 (verdunnen, strippen) en komt uit op 5,5 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee.

Tabel 6.12 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor dagontmesting met monomestvergisting.*

Emissie	Stal	Wei	Opslag op bedrijf	Vergisten	Opslag na verwerking	Aanwenden	Totaal
NH_3	2,2	0,1			0,1	3,8	6,2
CH_4	2,0	0,1		3,5	0,9		6,5

6.6.2 Massabalansen

In het scenario 'Dagontmesting + monovergisten' wordt per jaar 8.206 ton drijfmest vanuit de opslag in de stal naar de vergister geleid. Tijdens het vergistingsproces wordt organische stof omgezet en circa 218.000 m^3 biogas gevormd. De biogasproductie is circa 25% hoger ten opzichte van de situatie bij een reguliere stal met monovergisting. Na vergisting resteert 7.994 ton digestaat. Gedurende de weide periode wordt 774 ton mest geproduceerd.

De vracht stikstof in het digestaat bedraagt 40,7 ton N per jaar, waarvan ruim 65% in de vorm van ammoniumstikstof aanwezig is. Het relatief hoge aandeel ammoniumstikstof is het gevolg van de omzetting van organische stof in de vergister, waarbij een deel van de organisch gebonden stikstof vrijkomt in de vorm van ammoniak.

De vracht fosfaat in het digestaat bedraagt 14,6 ton P_2O_5 per jaar.

6.6.3 Investeringen en exploitatie

De realisatie van een monovergistingstinstallatie voor een bedrijf met 250 melkkoeien vraagt een investering van 445.000 euro (zie tabel 6.13). De investering is enigszins hoger dan voor de realisatie van een monovergistingsinstallatie voor een regulier bedrijf. De meer-investering komt voort uit de aanpassing van het huisvestingssysteem en de meerkosten voor de vergistingsinstallatie die samenhangen met de hogere biogasproductie. De jaarlijkse kosten van stalsysteem en monovergisting bedragen 364 euro per melkkoe. Het aandeel rente en afschrijving bedraagt circa 50% van de jaarkosten.

De opbrengsten bedragen 428 euro per melkkoe en zijn vrijwel volledig gerelateerd aan de energieproductie uit biogas. De opbrengsten betreffen vermeden inkoop van energie, levering van energie en groencertificaten en SDE++ subsidie.

De exploitatie van een monovergistingsinstallatie voor een regulier extensief bedrijf met 250 melkkoeien levert een positief resultaat 63 euro per melkkoe per jaar. Hierbij dient te worden opgemerkt dat bij de bepaling van de opbrengsten is gerekend met een nuttig gebruik van alle geproduceerde warmte. Het vergistingsproces zelf vraag ongeveer 30% van de geproduceerde warmte. Voor het overige deel van de warmte zal een nuttige bestemming gevonden moeten worden om het toegerekende voordeel daadwerkelijk te kunnen realiseren.

Tabel 6.13 *Investeringen, jaarkosten en -opbrengsten van toepassing van monovergisting van mest van een regulier extensief bedrijf met 250 melkkoeien met dagontmesting.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investeringen	€	462.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	428
Kosten	€/melkkoe/jaar	364
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	63

6.6.4 Gevoeligheid exploitatie

Uit tabel 6.14 kan worden opgemaakt dat toepassing van monovergisting op een extensief bedrijf met dagontmesting vanaf een bedrijfsgrootte bij meer dan 200 melkkoeien tot een positief exploitatieresultaat leidt. De invoer van verse mest in de vergister leidt tot een hogere biogasopbrengst dan bij de reguliere stalsystemen. Toepassing van monovergisting is bij dagontmesting om die reden vanaf een kleinere bedrijfsomvang haalbaar dan bij reguliere stalsystemen. Omdat bij extensieve bedrijven een deel van de mestproductie plaatsvindt tijdens de

weidegang is minder mest beschikbaar voor de productie van biogas ten opzichte van de situatie bij intensieve bedrijven waar geen weidegang wordt toegepast.

Tabel 6.14 *Resultaten exploitatie[1] extensief bedrijf en toepassing dagontmesting en monovergisting bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.*

Investeringen		**90%**	**100%**	**110%**
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-212	-266	-320
150	€/melkkoe	-46	-84	-124
200	€/melkkoe	39	8	-24
250	€/melkkoe	90	63	36
300	€/melkkoe	125	101	77

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

6.7 Scheiden urine + feces (scenario 8)

6.7.1 Emissies

In tabel 6.15 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij drijfmest in de stal wordt gescheiden. De feces- en gierfracties worden niet verder verwerkt en als zodanig aangewend. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 6,6 ton en 37,8 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 6,5 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee.

Tabel 6.15 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor scheiden urine en feces.*

Emissie	**Stal**	**Wei**	**Opslag op bedrijf**	**Vergisten**	**Opslag na verwerking**	**Aanwenden**	**Totaal**
NH_3	2,5	0,1	0,05			4,0	6,6
CH_4	11,0	0,1	26,8				37,8

6.7.2 Massabalansen

Het stalsysteem voorziet in een gescheiden opvang van feces en urine in de melkveestal. De totale mestproductie van melkvee en jongvee in de stal bedraagt 8.206 ton per jaar. Gedurende de weide periode wordt 774 ton mest geproduceerd.

Uit het stalsysteem komen de volgende meststromen vrij:
- 3.185 ton urine (gier),
- 3.185 ton feces van melkvee,
- 1.837 ton jongveemest.

De feces en drijfmest uit de jongveestal worden gemengd aangewend.

De excretie van stikstof in de stal bedraagt 42,8 ton per jaar. Als gevolg van de stikstofverliezen in stal en opslag resteert bij aanwending van de mest 40,6 ton stikstof. Het stikstofverlies dat optreedt in de stal en opslag bedraagt uitgedrukt in ammoniak bedraagt circa 2,2 ton NH_3 /jaar.
De excretie van fosfaat bedraagt 14,6 ton P_2O_5 per jaar. Er treedt geen verlies van fosfaat op.

6.7.3 Investeringen en exploitatie

De meer-investering voor een stalsysteem met scheiding van urine en feces met RAV-code A1.18 ten opzichte van een stalsysteem zonder het geïmplementeerde emissiearme systeem bedraagt 158 euro per dierplaats. De jaarkosten van het stalsysteem bedragen 15 euro per dierplaats. (KWIN-veehouderij 2020-2021).

6.8 Semi-dichte vloer + onder afzuiging (scenario 9.1)

6.8.1 Emissies

In tabel 6.15 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario waarbij drijfmest wordt gescheiden en de lucht onder en boven de roosters wordt afgezogen. De dunne fractie wordt verder verwerkt in een stikstofconcentraat. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 5,3 ton en 37,8 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 3,3 kg/dierplaats/jaar, op basis van een voorlopige metingen, uitgaande van alleen de ammoniakemissies uit de melkveestal.

Tabel 6.15 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor semi-dichte vloer en onder afzuiging.*

Emissie	Stal	Wei	Opslag op bedrijf	Aanwenden	Totaal
NH_3	1,7	0,1	0,04	3,4	5,3
CH_4	11,0	0,1	26,8		37,8

6.8.2 Massabalansen

In het scenario 'Semi-dichte vloer + onder afzuiging' zijn inlegstukken met kleine openingen in de sleuven van de roostervloer aangebracht waardoor urine kan afstromen naar de mestkelder en feces op de roosters achterblijft. De feces wordt verzameld en binnen een dag uit de stal afgevoerd met behulp van een mestrobot. De robot spoelt de roosters met water na. Hierdoor treedt enige verdunning van de mest op. De lucht onder de roosters wordt afgezogen en afgevoerd naar een chemische luchtwasser. Door de verdunning en door de afzuiging van de mestkelder wordt de emissie van ammoniak uit de mestkelder gereduceerd.
De mestproductie in de stal van melkvee en jongvee bedraagt 8.207 ton per jaar. De hoeveelheid water die gebruikt wordt voor het schoonspoelen van de roostervloer bedraagt 2.000 ton per jaar.

Uit het stalsysteem komen de volgende meststromen vrij:
- 5.185 ton urine,
- 5.022 ton feces en jongveemest,
- 69 ton ammoniumsulfaat.

Er is van uitgegaan dat de verzamelde feces en jongveemest gezamenlijk worden opgeslagen en als mengsel worden aangewend.

Van de hoeveelheid stikstof die uit het stalsysteem vrijkomt (41,3 ton N) komt circa 8% (3,4 ton N) in het spuiwater van de luchtwasser terecht. De urine bevat circa 42% en het mengsel van feces en jongveemest circa 48% van de hoeveelheid stikstof die uit de stal vrijkomt. Een relatief beperkt deel van de stikstof in de mest van de melkveestal, emitteert bij de luchtwasser. Naast de restemissie uit de luchtwasser van de onder afzuiging treedt emissie van stikstof vanaf de vloeren van de melkveestal en vanuit de jongveestal.

Van de hoeveelheid fosfaat in de mest uit de melkvee- en jongveestal (circa 14,6 ton P_2O_5) bevindt zich 13% in de urinefractie en 87% in het mengsel feces en jongveemest.

6.8.3 Investeringen en exploitatie

De investering in het stalsysteem bedraagt voor een bedrijf met 250 melkkoeien circa 300.000 euro. Het waterverbruik van de mestrobot leidt tot een toename van het mestvolume en daarmee tot een toename van de kosten voor aanwending van de mest. De opbrengstenpost 'vermeden mestafzetkosten' is in dit scenario dus negatief. Er is wel een beperkt voordeel ten aanzien van de inkoop van kunstmest, maar dat voordeel is kleiner dan de extra kosten voor mestafzet.
De toepassing van dit stalsysteem leidt bij de gehanteerde uitgangspunten tot een negatief resultaat van 236 euro per melkkoe.

Tabel 6.16 *Investeringen, jaarkosten en -opbrengsten bij toepassing van een stalsysteem met semi-dichte vloer en onder afzuiging bij een extensief bedrijf met een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investeringen	€	300.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	-16
Kosten	€/melkkoe/jaar	220
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-236

6.8.4 Gevoeligheid exploitatie

Uit tabel 6.17 kan worden opgemaakt voor alle doorgerekende bedrijfsgrootten en variaties van de investeringsomvang een negatief bedrijfsresultaat ontstaat.

Tabel 6.17 *Resultaten exploitatie[1] extensief bedrijf en toepassing van een semi dichte roostervloer, onder afzuiging met luchtwassing bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.*

Investeringen		**90%**	**100%**	**110%**
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-233	-251	-269
150	€/melkkoe	-228	-246	-264
200	€/melkkoe	-218	-236	-254
250	€/melkkoe	-218	-236	-254
300	€/melkkoe	-213	-231	-249

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

6.9 Semi-dichte vloer + onder afzuiging + monovergisten (scenario 9.2)

6.9.1 Emissies

In tabel 6.18 zijn de ammoniak- en methaanemissies weergegeven voor het scenario welke gelijk is aan scenario 4.1, echter wordt de dikke fractie, samen met de jongveemest, vergist. De totale ammoniak- en methaanemissie is respectievelijk 5,4 ton en 11,0 ton. Het huisvestingssysteem is gelijk aan scenario 4.1 waarbij de ammoniakemissie uitkomt op 3,3 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissies uit de melkveestal.

Tabel 6.18 *Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor semi-dichte vloer met onderafzuiging en monomestvergisting.*

Emissie	Stal	Wei	Vergisten	Opslag na verwerking	Aanwenden	Totaal
NH_3	1,7	0,1		0,1	3,5	5,4
CH_4	5,6	0,1	2,9	2,4		11,0

6.9.2 Massabalansen

In het scenario 'Semi-dichte vloer+ onder afzuiging + monovergisten' is een vergistingsproces toegevoegd aan het stalsysteem en mestbehandeling zoals is beschreven onder paragraaf 6.9. De feces en jongveemest worden in dit scenario ingevoerd in de vergister.

Bij een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien worden de volgende hoeveelheden eindproducten geproduceerd:
- 4.802 ton digestaat,
- 5.185 ton urine,
- 69 ton ammoniumsulfaat,
- 183.000 m^3 biogas.

Van de hoeveelheid stikstof die uit het stalsysteem vrijkomt (41,4 ton N) komt circa 8% (3,4 ton N) in het spuiwater van de luchtwasser terecht. Het overige deel bevindt zich in het digestaat (45%) en in de urinefractie (44%). Een relatief beperkt deel van de stikstof in de mest die uit de stal komt, emitteert bij het luchtwasproces.

Van de hoeveelheid fosfaat in de mest uit de melkvee- en jongveestal (circa 14,6 ton P_2O_5) bevindt zich 13% in de urinefractie en 87% in het mengsel feces en jongveemest.

6.9.3 Investeringen en exploitatie

De toevoeging van het vergistingsproces leidt tot een hogere benodigde investering ten opzichte van de variant zonder vergisting. De investering inclusief monovergisting bedraagt ruim 710.000 euro.

Door de hogere investering nemen de jaarkosten voor onderhoud, afschrijving en rente toe, waardoor de totale jaarkosten oplopen tot 557 euro per melkkoe. De opbrengsten uit vermeden energiekosten, levering van energie, SDE-subsidie en vermeden mestafzetkosten en besparing van kunstmestinkoop bedragen samen 332 euro melkkoe. Hierdoor wordt een negatief resultaat berekend van 225 euro per melkkoe.

Tabel 6.19 *Investeringen, jaarkosten en -opbrengsten bij toepassing van een stalsysteem met semi-dichte vloer en onder afzuiging bij een extensief bedrijf met een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien en toepassing van monovergisting.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investeringen	€	710.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	332
Kosten	€/melkkoe/jaar	557
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-225

6.9.4 Gevoeligheid exploitatie

De toevoeging van monomestvergisting leidt tot een verbetering van het exploitatieresultaat ten opzichte van de situatie zonder vergisting bij een bedrijfsomvang van meer dan circa 250 melkkoeien. Bij deze schaalgrootte is het monovergisten voor dit bedrijfstype rendabel. Het totale exploitatieresultaat inclusief het stalsysteem blijft echter negatief voor de doorgerekende bedrijfsgrootten.

Tabel 6.20 *Resultaten exploitatie[1] extensief bedrijf en toepassing van een semi dichte roostervloer, onder afzuiging met luchtwassing en toepassing van monovergisting bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.*

Investeringen		**90%**	**100%**	**110%**
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-478	-546	-615
150	€/melkkoe	-318	-372	-426
200	€/melkkoe	-231	-277	-324
250	€/melkkoe	-183	-225	-267
300	€/melkkoe	-147	-186	-225

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

6.10 Overzicht resultaten scenario's

6.10.1 Emissies

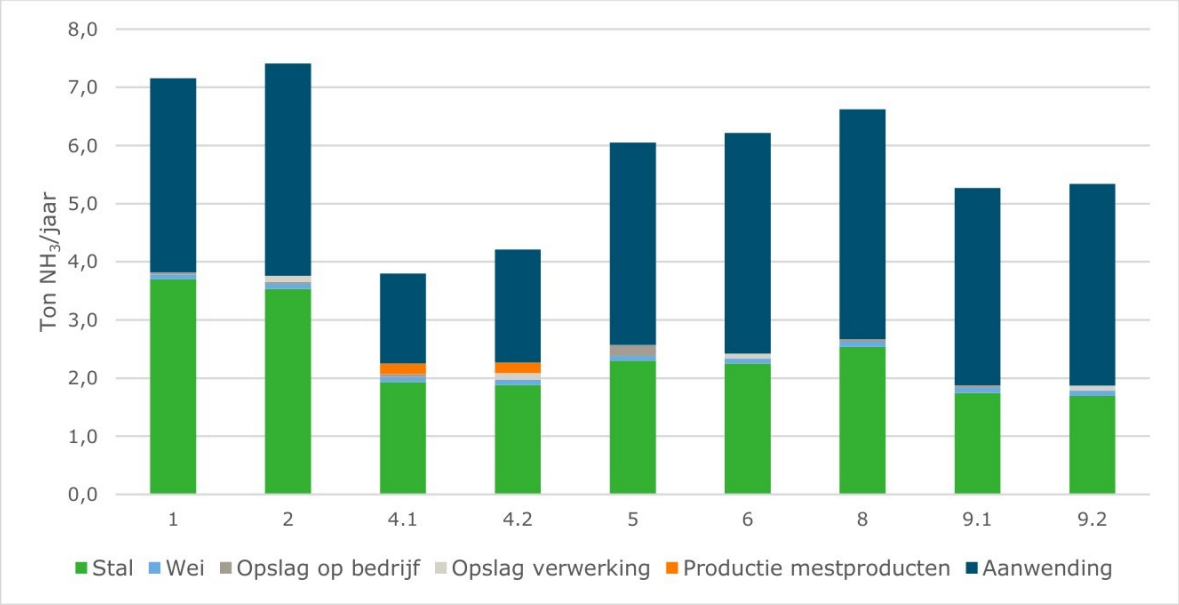
In tabel 6.22 en figuur 6.1 zijn de ammoniakemissies per verwerkingsstap voor alle scenario's en varianten van extensieve bedrijfssystemen weergegeven.

Tabel 6.22 *Ammoniakemissie voor verschillende scenario's van verwerking rundveemest (ton/jaar) voor extensieve bedrijven.*

Nr.	**Scenario**	**Stal**	**Wei**	**Opslag op bedrijf**	**Productie mest-producten**	**Opslag na verweking**	**Aan-wending**	**Totaal**
1	Regulier	3,7	0,1	0,04			3,3	7,2
2	Regulier + vergisten	3,5	0,1	0,03		0,1	3,6	7,3
4.1	Regulier + verdunnen + strippen	1,9	0,1	0,05	0,2		1,5	3,8
4.2	Regulier + ver-dunnen+ strippen + vergisten	1,9	0,1		0,2	0,2	1,9	4,3
5	Dagontmesting geen verwerking	2,3	0,1	0,2			3,5	6,1
6	Dagontmesting + vergisten	2,2	0,1			0,1	3,8	6,2
8	Scheiden urine en feces	2,5	0,1	0,05			4,0	6,6
9.1	Semi-dichte vloer + onder afzuiging	1,7	0,1	0,04			3,4	5,3
9.2	Semi-dichte vloer + onder afzuiging + vergisten	1,7	0,1			0,1	3,5	5,4

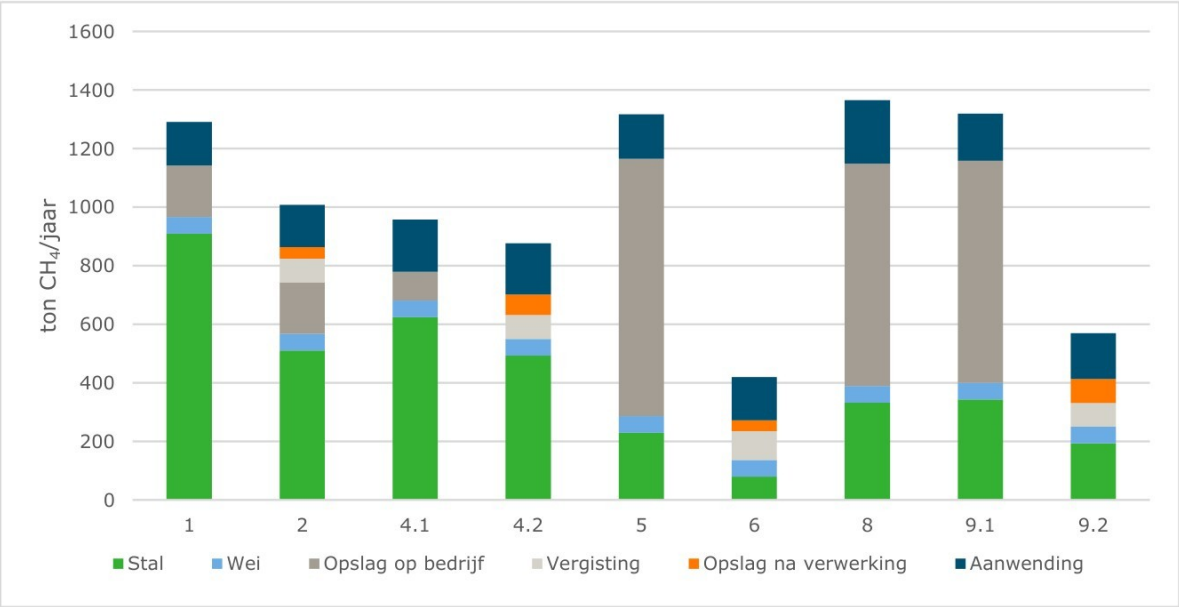
Voor ammoniak liggen de gasvormige verliezen voor scenario 4.1 het laagst, met een totaalverlies van 3,8 ton NH_3/jaar. Ook scenario's 4.2 en 9.1 zorgen voor lage emissies, met een totaalverlies van respectievelijk 4,3 en 5,3 ton/jaar. Ten opzichte van het reguliere scenario, waarin drijfmest niet verder wordt verwerkt, zorgen scenario 4.1, 4.2 en 9.1 voor een afname in totale ammoniakemissie van respectievelijk 47%, 41% en 26%.

In figuur 6.1 is te zien dat vooral in de stal en tijdens aanwenden van mestproducten een reductie van ammoniak te realiseren is. Het dagelijks verwijderen van mest of scheiden van feces en urine kan in de stal voor een reductie tussen de 30% en 55% zorgen, afhankelijk van het huisvestingssysteem en of de mest(fracties) snel worden verwijderd. Het verder verwerken van drijfmest kan tijdens aanwending van de mestproducten voor een reductie van 40-55% zorgen. Echter is dit sterk afhankelijk van de fracties die overblijven. In scenario 9.1 en 9.2, waar naast een stikstofconcentraat, ook een urine/gier- en dunne mestfractie overblijft, stijgt de totale stikstofemissie tijdens aanwending licht met respectievelijk 2% en 4% ten opzichte van regulier.



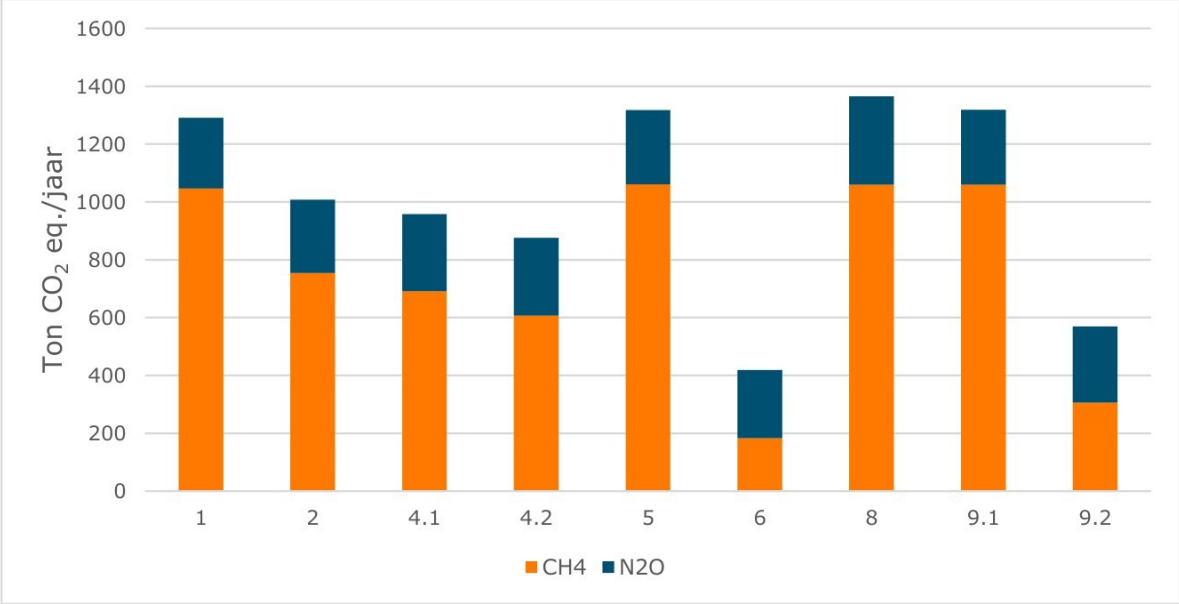
Figuur 6.1 *Ammoniakemissies (ton NH_3/jaar) per scenario.*

Het effect van de verschillende huisvestingssystemen en het wel of niet verder ver- en bewerken van de rundveemest op de broeikasgasemissies is weergegeven in figuur 6.2. Deze emissies zijn gebaseerd op de methaan- en lachgasemissies die vrijkomen uit de stal tot en met aanwending van de mest(producten). In bijlage 3 zijn de totale methaan- en lachgasemissies weergegeven. Hier is te zien dat scenario 8 (scheiden urine en feces zonder verwerking) de hoogste broeikasgas emissies heeft met in totaal ruim 1.300 ton CO_2-eq./jaar. Deze broeikasgas-emissies zijn vooral te relateren aan langdurige opslag, aangezien de urine- en fecesfracties voor gemiddeld 3 maanden in opslag zitten. Scenario's 2 en 4 hebben vergelijkbare broeikasgas-emissies (tussen de 875 – 1010 ton CO_2-eq./jaar). In deze scenario's liggen de stalemissies lager dan het referentiescenario (1) door het sneller verwijderen van de mest waarna deze verder wordt verwerkt. De scenario's waarbij dagontmesting met verdere vergisting en verwerking wordt toegepast (6) en het scheiden van urine en feces in de stal en vergisting (9.2) hebben een aanzienlijke reductie in totale emissies, welke respectievelijk 68% en 56% lager liggen dan het referentiescenario.



Figuur 6.2 *Broeikasgasemissies (ton CO_2-eq./jaar) per scenario.*

In figuur 6.3 is het aandeel methaan en lachgas in totale broeikasgasemissies uit mest weergegeven (dus zonder enterische uitstoot). Hierin is te zien dat methaan voor alle scenario's een aanzienlijke rol speelt in totale broeikasgasemissies die vrijkomen in de keten. Lachgas speelt een relatief kleine rol met een gemiddeld aandeel van 30% in totale emissies. Voor scenario 6 en 9.2, waar respectievelijk drijfmest en feces dagelijks worden verwijderd uit de stal en verder verwerkt, is het aandeel methaan en lachgas nagenoeg gelijk met een verhouding van respectievelijk 44% tegen 56% en 54% tegen 46%.



Figuur 6.3 *Totale methaan- en lachgasemissie (ton CO_2-eq./jaar) per scenario.*

Wanneer zowel ammoniak- als broeikasgasemissies worden vergeleken, geven scenario 4.1, 4.2 en 9.2 de laagste totale emissies per jaar van stal tot mestverwerking en aanwending van de mestproducten. Scenario 6 zorgt voor significante reducties van broeikasgassen maar over de gehele keten is er in de ammoniakemissie afwenteling te zien tijdens aanwending van de mest. Een samenvatting van broeikasgas- en ammoniakemissies voor deze scenario's is in tabel 6.23 weergegeven.

Tabel 6.23 *Scenario's met de laagste emissies voor ammoniak en broeikasgassen voor extensieve bedrijven.*

Nr.	Scenario	NH_3 emissie (ton/jaar)	NH_3 emissie (kg/dierplaats/jaar)[1]	Broeikasgasemissie (ton CO_2-eq./jaar)
4.1	Regulier + verdunnen + strippen	3,8	15,2	957
4.2	Regulier+ ver-dunnen+strippen + vergisten	4,2	16,9	876
9.2	Semi-dichte vloer + onder afzuiging + vergisten	5,3	21,4	569
6	Dagontmesting + vergisten	6,2	24,9	419

[1] Berekend over de gehele keten: van uitscheiding mest in stal tot en met aanwending mestproducten, toegekend aan 250 dierplaatsen melkvee.

6.10.2 Kostenramingen

Tabel 6.24 toont de meerinvestering en het exploitatieresultaat van de doorgerekende scenario's voor extensieve bedrijven met 250 melkkoeien ten opzichte van reguliere stallen zonder mestbehandeling. In figuur 6.4 zijn de meerinvesteringen in een kolomdiagram weergegeven en figuur 6.5 geeft het exploitatieresultaat weer uitgedrukt in het verschil tussen jaarlijkse opbrengsten en jaarlijkse kosten.

Uit figuur 6.5 blijkt dat het toepassen van monovergisting voor extensieve bedrijven met 250 melkkoeien met reguliere stalsystemen niet rendabel is. Uit de gevoeligheidsanalyse is gebleken dat monovergisting voor intensieve bedrijven vanaf een bedrijfsomvang groter dan 250 melkkoeien rendabel kan zijn, wanneer het mogelijk is om de gemiddelde ouderdom van mest bij invoer in de vergister ver genoeg terug ter brengen. Bij toepassing van een stalsysteem met dagontmesting kan dagverse mest in de vergister worden gevoerd, waardoor een hogere biogasproductie plaatsvindt en de opbrengsten toenemen. Bij toepassing van dagontmesting is monovergisting al bij een extensief bedrijf met 250 melkkoeien rendabel. Bij de toepassing van monovergisting is gerekend met een nuttig gebruik van alle warmte die de warmtekrachtinstallatie produceert. Dat is echter geen vanzelfsprekendheid.

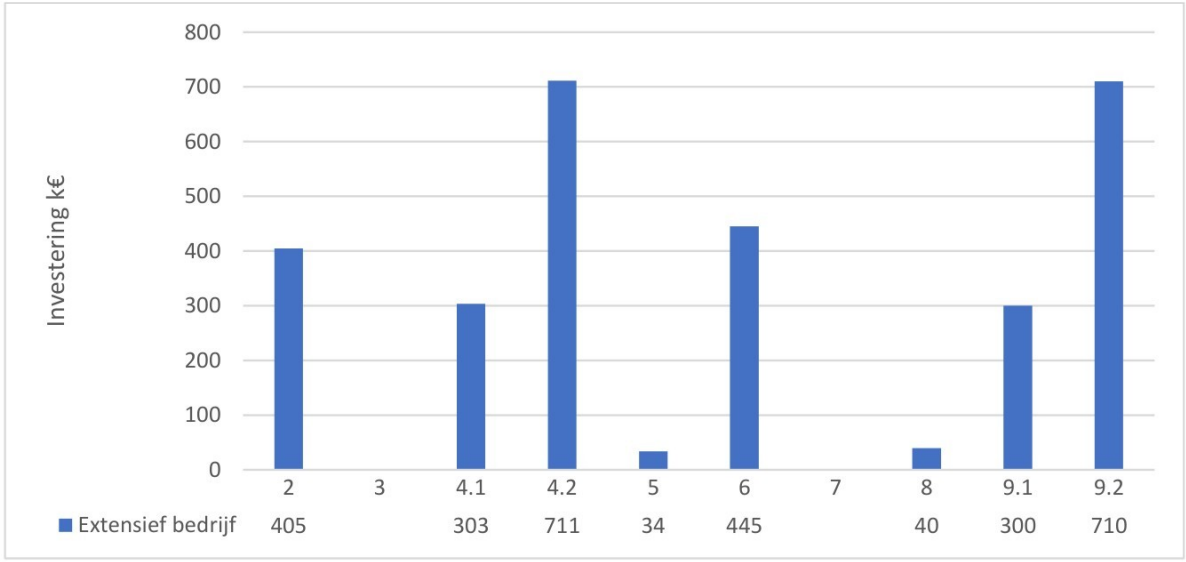
Het scenario waarbij in de reguliere stallen de mest wordt verdund met ammoniakarme dunne fractie met het doel om de ammoniakemissie uit de stallen te reduceren brengt relatief hoge kosten met zich mee. Het verbruik aan chemicaliën voor het strippen van de stikstof en het opvangen van de stikstof in zwavelzuur vormt een belangrijke kostenpost. Voor extensieve bedrijven waarbij de mest nagenoeg volledig op het eigen bedrijf kan worden benut, heeft het strippen van stikstof ten aanzien van de het verlagen van kosten voor aanwending en inkoop van kunstmest weinig voordeel. Toevoeging van monovergisting levert voor deze bedrijfssituatie niet voldoende opbrengsten om de kosten te compenseren. Uit de gevoeligheidsanalyse is gebleken dat ook bij een bedrijfsgrootte van 300 melkkoeien en 10% lagere investeringskosten een negatief exploitatieresultaat blijft bestaan.

Ook de stalsystemen waarbij de emissie van ammoniak wordt gereduceerd door toepassing van semi-dichte vloeren en afzuiging van de mestkelder met luchtwassing, leiden tot relatief hoge jaarkosten. De toename van het mestvolume door het besproeien van de roostervloeren leidt tot een aanzienlijke toename van de mestafzetkosten. Toepassing van monovergisting is bij dit stalsysteem en de bedrijfsomvang van 250 melkkoeien rendabel. Echter, de opbrengsten zijn niet voldoende om de kosten van het stalsysteem te compenseren.

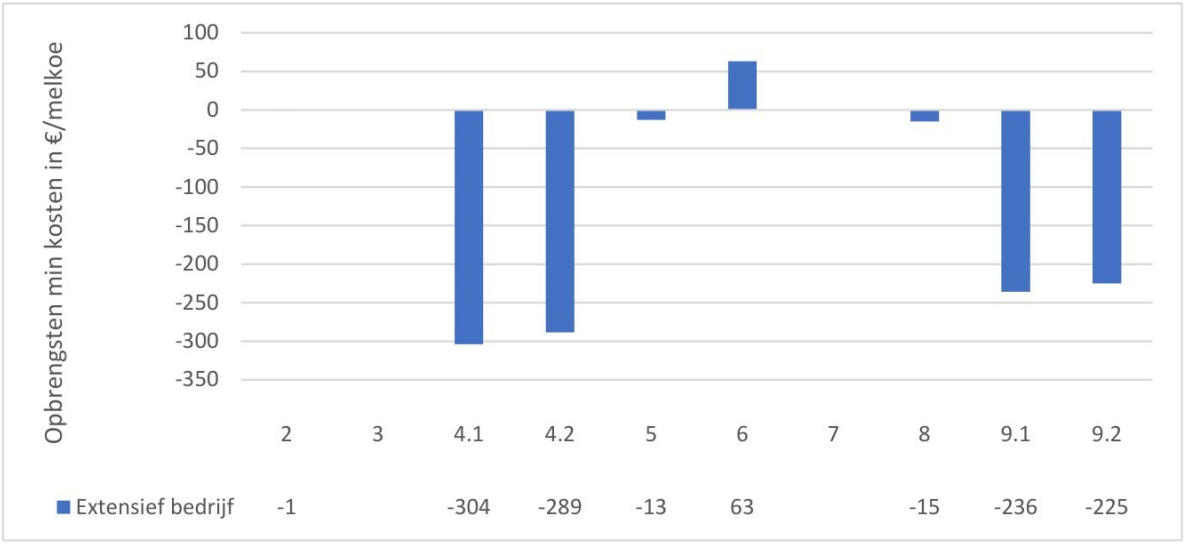
Tabel 6.24 *Overzicht van investeringen en exploitatieresultaat van de doorgerekende scenario's voor extensieve melkveebedrijven met 250 melkkoeien, 8206 ton mest per jaar en 180 ha.*

	Scenario	Bedrijf	Eenheid	Extensief
1	Regulier	Investering	k€	-
		Exploitatie	€/melkkoe	-
2	Regulier + monovergisting	Investering	k€	405
		Exploitatie	€/melkkoe	-1
3	Regulier + monovergisting + strippen	Investering	k€	x
		Exploitatie	€/melkkoe	x
4.1	Regulier + verdunnen + strippen	Investering	k€	303
		Exploitatie	€/melkkoe	-304
4.2	Regulier + verdunnen + strippen	Investering	k€	711
	+ monovergisten	Exploitatie	€/melkkoe	-289
5	Dagontmesting	Investering	k€	34
		Exploitatie	€/melkkoe	-13
6	Dagontmesting + monovergisting	Investering	k€	445
		Exploitatie	€/melkkoe	63
7	Dagontmesting + monovergisting	Investering	k€	x
	+ strippen	Exploitatie	€/melkkoe	x
8	Scheiding urine/feces	Investering	k€	40
		Exploitatie	€/melkkoe	-15
9.1	Semi-dichte vloer + onder afzuiging	Investering	k€	300
		Exploitatie	€/melkkoe	-236
9.2	Semi-dichte vloer + onder afzuiging	Investering	k€	710
	monovergisting	Exploitatie	€/melkkoe	-225

- Referentie
x Niet berekend



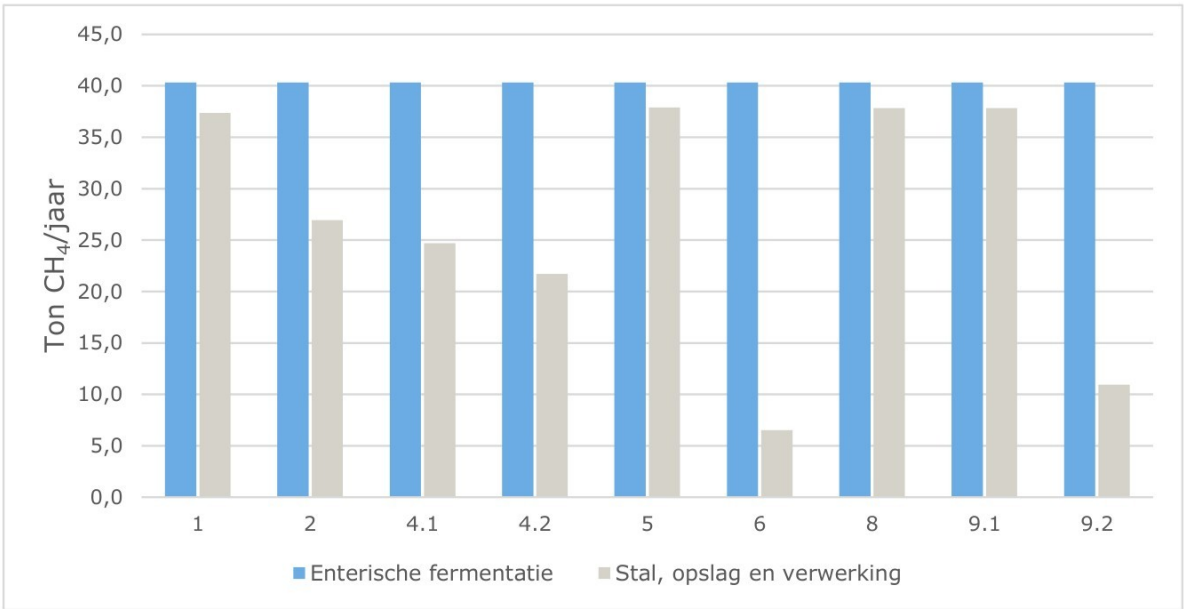
Figuur 6.5 *Meerinvestering stalsystemen en mestbehandeling van extensieve bedrijven met 250 melkkoeien ten opzichte van reguliere stalsystemen zonder behandeling van mest.*



Figuur 6.6 *Opbrengsten minus kosten per melkkoe van stalsystemen en mestbehandeling van extensieve bedrijven met 250 melkkoeien ten opzichte van reguliere stalsystemen zonder behandeling van mest.*

6.11 Methaanemissie door enterische fermentatie

Deze studie heeft zich gericht op de emissiereductie die kan worden behaald wanneer bepaalde huisvestingssystemen en/of mestverwerkingstechnieken worden toegepast op een melkveehouderijbedrijf. Hierbij is gekeken naar de gasvormige stikstofemissies en methaanemissies. De resultaten tonen aan dat de methaanemissie aanzienlijk kan worden gereduceerd wanneer mest snel wordt verwijderd uit de stal en via monovergisten verder wordt verwerkt. Echter dienen deze reducties naast de methaanemissie uit pens- en darmfermentatie te worden gelegd, om een compleet beeld te krijgen van de mate waarin methaanemissies kunnen worden gereduceerd op bedrijfsniveau. Op basis van emissiefactoren voor melkkoeien, pinken en kalveren (zie bijlage 1 voor de uitgangspunten) is voor deze studie berekend wat de gemiddelde methaanproductie uit enterische fermentatie is voor de gehanteerde veestapel. In figuur 6.7 is de totale methaanemissie uit enterische fermentatie naast de totale emissie van mest uit stal, opslag en verwerking weergegeven.



Figuur 6.7 *Methaanemissie uit enterische fermentatie en mest (ton CH_4/jaar).*

Uit bovenstaande figuur wordt duidelijk dat methaanemissie uit pens- en darmfermentatie een significante rol speelt bij de totale emissie op bedrijfsniveau. Gemiddeld is dit aandeel voor extensieve bedrijven 62% van de totale bedrijfsemissie wat overeenkomt met de stelregel 60 % etherisch methaan en 40 % methaan uit mest.

7 Discussie

7.1 Biogasopbrengst in relatie tot ouderdom mest

De biogasopbrengst bij het vergisten van mest is afhankelijk van de afbraak van organische stof die stof die in stal en opslag is opgetreden. Ten behoeve van het emissiemodel is de afbraaksnelheid van organische stof afgeleid voor mest tijdens opslag, tijdens het vergistingsproces en van het digestaat in opslag. Zie bijlage 8.
De hydrolyseconstante (Kh) die ten behoeve het emissiemodel is afgeleid voor de vorming van methaan uit de afbraak van organische stof, betreft in feite een gemiddelde waarde voor alle typen organische stof die in de mest aanwezig zijn. Dit is een vereenvoudiging van de werkelijkheid.

De afbraak van makkelijk afbreekbare componenten zal in de eerste periode na excretie van de mest de overhand hebben. Wanneer de makkelijk afbreekbare componenten zijn omgezet, zijn de lastiger afbreekbare organische componenten nog slechts in beperkte mate afgebroken. Na verloop van tijd resteren alleen nog de meest lastig afbreekbare componenten in de mest. Het lijkt daarom aannemelijk dat de gemiddelde hydrolyseconstante voor alle organische stof geen constante is, maar verandert omdat de verhouding van snel afbreekbare stoffen en langzaam afbreekbare stoffen gedurende de opslagperiode van mest verandert.

De in het emissiemodel gehanteerde gemiddelde hydrolyseconstante geeft een redelijk goede voorspelling van de biogasopbrengsten bij vergisting van rundveemest die in de literatuur vermeld. Het is echter mogelijk dat het gebruik van een gemiddelde waarde van de hydrolyse constante leidt tot een onderschatting van de omzettingssnelheid van organische stof van (heel) verse mest en een overschatting van de omzettingssnelheid bij (heel) oude mest.

Dit zou kunnen betekenen dat het verschil tussen de scenario's waarbij mest uit reguliere stallen wordt vergist en mest uit stallen met dagontmesting groter is dan op basis van het gehanteerde model is berekend. Om een goed beeld te krijgen van de te verwachten biogas opbrengsten bij vergisting van mest die extreem snel (enkele uren na uitscheiding) in het vergistingsproces kan worden ingevoegd, dient nader onderzoek plaats te vinden.

7.2 Haalbaarheid monovergisten in relatie tot schaalgrootte

In de situatie waarbij door toepassing van dagontmesting de biogasproductie bij monovergisting is geoptimaliseerd is voor een intensief bedrijf een omvang van meer dan 150 melkkoeien nodig voor een rendabele business case. Voor een extensief bedrijf is een omvang van meer dan 200 melkkoeien nodig. De gemiddelde bedrijfsomvang in 2021 in Nederland was 103 melkkoeien (CBS).
Toepassing van monovergisting is voor bedrijven met een gemiddelde omvang niet rendabel.

Tabel 7.1 toont het exploitatieresultaat in euro per melkkoe voor intensieve bedrijven van gemiddelde omvang bij gereduceerde investeringen. Hieruit blijkt dat wanneer de investeringskosten zouden afnemen tot 60% van de normale investeringshoogte monovergisting rendabel wordt vanaf een bedrijfsgrootte van circa 100 melkkoeien. Een dergelijke reductie van de investeringskosten lijkt vanuit het perspectief van marktwerking niet haalbaar en kan naar verwachting alleen met behulp van stimuleringsinstrumenten worden bereikt.

Voor extensieve bedrijven is toepassing van monovergisting bij een bedrijfsgrootte van 100 melkkoeien en een gereduceerde investering van 60% van de normale investeringshoogte nog altijd onrendabel.

Tabel 7.1 *Resultaten exploitatie[1] intensief bedrijf en toepassing dagontmesting en monovergisting rondom de gemiddelde bedrijfsgrootte in Nederland bij gereduceerde investeringsbedragen.*

Investeringen		**50%**	**60%**	**70%**
Aantal melkkoeien				
80	€/melkkoe	11	-53	-118
90	€/melkkoe	55	-3	-61
100	€/melkkoe	90	38	-16
110	€/melkkoe	119	71	22
120	€/melkkoe	144	99	53

[1] Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

7.3 Groengas en samenwerking bij monovergisting

Om de toepassing van monovergisting voor een grotere groep bedrijven aantrekkelijk te maken kan worden nagedacht over vormen van samenwerking.

Melkveebedrijven die op korte afstand van elkaar liggen zouden de dagverse mest via pijpleidingen naar de vergister kunnen transporteren op de locatie van één van de bedrijven. Wanneer de mest per as naar de vergister moet worden gebracht, heeft dit al snel een nadelig effect op de gemiddelde ouderdom van de mest die in de vergister kan worden ingevoerd, vanwege de benodigde buffering op het veehouderij bedrijf en bij de vergister. De extra transportkosten en de lagere biogasopbrengst maken het noodzakelijk dat een flinke opschaling nodig is om tot een rendabele business case te komen.

Het opwaarderen van het biogas naar groengas is niet meegenomen in deze studie omdat de kosten te hoog geacht werden. Bij voorgaande studies met centrale verwerking (Gollenbeek et al., 2021a en b) is de productie van groengas wel meegenomen. Een andere optie voor samenwerking betreft de gezamenlijke opwerking van biogas van een aantal monovergisters tot groengas. Ook hier is het wenselijk dat de vergisters zich op betrekkelijk korte afstand van elkaar bevinden. Het voordeel van deze optie is dat de vergisters op de veehouderijbedrijven staan en optimaal gestuurd kan worden op een optimale biogasproductie via invoer van zo vers mogelijke mest in de vergister.

Bovengenoemde vormen van samenwerking zijn in deze studie niet onderzocht.

7.4 Effect energieprijzen

In de exploitatieberekeningen in dit rapport is rekening gehouden met energieprijzen van 2020 volgens CBS. Met dit prijsniveau is ook gerekend in de eerdere rapporten van het project Next Level Mestverwaarden. De energieprijzen zijn in 2021 echter sterk gestegen.
Ter illustratie is het effect van stijging van de energietarieven met 150% en 200% doorgerekend voor intensieve bedrijven met 250 melkkoeien met toepassing van dagontmesting en monovergisting.

De SDE regeling subsidieert de onrendabele top van duurzame energieproductie. RVO corrigeert jaarlijks de subsidiebedragen voor de marktprijs waartegen de duurzaam geproduceerde energie kan worden geleverd. Bij hogere energieprijzen worden meer inkomsten gegenereerd uit de markt en neemt het subsidiebedrag af. Deze redenering gaat in de praktijk echter alleen op wanneer de

vergoeding uit de markt ook daadwerkelijk meebeweegt met de energieprijzen. Indien de leveringsprijs voor meerdere jaren is vastgelegd is dat niet het geval. Het subsidiebedrag neemt dan af, maar de vergoeding voor de geleverde energie blijft dan gelijk.

Tabel 7.2 toont het effect van stijgende energietarieven voor de situatie waarbij leveringsprijs van duurzaam geproduceerde energie voor meerdere jaren tegen een vaste prijs is vastgelegd.

Uit de berekening blijkt dat stijgende energieprijzen een negatief effect hebben op het exploitatieresultaat wanneer de leveringsprijs van de duurzaam opgewekte energie de marktprijs niet volgt. Het effect op de exploitatie wordt relatief gezien beperkter, wanneer een groter deel van de opgewekte energie voor eigen gebruik benut wordt. De vermeden energiekosten door de eigen opwekking bewegen automatisch volledig mee met de marktprijs. In situaties waarbij nagenoeg alle geproduceerde energie geleverd worden tegen een vaste prijs, is voor de periode van de prijsafspraak het effect op de exploitatie aanzienlijk.

In het geval dat de vergoeding voor de geleverde prijs wel kan meebewegen met de marktontwikkeling is het effect op de exploitatie minder groot en afhankelijk van de mate waarin de werkelijke leveringsprijs overeenkomt met de gemiddelde leveringsprijs die RVO jaarlijks vaststelt.

Tabel 7.2 *Resultaten exploitatie[1] intensief bedrijf met toepassing dagontmesting en monovergisting bij variatie van de bedrijfsgrootte en variatie van de energietarieven en een vaste prijs voor de levering van duurzaam geproduceerde energie.*

Energietarieven		**100%**	**150%**	**200%**
Leveringsprijs duurzame energie vast				
100	€/melkkoe	-184	-298	-357
150	€/melkkoe	-1	-115	-175
200	€/melkkoe	92	-22	-82
250	€/melkkoe	148	34	-26
300	€/melkkoe	186	72	12

De gestegen energieprijzen zijn ook van invloed op de kunstmestprijzen. De prijs van stikstofkunstmest wordt deel bepaald door de energieprijs. Voor de scenario's van intensieve bedrijven waarbij ammoniumsulfaat wordt geproduceerd heeft dat een enigszins dempend effect op de hogere energiekosten op de exploitatie. In het scenario Dagontmesting + monovergisting + strippen, leidt de verhoging van de kunstmestprijs van 0,95 naar 1,50 euro per kg N tot een toename van de vermeden inkoop van kunstmest circa 41 naar 65 euro per melkkoe. Dat effect is minder groot dan het effect op de energiekosten en SDE subsidie.

7.5 Nauwkeurigheid ramingen en emissiemodel

Afbakening emissiemodel

De emissies die zijn berekend in deze studie richten zich op de ammoniakemissie (NH_3) en broeikasgasemissies (CH_4 en N_2O) die vrijkomen bij de verschillende stappen van mestver- en bewerking. Hierbij staat de mest centraal en zijn alleen de verliezen berekend die vanuit de mest emitteren. Berekening van de emissies start op het moment dat de mest wordt uitgescheiden door de dieren en eindigt op het moment dat mestproducten op het land worden aangewend. Bij deze laatste stap worden emissies tijdens toediening van mestproducten meegenomen, maar worden verdere bodemprocessen, en daarbij behorende emissies, buiten beschouwing gelaten. Ook de broeikasgasemissies die zijn gelinkt met de energieverbruiken van met name het vergisten en produceren van de mestproducten zijn niet meegenomen in deze studie. Door middel van de LevensCyclusAnalyse (LCA) kan bepaald worden hoeveel broeikasgas er in totaal wordt uitgestoten (uit mest, transport, energieverbruik, chemisch verbruik, apparatuur en gebouwen).

Emissies tijdens vergisting
Tijdens vergisting van mestproducten zijn naast de productie van CH_4 en CO_2 ook de verliezen uit de vergister en WKK meegenomen. Hierbij is aangenomen dat er 3% verlies optreedt uit de vergistingsinstallatie en 1% uit de WKK. Echter is het door de diversiteit aan verliesbronnen tijdens vergisting (en het wel of niet opwaarderen van het biogas middels een WKK) en de gebruikte meetmethoden om de CH_4-emissies te meten, lastig om een vaste factor voor deze verliezen te bepalen. Groenestein et al. (2020) geven een overzicht van de beschikbare publicaties die informatie geven over het CH_4-verlies uit vergistingsinstallaties, waarbij waardes van 1-15% CH_4-verlies voorkomen. Per vergistingsinstallatie, unit voor het opwaarderen van biogas en/of WKK-installatie zal moeten worden gekeken of de gebruikte waardes in deze studie representatief zijn voor de specifieke installatie.

Emissies tijdens aanwending
De laatste stap in elk scenario is aanwending van de mest(producten), waarbij het model de NH_3- en N_2O-emissies berekent. Dit is op eenzelfde manier opgebouwd als de voorgaande stappen in het model: de stikstofhoudende emissies worden berekend met een specifieke emissiefactor die voor het betreffende stikstofgas tijdens aanwending is bepaald (uit Van Bruggen et al., 2021). De emissiefactor geeft aan hoeveel van de in de mest aanwezige TAN (totaal ammoniakaal stikstof) emitteert. In het model wordt voor iedere stap berekend hoeveel organische stof afbreekt en hoeveel TAN hierbij gevormd wordt. De TAN gehalten zijn zo goed mogelijk berekend, maar bijvoorbeeld met vergisten wordt niet alleen stikstof als TAN geproduceerd maar ook stikstof vastgelegd in biomassa en mineralen. Hier is zo goed mogelijk rekening gehouden.
Emissies die vrijkomen tijdens aanwending vormen een grote onzekerheid: er zijn geen specifieke emissiefactoren bepaald voor stikstofconcentraten. Producten die in de scenario's van deze studie worden gevormd, zijn op basis van expert judgement vergeleken met emissiefactoren voor ammoniak van kunstmestproducten, om zo een emissiefactor toe te kennen die het beste aansluit op het mestproduct (Van Dijk et al., 2020).
Voor emissies van lachgas tijdens aanwending is nog minder bekend en de meest recente emissiefactoren kennen voor alle mestproducten of kunstmestproducten eenzelfde emissiefactor toe, welke is gebruikt in deze modelstudie. Dit vergroot de onzekerheid van de emissies tijdens aanwending die zijn berekend. Aangezien de resultaten uit deze studie nu laten zien dat er een aanzienlijke reductie (tot 55%) kan worden behaald bij het aanwenden van mestproducten in plaats van drijfmest, is meer onderzoek naar deze stap nodig om aan te tonen of dergelijke reducties daadwerkelijk kunnen worden behaald.

Aanwendtechniek en emissies
Zoals hierboven genoemd, zijn de emissies tijdens aanwending berekend op basis van emissiefactoren voor drijfmest en/of kunstmest. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen aanwendtechnieken, aangezien dit invloed heeft op de hoeveelheid ammoniak die emitteert. Voor berekening van deze emissies is voor gras- en bouwland gekozen voor de aanwendtechniek die het meeste voorkomt in Nederland op de verschillende gronden (Van Bruggen et al., 2021). Voor de intensieve bedrijfssystemen is uitgegaan van dezelfde aanwendtechnieken op het bedrijf zelf en het deel van de mest(producten) die naar derden is afgezet. In de praktijk kan het echter voorkomen dat mest op verschillende manieren wordt toegediend, wat voor significante verschillende in ammoniakemissie kan zorgen.

7.6 Uitgangspunten bedrijfssystemen

De kengetallen voor de intensieve en extensieve bedrijfssystemen zijn uitgerekend met BBPR, welke gebruik maakt van bedrijfsspecifieke en normatieve uitgangspunten van een melkveebedrijf. In bijlage 2 is een uiteenzetting van de uitgangspunten en kengetallen uitgewerkt. Voor deze studie is een keuze gemaakt voor twee generieke bedrijfssystemen om op een globaal niveau inzicht te krijgen in de emissies uit mest die op een melkveehouderijbedrijf voorkomen. Echter is er significante variatie in bedrijfstypen in Nederland en speelt een groot aantal factoren (e.g., rantsoen, weidegang,

melkproductie, grondsoort, etc.) een rol bij de hoeveelheid ammoniak- en broeikasgasemissie die vrijkomt op een bedrijf. De resultaten uit deze studie kunnen dan ook niet een-op-een worden overgenomen voor één specifiek bedrijf en absolute getallen kunnen wezenlijk verschillen van de werkelijke situatie in de praktijk, afhankelijk van bovengenoemde factoren. De verschillen in emissies tussen scenario's, en waar emissiereductie in de bedrijfsketen gerealiseerd kan worden, kunnen worden gebruikt om voor bedrijfsspecifieke situaties te bepalen waar de meeste emissiereductie voor zowel ammoniak als broeikasgassen behaald kan worden.

7.7 Emissiefactoren uit Regeling ammoniak en veehouderij

Voor het bepalen van de ammoniakemissie in de stal van de melkkoeien is gebruik gemaakt van emissiefactoren uit Van Bruggen et al. (2021) en de emissiefactoren uit de Regeling ammoniak en veehouderij (RAV) lijst. De emissiefactor uit Van Bruggen (2021) voor een regulier huisvestingssysteem komt bij omrekening naar emissie per dierplaats overeen met de emissiefactor uit de RAV-lijst (13 kg NH_3/dierplaats/jaar voor RAV-code A1.100). In deze studie wijkt de emissie per dierplaats voor de reguliere scenario's echter af van 13 kg NH_3/dierplaats/jaar. Dit is te verklaren door het feit dat ammoniakemissie (als percentage van TAN) niet alleen wordt bepaald door het type huisvestingssysteem, maar door de samenstelling en volumes van geproduceerde mest in de stal, welke weer door andere factoren wordt bepaald (e.g., weidegang, rantsoen, melkproductie, etc.). De emissiefactoren uit de RAV-lijst voor specifieke huisvestingssystemen kunnen daardoor afwijken in verschillende bedrijfssituaties.

Voor de scenario's 'Regulier + verdunnen + strippen' en 'Semi-dichte vloer + onder afzuiging' (met en zonder monovergisten) is gebruikt gemaakt van een voorlopige RAV emissiefactor. Daar deze emissiefactoren nog definitief moeten worden gemaakt, kan nog niet worden geconcludeerd dat de emissiereductie welke in de stal optreden daadwerkelijk kunnen worden behaald wanneer deze systemen worden geïmplementeerd op bedrijfsniveau.

7.8 Melkveesector

De uitkomsten van de modelleringen geven, bij de gekozen uitgangspunten, inzicht in welke emissiereducties mogelijk zijn, hoe mestproducten gemaakt kunnen worden die beter passen binnen de kringloop en tegen welke kosten. Deze resultaten zijn niet toe te passen voor de gehele sector. Duidelijk is wel dat er mogelijkheden zijn om de ammoniak en methaan emissies te verlagen, echter in veel gevallen zal de kostprijs van de melk hoger worden. Maatregelen als vergisten en bewerken van de mest blijken onder de uitgangspunten van deze studie vooral weggelegd voor de grotere (250 melkkoeien) intensievere ondernemingen wat maar een beperkt deel van de sector is (gemiddeld bedrijf circa 120 melkkoeien). Bedrijfsspecifieke omstandigheden of samenwerkingsverbanden kunnen echter het verschil maken voor een haalbare businesscase.

8 Conclusies

Doel van deze studie is het effect te bepalen op de N-kringloop en op de emissies wanneer mestbewerking op het melkveebedrijf (mestscheiding en productie kunstmestvervangers) wordt toegepast met normale drijfmest (opslag) als referentie. Het betreft een eerste haalbaarheidsscan van verwerkingsscenario's voor de rundveehouderij met een indicatie van de mestverwerkingsprijs (business case) en methaan- en stikstofbalans.

Op basis van de uitgevoerde modelstudie wordt geconcludeerd dat:

- Toepassing van vergisting biedt perspectief ten aanzien van de verlaging van methaanemissies in de keten en daarmee ook verlaging van de CO_2 equivalenten. Dit perspectief is het grootst bij huisvestingssystemen met dagontmesting. Dagontmesting leidt ook tot hoogste biogasopbrengsten bij het vergistingsproces.
- Het scheiden van urine/gier en feces leidt niet tot economische voordelen, het verlagen van de ammoniakemissie in de stal is de belangrijkste winst.
- De emissie reducerende maatregelen Regulier + verdunnen + strippen' en 'Semi-dichte vloer + onder afzuiging' (4.1, 4.2 en 9.1, 9.2) leiden tot hoge ammoniak reducties in de stal. De meerkosten van dergelijke systemen zijn echter wel hoger dan de opbrengsten uit bespaarde kunstmest en bespaarde mestafvoerkosten.
- Aanwenden van digestaat leidt modelmatig tot een toename van de ammoniakemissie ten opzichte van drijfmest vanwege het hogere gehalte ammoniumstikstof in het digestaat. Praktijkmetingen ontbreken.
- Door het strippen van de ammoniumstikstof uit het digestaat kan de ammoniakemissie bij aanwending effectief worden verminderd.
- Bij de in deze studie gehanteerde uitgangspunten ligt de minimale bedrijfsomvang waarbij toepassing van vergisting en stippen bij stalsystemen met dagontmesting een positieve exploitatie leveren, op ca. 250 melkkoeien (intensieve bedrijven).

Literatuur

Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, S.M. van der Sluis, G.L. Velthof en J. Vonk. 2019. Emissies naar lucht uit de landbouw in 2017. Berekeningen met het model NEMA. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOt-technical report 147.

Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, M.B.H. Ros, G.L. Velthof, J. Vonk en T. van der Zee. 2021. Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2019. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOt-technical report 203.

Dijk Van, W. van, R. Postma en J. Roefs. 2020. Landbouwkundige waarde mestbewerkingsproducten; Aanvoer van nutriënten en organische stof met geselecteerde product-markt-combinaties. Wageningen Research, Rapport WPR-1012.

Gollenbeek L.R., J.P.B.F. van Gastel, P.J.T.H. Bussmann, R.W. Melse, N. Verdoes. 2020. Verkenning mogelijke mestverwerkingsroutes en duurzaamheidsaspecten; NL Next Level Mestverwaarden WP2. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1270.

Gollenbeek L.R., J.P.B.F. van Gastel, F.A.M. Casu, N. Verdoes, 2021. Emissies en kosten van verschillende scenario's voor verwaarding van varkensmest; NL Next Level Mestverwaarden. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1331.

Gollenbeek L.R., J.P.B.F. van Gastel, F. Casu, N. Verdoes. 2021b. Emissies en kosten van verschillende scenario's voor de verwaarding van kalvermest; NL Next level mestverwaarden. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1234567.

Groenestein, C.M., J. Mosquera, R.W. Melse. 2016. Methaanemissie uit mest; Schatters voor biochemisch methaan potentieel (BMP) en methaanconversiefactor (MCF). Wageningen Livestock Research, Rapport 961.

Groenestein, K., R.W. Melse, J. Mosquera, M. Timmermans. 2020. Effect mestvergisting op de emissies van broeikasgassen uit mest van melkvee: een literatuur- en scenariostudie. Wageningen, Rapport 1235.

Myhre, G., D. Shindell, F.M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestvedt, J. g, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang. 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. *In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Timmerman, M., Van Riel, J.W., Bisschops, I., Van Eekert, M. 2009. Optimaliseren van mestvergisting. Wageningen Livestock Research, Rapport 243.

Waterloopkundig Laboratorium Delft, 1978, zuurstofmodel Zoommeer tijdens ontzilting, Rapport 1380 april 1978.

Bijlage 1 Uitgangspunten emissieberekeningen

In deze bijlage zijn de uitgangspunten voor de berekening van de meststromen uitgewerkt. De eerste tabel geeft de uitgangspunten weer die voor alle mestverwerkingsscenario's gelijk zijn. In de daaropvolgende tabellen zijn scenario-specifieke uitgangpunten samengevat. Uitgangspunten gelden voor zowel de intensieve als extensieve bedrijfssystemen[4].

Tabel B1.1 *Uitgangpunten modelstudie voor alle mestverwerkingsscenario's.*

Enterische fermentatie	
Emissies CH_4	Van Bruggen et al., 2021
Melkkoeien = 135.4 kg/dierpl./jaar	Gemiddelde Zuid Oost- en Noord West Nederland
Pinken = 59.2 kg/dierpl./jaar	Gemiddelde Zuid Oost- en Noord West Nederland
Kalveren = 30.1 kg/dierpl./jaar	Gemiddelde Zuid Oost- en Noord West Nederland
Weide	Alleen voor extensieve bedrijfssystemen
BMP = 0.22 m^3 CH_4/kg OS	
MCF = 0.01	
Verhouding volume % CH_4-CO_2 = 60-40	Groenestein et al., 2020
Emissies	
NH_3-N = 3.3% van TAN	Van Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 3.3% van N-totaal	Van Bruggen et al., 2019
Mest in stal & opslag	
BMP = 0.2942 m^3 CH_4/kg OS aanwezig	Massabalans
Kh = 0.0060	Massabalans
Verhouding volume % CH_4-CO_2 = 85-15	Groenestein et al., 2020
Vergisten met	
Kh = 0.15	Massabalans
Toediening mestproducten*	
Omzetting N-org in N-NH_4 = 0%	Aanname dat alle mineralisatie is opgetreden na vergisting
Emissies drijfmest, digestaat, dunne fracties	
NH_3-N = 14% van TAN	Van Bruggen et al., 2021 (grasland)
NH_3-N = 1.6% van TAN	Van Bruggen et al., 2021 (bouwland)
N_2O-N = 0.9% van N-totaal	Van Bruggen et al., 2021
Emissies N-concentraat	
NH_3-N = 1.5% van TAN	Van Bruggen et al., 2021
N_2O-N = 1.3% van N-totaal	Van Bruggen et al., 2021

Tabel B1.2 *Uitgangpunten modelstudie scenario Regulier (referentiescenario)*

Mest in stal & opslag melkvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 90 dagen	
Omzetting N-org in N-NH_4 = 11%	
Emissies	
NH_3-N = 11.7% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

[4] Emissiefactoren NH_3 uit Van Bruggen et. al (2021) zijn omgerekend naar NH_3-N door vermenigvuldiging van 14/17

Mest in stal & opslag jongvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 90 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 11%	
Emissies	
NH_3-N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 90 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 12%	
Emissies	
NH_3-N = 0.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Tabel B1.3 *Uitgangpunten modelstudie scenario Regulier + vergisten en Regulier + vergisten + strippen.*

Mest in stal & opslag melkvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 36 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 6%	
Emissies	
NH_3-N = 11.7% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in stal & opslag jongvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 14 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 2%	
Emissies	
NH_3-N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 90 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 2%	
Emissies	
NH_3-N = 0.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Tabel B1.4 *Uitgangpunten modelstudie scenario Regulier + verdunnen + strippen.*

Mest in stal & opslag melkvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 36 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 6%	
Emissies	
NH_3-N = 11.7% van TAN	Bruggen et al., 2019
Reductie op EF NH_3-N = 62%	Op basis van voorlopige RAV-EF: 4.9 kg/dierpl./jaar
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in stal & opslag jongvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 90 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 11%	
Emissies	
NH_3-N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Dikke fractie in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 30 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 1%	
Emissies	
NH_3-N = 1.6% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Dunne fractie in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 90 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 3%	
Emissies	
NH_3-N = 0.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Tabel B1.5 *Uitgangpunten modelstudie scenario Regulier + verdunnen + strippen + monovergisten.*

Mest in stal & opslag melkvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 36 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 6%	
Emissies	
NH_3-N = 11.7% van TAN	Bruggen et al., 2019
Reductie op EF NH_3-N = 62%	Op basis van voorlopige RAV-EF: 4.9 kg/dierpl./jaar
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in stal & opslag jongvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 14 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 2%	
Emissies	
NH_3-N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Digestaat in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 53 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 2%	
Emissies	
NH_3-N = 0.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Tabel B1.6 *Uitgangpunten modelstudie voor scenario Dagontmesting zonder verwerking.*

Mest in stal & opslag melkvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 1 dag	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 0.2%	
Emissies	
NH_3-N = 11.7% van TAN	Bruggen et al., 2019
Reductie op EF NH_3-N = 46%	Op basis van RAV-EF: 7.0 kg/dierpl./jaar
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in stal & opslag jongvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 90 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 11%	
Emissies	
NH_3-N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Mest in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 90 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 11%	
Emissies	
NH_3-N = 0.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Tabel B1.7 *Uitgangpunten modelstudie voor scenario Dagontmesting + vergisten en Dagontmesting + vergisten + strippen.*

Mest in stal & opslag melkvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 1 dag	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 0.2%	
Emissies	
NH_3-N = 11.7% van TAN	Bruggen et al., 2019
Reductie op EF NH_3-N = 46%	Op basis van RAV-EF: 7.0 kg/dierpl./jaar
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in stal & opslag jongvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 14 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 2%	
Emissies	
NH_3-N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 90 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 3%	
Emissies	
NH_3-N = 0.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Tabel B1.8 *Uitgangpunten modelstudie voor scenario Scheiden urine + feces.*

Feces in stal melkvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 1 dag	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 0.2%	
Emissies	
NH_3-N = 11.7% van TAN	Bruggen et al., 2019
Reductie op EF NH_3-N = 38%	Op basis van RAV-EF: 8.0 kg/dierpl./jaar
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Urine in stal melkvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 90 dag	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 7%	
Emissies	
NH_3-N = 11.7% van TAN	Bruggen et al., 2019
Reductie op EF NH_3-N = 38%	Op basis van RAV-EF: 8.0 kg/dierpl./jaar
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in stal & opslag jongvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 90 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 11%	
Emissies	

NH_3-N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Feces in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 90 dagen	
Omzetting N-org in N-NH_4 = 12%	
Emissies	
NH_3-N = 1.6% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Tabel B1.9 *Uitgangpunten modelstudie voor scenario Semi-dichte vloer + onder afzuiging.*

Feces in stal melkvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 1 dag	
Omzetting N-org in N-NH_4 = 0.2%	
Emissies	
NH_3-N = 11.7% van TAN	Bruggen et al., 2019
Reductie op EF NH_3-N = 72%	Op basis van voorlopige RAV-EF: 3.6 kg/dierpl./jaar
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Urine in stal melkvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 90 dag	
Omzetting N-org in N-NH_4 = 7%	
Emissies	
NH_3-N = 11.7% van TAN	Bruggen et al., 2019
Reductie op EF NH_3-N = 72%	Op basis van voorlopige RAV-EF: 3.6 kg/dierpl./jaar
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in stal & opslag jongvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 90 dagen	
Omzetting N-org in N-NH_4 = 11%	
Emissies	
NH_3-N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Feces in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 90 dagen	
Omzetting N-org in N-NH_4 = 12%	
Emissies	
NH_3-N = 1.6% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Tabel B1.9 *Uitgangpunten modelstudie voor scenario Semi-dichte vloer + onder afzuiging + monovergisten.*

Feces in stal melkvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 1 dag	
Omzetting N-org in N-NH_4 = 0.2%	
Emissies	
NH_3-N = 11.7% van TAN	Bruggen et al., 2019
Reductie op EF NH_3-N = 72%	Op basis van voorlopige RAV-EF: 3.6 kg/dierpl./jaar
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Urine in stal melkvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 90 dag	

Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 7%	
Emissies	
NH_3-N = 11.7% van TAN	Bruggen et al., 2019
Reductie op EF NH_3-N = 72%	Op basis van voorlopige RAV-EF: 3.6 kg/dierpl./jaar
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in stal & opslag jongvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 14 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 2%	
Emissies	
NH_3-N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Digestaat in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 90 dagen	
Omzetting N-org in $N\text{-}NH_4$ = 3%	
Emissies	
NH_3-N = 0.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N_2O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

Bijlage 2 Uitgangpunten en kengetallen BBPR

Intensief bedrijfssysteem

Tabel B2.1 *Uitgangpunten en kengetallen BBPR voor intensief bedrijfssysteem.*

Structuurkengetallen	
Aantal koeien	250
Melk/koe/jaar	9.000
Totale melkproductie (kg/jaar)	2.250.000
Melkproductie per ha (kg)	22.500
Oppervlakte (ha)	100
Aandeel mais	20%
Oppervlakte mais (ha)	20
Oppervlakte gras (ha)	80
Grondsoort	Zand
Grondwatertrap	VI
Uren weidegang koeien	0
Maanden weidegang	0
Voeraankoop bij tekort	Mais
Pink / koe	0,29
Kalf / koe	0,29
Aantal pinken	72,5
Aantal kalveren	72,5
Jongvee / 10 mk	5,8
Staltype	A1.100
Weiden pinken	Nee
Weiden kalveren	Nee
Totale voeropname melkkoeien *(kg DS; krachtvoer = kg product)*	
Weidegras	0
Graskuil	825.500
Snijmais	237.750
Hooi	118.500
Krachtvoer (kg)	787.250

Tabel B2.2 *Mest- en mineralenproductie in de stal uit BBPR voor intensief bedrijfssysteem.*

	Ton	kg OS	OS (g/kg)	kg N	N (g/kg)	kg P_2O_5	P_2O_5 (g/kg)	kg K_2O	K_2O (g/kg)
Melkkoeien	5937	377.482	63,6	34.015	5,7	11.671	2,0	46.489	7,8
Droge koeien	775	48.856	63,0	3.522	4,5	1.102	1,4	5.840	7,5
Pinken	731	53.592	73,3	2.990	4,1	858	1,2	4.386	6,0
Kalveren	470	24.142	51,4	2.573	5,5	687	1,5	3.821	8,1
Voerresten	127	55.723	438,8	1.559	12,3	552	4,3	1.850	14,6
Strooisel	103	78.034	757,6	248	2,4	7	0,1	249	2,4
Spoelwater	861								
Totaal	9004	637.829		44.907		14.877		62.635	

Extensief bedrijfssysteem

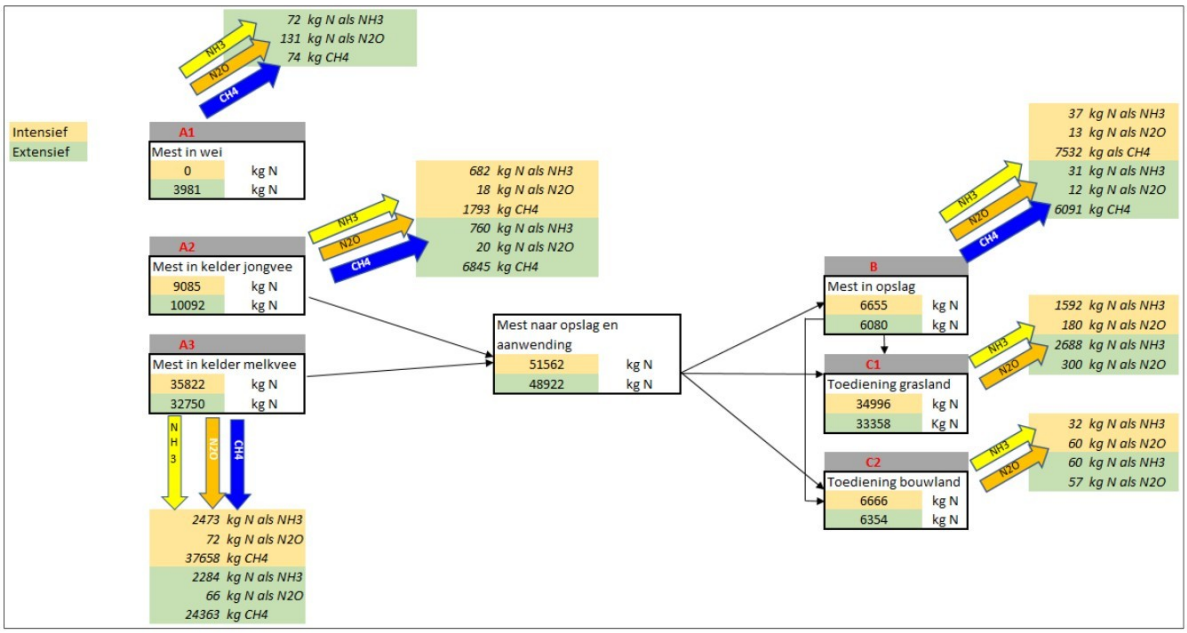
Tabel B2.3 *Uitgangpunten en kengetallen BBPR voor extensief bedrijfssysteem.*

Structuurkengetallen	
Aantal koeien	250
Melk/koe/jaar	9.000
Totale melkproductie (kg/jaar)	2.250.000
Melkproductie per ha (kg)	12.500
Oppervlakte (ha)	180
Aandeel mais	20%
Oppervlakte mais (ha)	36
Oppervlakte gras (ha)	144
Grondsoort	Zand
Grondwatertrap	VI
Uren weidegang koeien	798
Maanden weidegang	4
Voeraankoop bij tekort	Mais
Pink / koe	0,29
Kalf / koe	0,29
Aantal pinken	72,5
Aantal kalveren	72,5
Jongvee / 10 mk	5,8
Staltype	A1.100
Weiden pinken	Ja
Weiden kalveren	Nee
Totale voeropname melkkoeien *(kg DS; krachtvoer = kg product)*	
Weidegras	140.500
Graskuil	808.500
Snijmais	119.000
Hooi	40.000
Krachtvoer (kg)	851.250

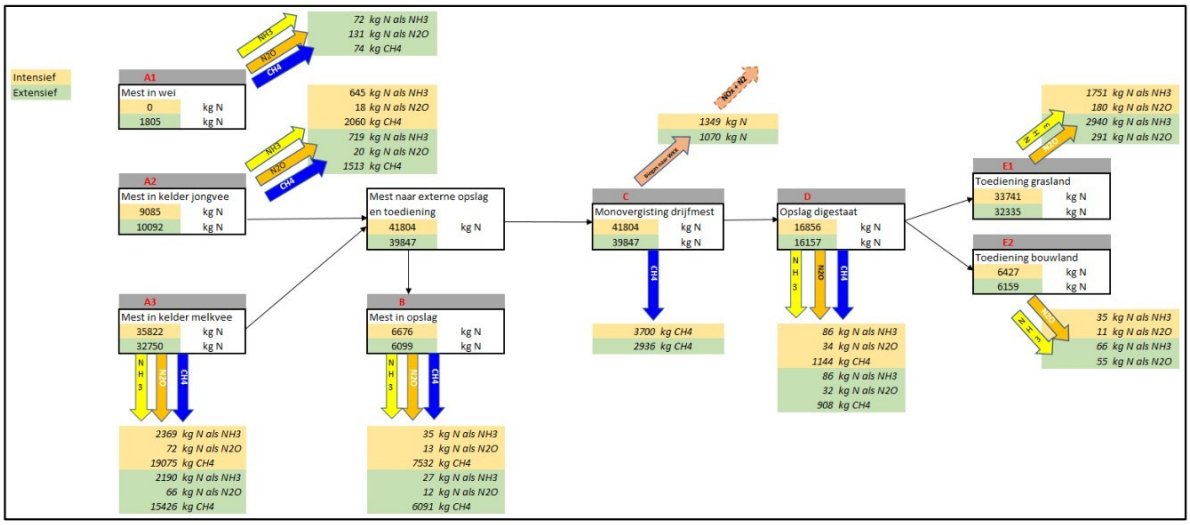
Tabel B2.4 *Mest- en mineralenproductie in de stal uit BBPR voor extensief bedrijfssysteem.*

	Ton	kg OS	OS (g/kg)	kg N	N (g/kg)	kg P_2O_5	P_2O_5 (g/kg)	kg K_2O	K_2O (g/kg)
Melkkoeien	5.358	330.559	61,7	31.200	5,8	10.959	2,0	42.860	8,0
Droge koeien	741	35.434	47,8	4.002	5,4	1.273	1,7	6.514	8,8
Pinken	641	35.788	55,8	3.549	5,5	1.140	1,8	5.549	8,7
Kalveren	455	21.711	47,7	2.541	5,6	656	1,4	3.688	8,1
Voerresten	104	48.364	465,0	1.440	13,8	523	5,0	1.729	16,6
Strooisel	46	34.515	750,3	110	2,4	3	0,1	110	2,4
Spoelwater	861								
Totaal	8.206	506.371		42.842		14.554		60.450	

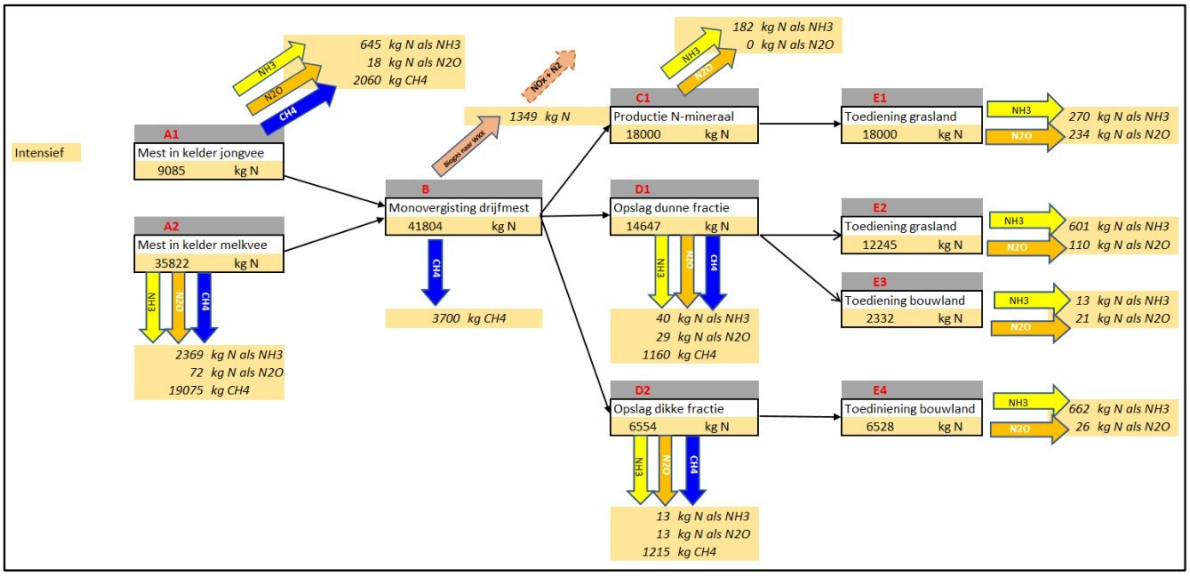
Bijlage 3 Stroomschema's emissieberekeningen



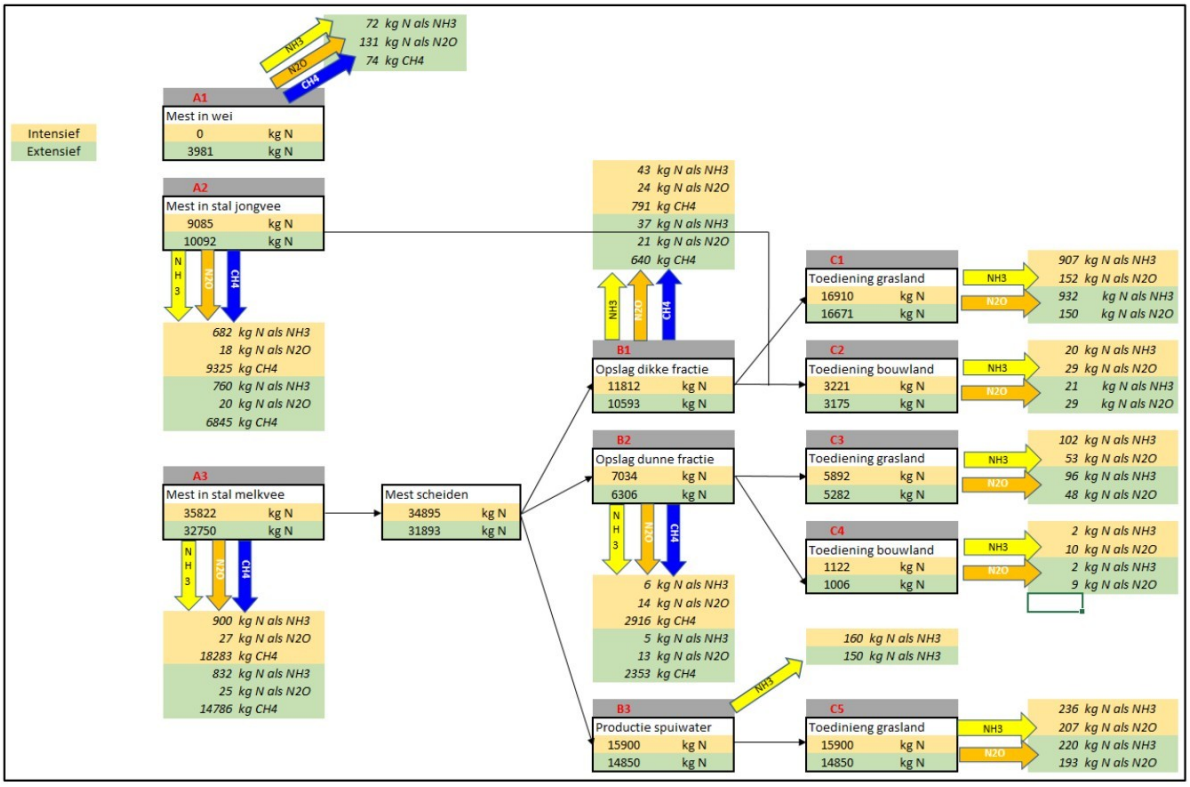
Figuur B3.1 *Scenario 1: Regulier geen vergisting.*



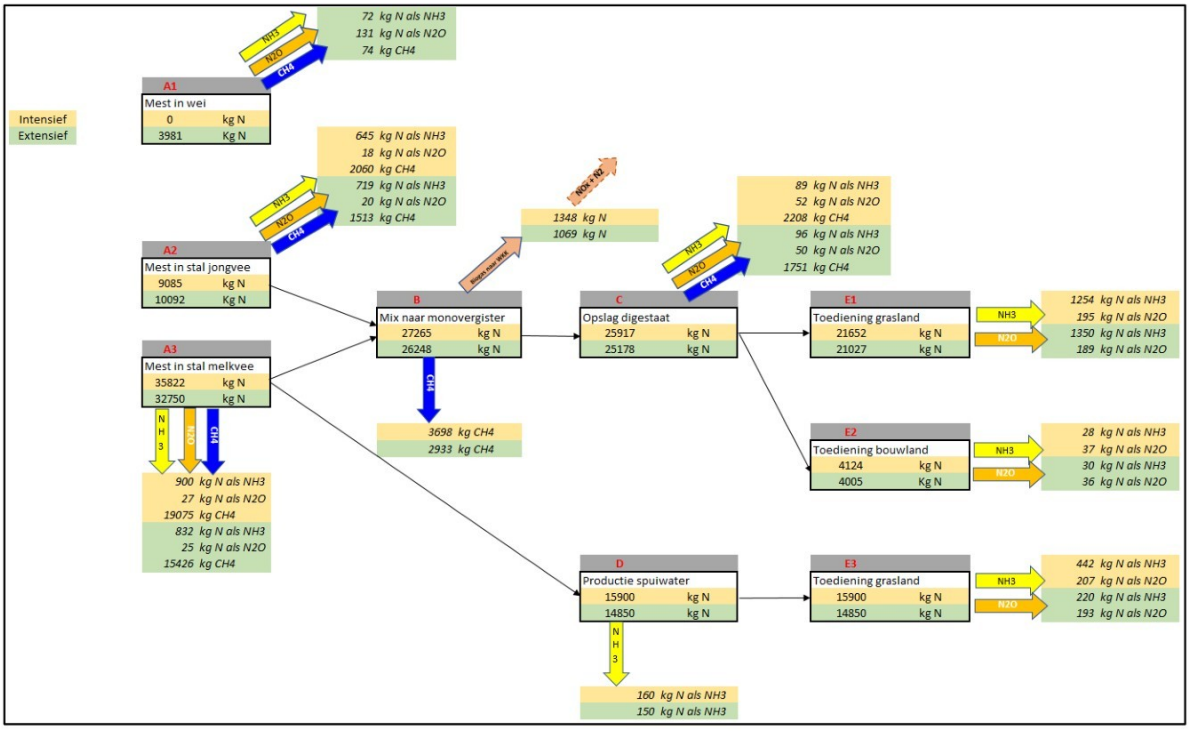
Figuur B3.2 *Scenario 2: Regulier + monovergisting.*



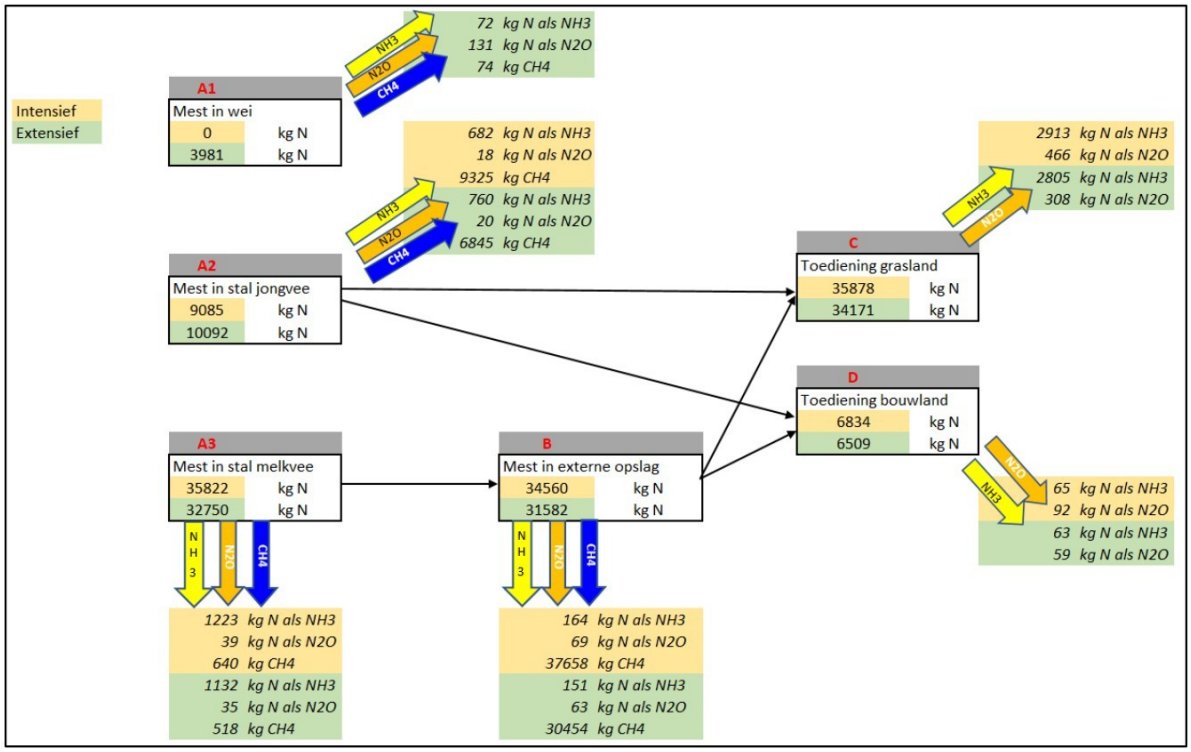
Figuur B3.3 *Scenario 3: Regulier + monovergisten + strippen.*



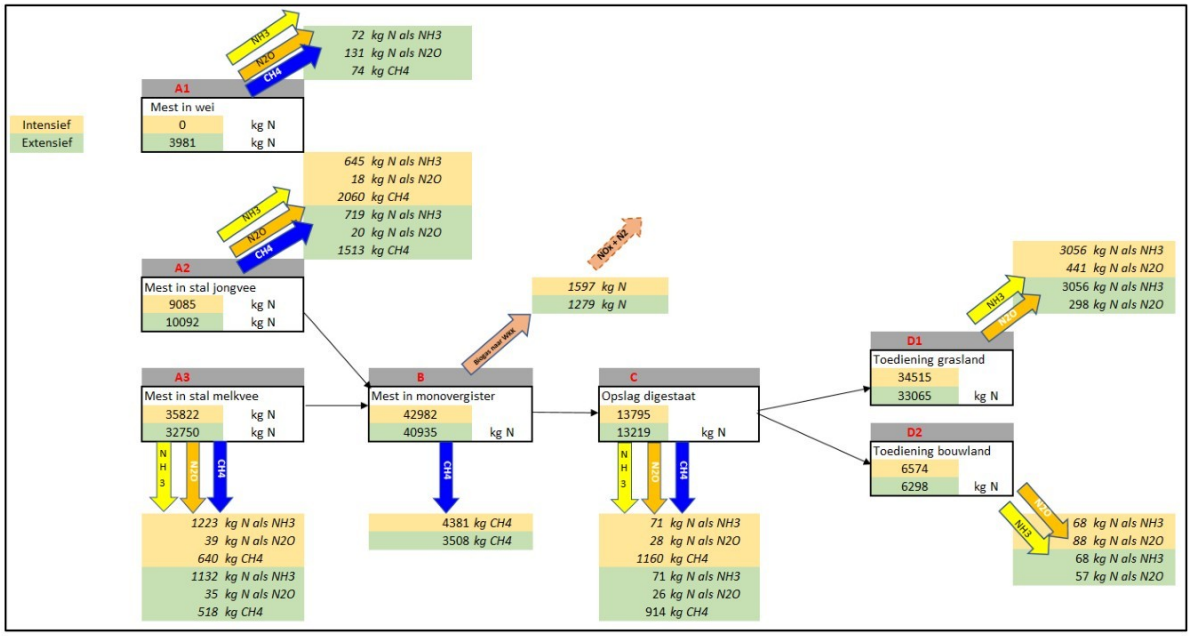
Figuur B3.4 *Scenario 4.1: Regulier + verdunnen + strippen.*



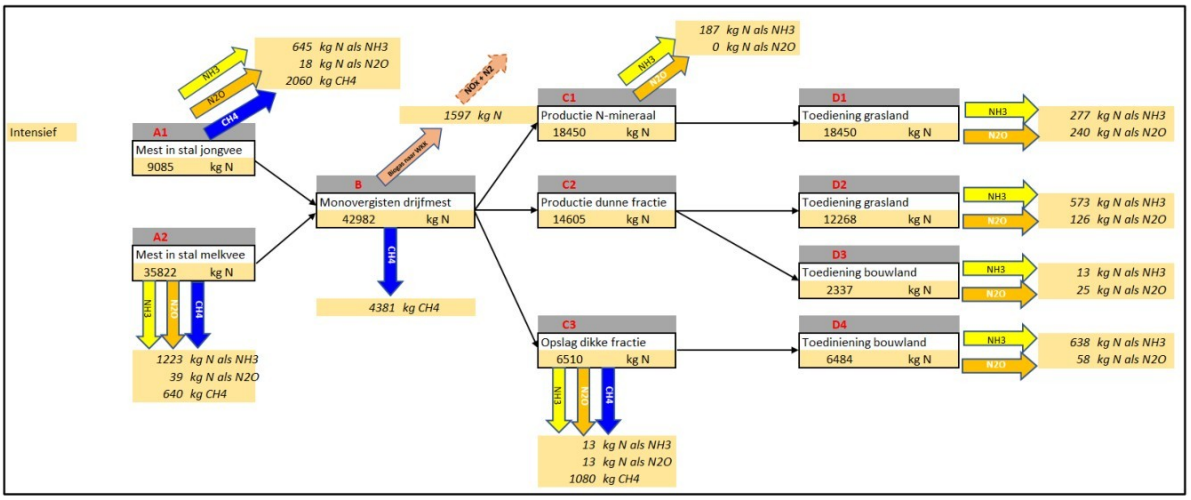
Figuur B3.5 *Scenario 4.2: Regulier + verdunnen + monovergisten + strippen.*



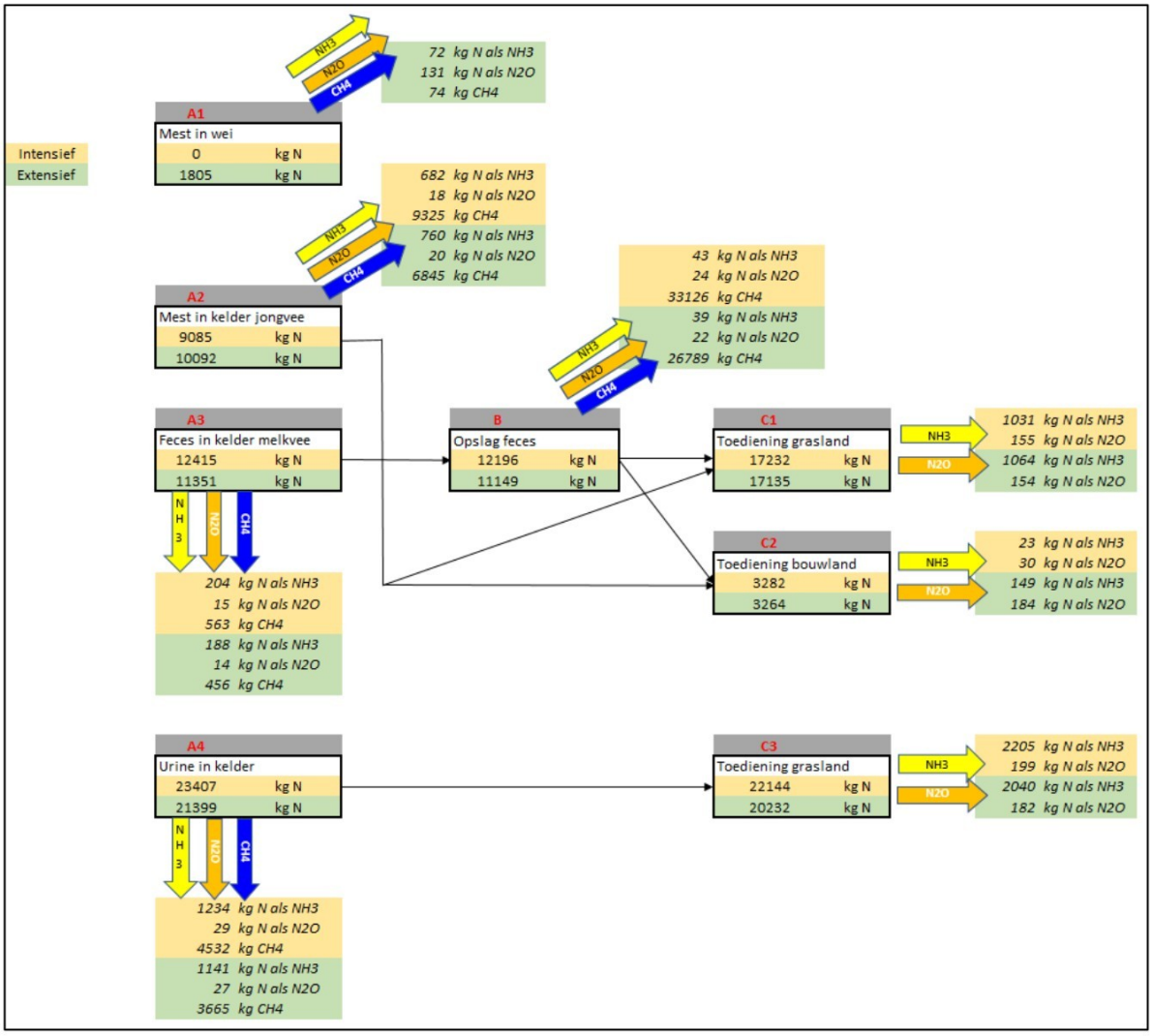
Figuur B3.6 *Scenario 5: Dagontmesting geen vergisting.*



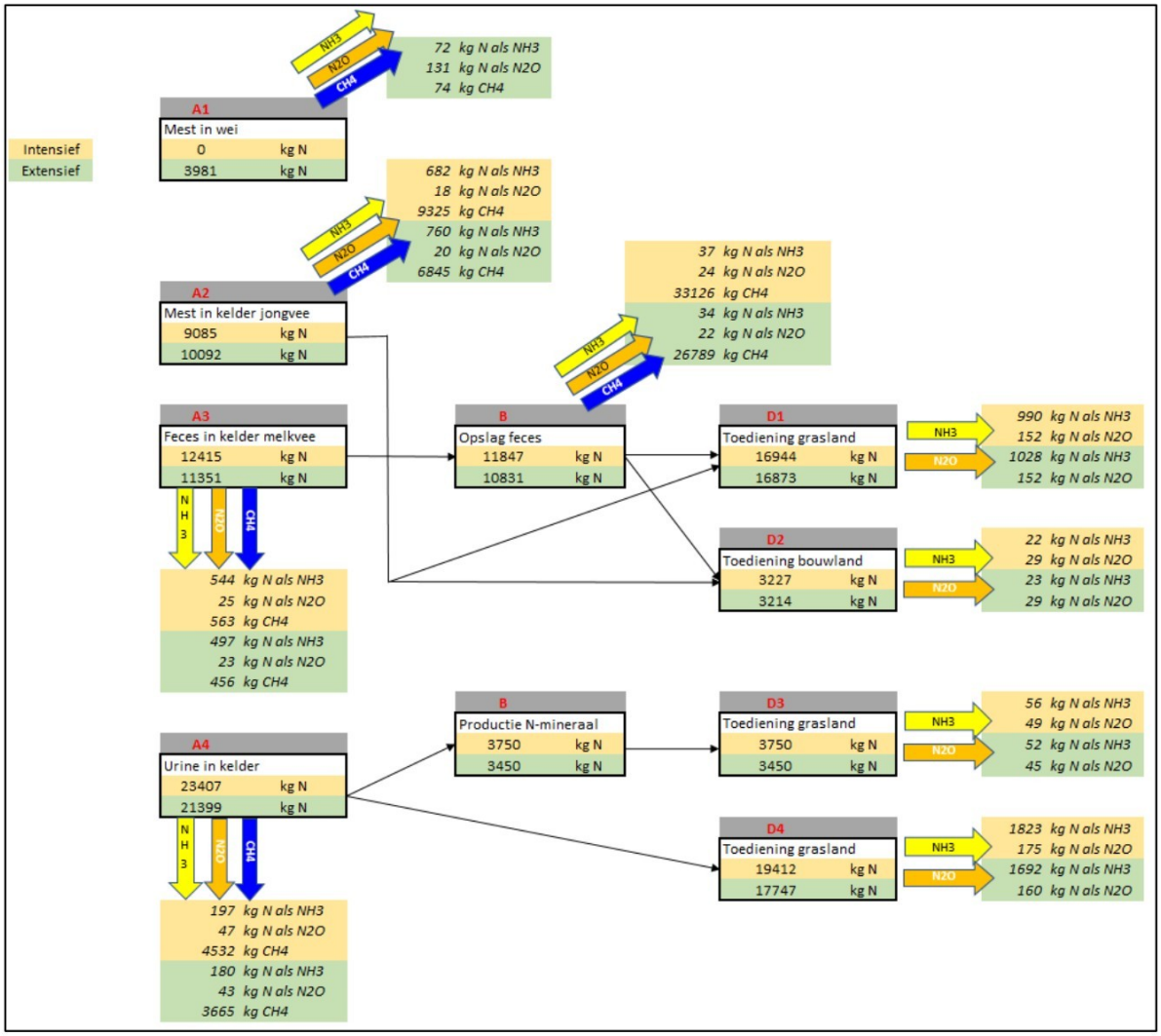
Figuur B3.7 *Scenario 6: Dagontmesting + monovergisting.*



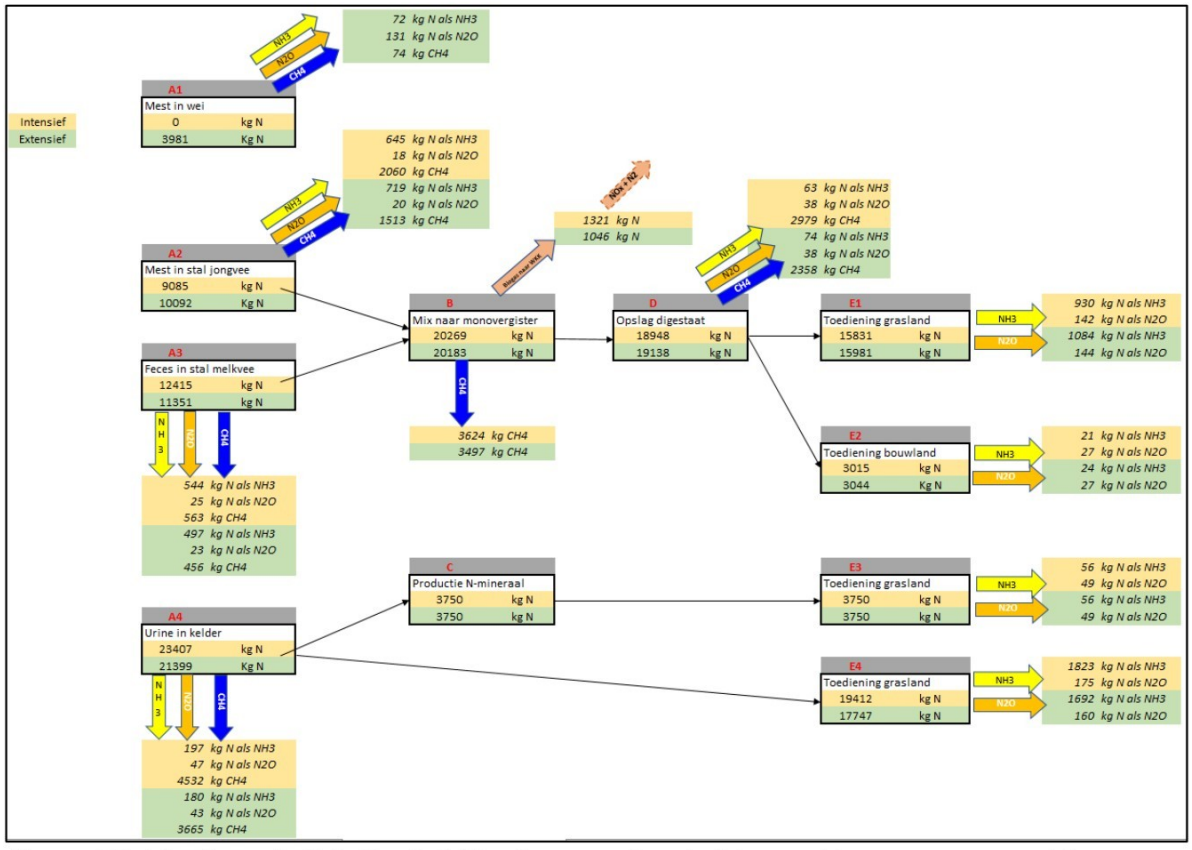
Figuur B3.8 *Scenario 7: Dagontmesting + monovergisting + strippen.*



Figuur B3.9 *Scenario 8: Scheiden urine en feces.*



Figuur B3.10 *Scenario 9.1: Semi-dichte vloer + onder afzuiging + strippen.*



Figuur B3.11 *Scenario 9.2: Semi-dichte vloer + onder afzuiging + strippen + monovergisten.*

Bijlage 4 Resultaten broeikasgasemissies

Intensief bedrijfssysteem

Tabel B4.1 *Methaanemissies voor intensieve bedrijfssystemen (ton/jaar).*

Scenario	Enterische fermentatie	Stal	Opslag bedrijf	Vergisting	Opslag na bewerking	Totaal uit mest
1	40,3	39,5	7,5			47,0
2	40,3	21,1		3,7	1,1	26,0
3	40,3	21,1		3,7	2,4	27,2
4.1	40,3	27,6	3,7			31,3
4.2	40,3	21,1		3,7	2,2	27,0
5	40,3	10,0	37,7			47,6
6	40,3	2,7		4,4	1,2	8,2
7	40,3	2,7		4,4	1,1	8,2
8	40,3	14,4	33,1			47,5
9.1	40,3	14,4	33,1			47,5
9.2	40,3	7,2		3,6	3,0	13,8

Tabel B4.2 *Lachgasemissies voor intensieve bedrijfssystemen (ton N_2O/jaar).*

Scenario	Stal	Opslag op bedrijf	Opslag na bewerking	Aanwending	Totaal
1	0,14	0,02		0,64	0,80
2	0,14		0,05	0,54	0,73
3	0,14		0,07	0,61	0,82
4.1	0,07	0,06		0,71	0,84
4.2	0,07		0,08	0,69	0,84
5	0,09	0,11		0,88	1,08
6	0,09		0,04	0,83	0,96
7	0,09		0,02	0,71	0,81
8	0,10	0,04		0,60	0,74
9.1	0,14	0,04		0,64	0,81
9.2	0,14		0,06	0,62	0,82

Extensief bedrijfssysteem

Tabel B4.3 *Methaanemissies voor intensieve bedrijfssystemen (ton/jaar).*

Scenario	Enterische fermentatie	Stal	Wei	Opslag bedrijf	Vergisting	Opslag na bewerking	Totaal uit mest
1	40,3	31,2	0,1	6,1			37,4
2	40,3	16,9	0,1	6,1	2,9	0,9	26,9
4.1	40,3	21,6	0,1	3,0			24,7
4.2	40,3	16,9	0,1		2,9	1,8	21,7
4	40,3	7,4	0,1	30,5			37,9
5	40,3	2,0	0,1		3,5	0,9	6,5
6	40,3	11,0	0,1	26,8			37,8
9.1	40,3	11,0	0,1	26,8			37,8
9.2	40,3	5,6	0,1		2,9	2,4	10,9

Tabel B4.4 *Lachgasemissies voor intensieve bedrijfssystemen (ton N_2O/jaar).*

Scenario	Stal	Wei	Opslag op bedrijf	Opslag centrale verwerking	Aanwending	Totaal
1	0,13	0,21	0,02		0,56	0,9
2	0,13	0,21		0,05	0,56	1,0
4.1	0,07	0,21	0,05		0,68	1,0
4.2	0,07	0,21		0,08	0,68	1,0
4	0,09	0,21	0,10		0,58	1,0
5	0,09	0,21		0,04	0,57	0,9
6	0,10	0,21	0,04		0,82	1,2
9.1	0,13	0,21	0,03		0,61	1,0
9.2	0,13	0,21		0,06	0,60	1,0

Bijlage 5 Processchema's mestverwerkingsroutes en massabalansen

Scenario 1: **Regulier** **Intensief bedrijf**
Input vergister: Nvt
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



Drijfmest		g/kg
Drogestof	DS	83,1
Org. Stof	OS	63,1
Stikstof	N	4,6
Ammonium	N	2,6
Fosfaat	P2O5	1,7
Kalium	K2O	5,6

Massabalans:

Massabalans		In		Uit				
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**	**Aanwending**	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie		Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	44,9		41,7	3,2		38,4	3,3
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,9		14,9	0,0		14,9	0,0

Scenario 1: **Regulier** **Extensief bedrijf**
Input vergister: Nvt
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



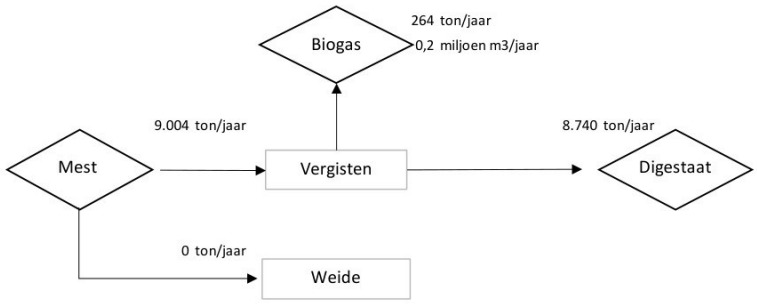
Drijfmest		g/kg
Drogestof	DS	75,0
Org. Stof	OS	55,0
Stikstof	N	4,8
Ammonium	N	2,8
Fosfaat	P2O5	1,8
Kalium	K2O	5,5

Massabalans:

Massabalans		In	Uit					
Stof	**Eenheid**	**Excretie**	**Mest uit stal**			**Bewerking**	**Aanwending**	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie		Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	42,8		4,0	39,7	3,1	36,4	3,3
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,6	1,4	14,6	0,0		14,6	0,0

Scenario 2: **Regulier + monovergisting** **Intensief bedrijf**
Input vergister: Mest van melkveestal en jongveestal
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:

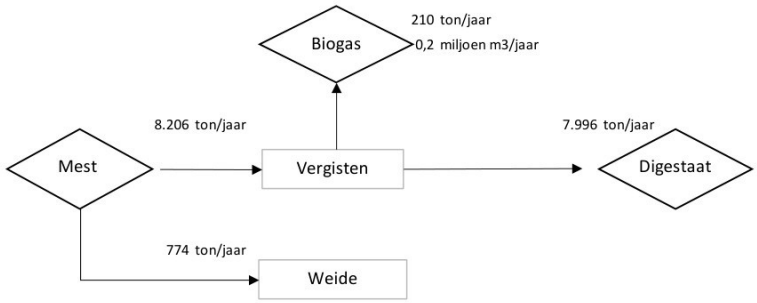


Digestaat		g/kg
Drogestof	DS	59,8
Org. Stof	OS	39,2
Stikstof	N	4,5
Ammonium	N	2,8
Fosfaat	P2O5	1,7
Kalium	K2O	5,6

Massabalans:

Massabalans		In		Uit					
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**		**Aanwending**	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie	Digestaat	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	44,9		41,8	3,1	40,2	1,6	36,8	3,4
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,9		14,9	0,0	14,9	0,0	14,9	0,0

Scenario 2: **Regulier + monovergisting** **Extensief bedrijf**
Input vergister: Mest van melkveestal en jongveestal
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien



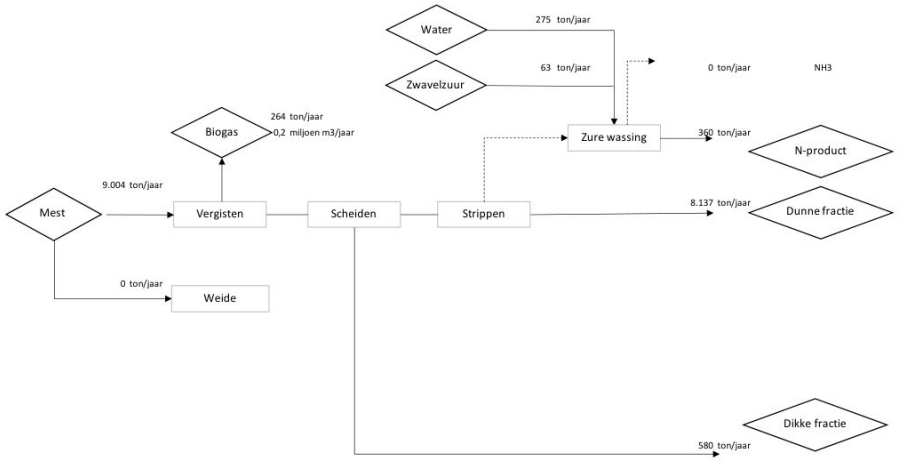
Digestaat		g/kg
Drogestof	DS	54,5
Org. Stof	OS	34,0
Stikstof	N	4,7
Ammonium	N	3,0
Fosfaat	P2O5	1,8
Kalium	K2O	5,5

Massabalans:

Massabalans		In		Uit					
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**		**Aanwending**	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie	Digestaat	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	42,8	4,0	39,8	3,0	38,5	1,4	34,9	3,6
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,6	1,4	14,6	0,0	14,6	0,0	14,6	0,0

Scenario 3: **Regulier + monovergisting + strippen** **Intensief bedrijf**
Input vergister: Mest van melkveestal en jongveestal
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



Ammoniumsulfaat		g/kg
Drogestof	DS	235,7
Org. Stof	OS	0,0
Stikstof	N	50,0
Nwerkzaam	N	50,0
Fosfaat	P2O5	0,0
Kalium	K2O	0,0
Sulfaat	SO4	171,4

Dunne fractie		g/kg
Drogestof	DS	42,2
Org. Stof	OS	28,2
Stikstof	N	1,8
Ammonium	N	0,6
Fosfaat	P2O5	1,28
Kalium	K2O	5,6

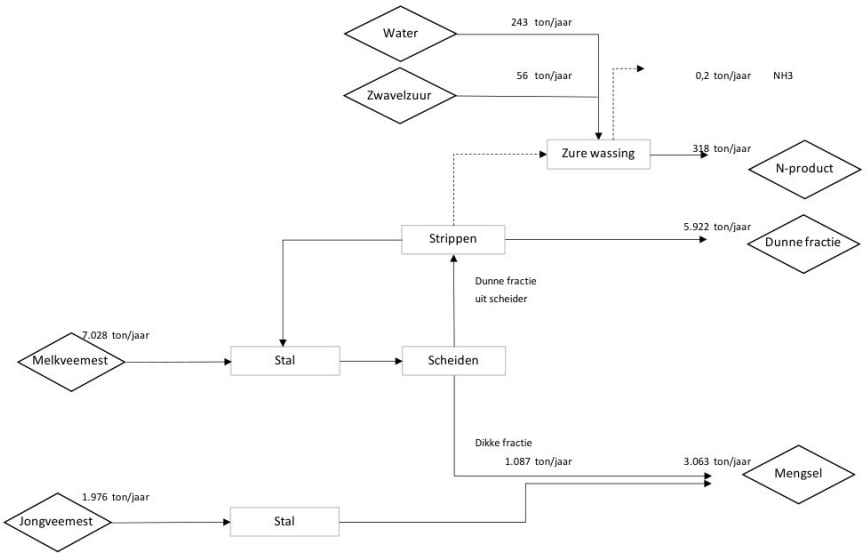
Dikke fractie		g/kg
Drogestof	DS	270,0
Org. Stof	OS	194,6
Stikstof	N	11,3
Ammonium	N	2,8
Fosfaat	P2O5	7,7
Kalium	K2O	5,6

Massabalans:

Massabalans		In		Uit							
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**				**Aanwending**	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie	Dun	Dik	N-product	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	44,9		41,8	3,1	14,5	6,5	18,0	2,8	37,1	1,9
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,9		14,9	0,0	10,4	4,5	0,0	0,0	14,9	0,0

Scenario 4.1: **Regulier + verdunnen + strippen** **Intensief bedrijf**
Input vergister: Nvt
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



Ammoniumsulfaat		g/kg
Drogestof	DS	235,7
Org. Stof	OS	0,0
Stikstof	N	50,0
Ammonium	N	50,0
Fosfaat	P2O5	0,0
Kalium	K2O	0,0
Sulfaat	SO4	171,4

Dunne fractie		g/kg
Drogestof	DS	59,9
Org. Stof	OS	45,8
Stikstof	N	1,2
Ammonium	N	0,1
Fosfaat	P2O5	1,2
Kalium	K2O	5,6

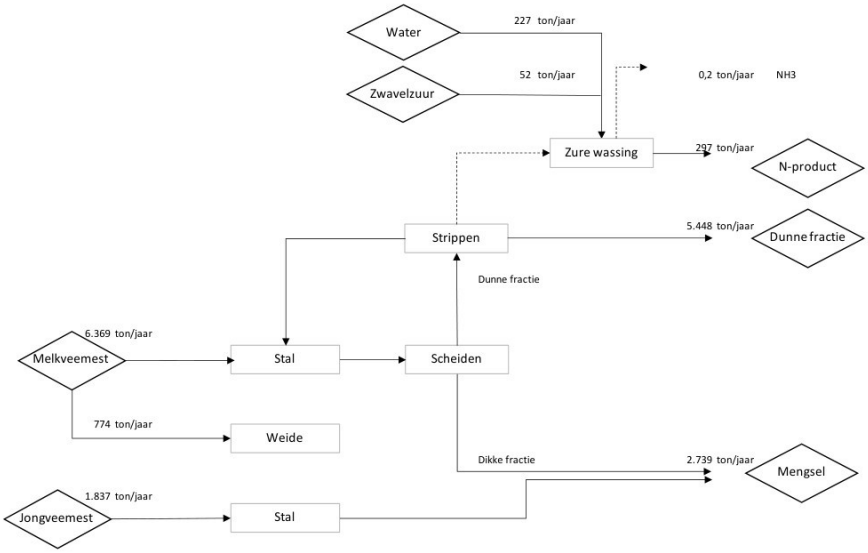
Mengsel		g/kg
Drogestof	DS	131,3
Org. Stof	OS	106,4
Stikstof	N	6,6
Ammonium	N	2,5
Fosfaat	P2O5	2,5
Kalium	K2O	5,1

Massabalans:

Massabalans		In		Uit								
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**				**Aanwending**		
		Stal	Weide	Drijf mest	Emissie	Dun	Mengsel	N-product	Emissie	Bodem	Emissie	
Stikstof N	ton/jaar	44,9		43,3	1,6	7,0	20,1	15,9	0,2	41,3	1,7	
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,9		14,9	0,0		7,2	7,7	0,0	0,0	14,9	0,0

Scenario 4.1: **Regulier + verdunnen + strippen** **Extensief bedrijf**
Input vergister: Nvt
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



Ammoniumsulfaat		g/kg
Drogestof	DS	235,7
Org. Stof	OS	0,0
Stikstof	N	50,0
Ammonium	N	50,0
Fosfaat	P2O5	0,0
Kalium	K2O	0,0
Sulfaat	SO4	171,4

Dunne fractie		g/kg
Drogestof	DS	53,7
Org. Stof	OS	40,1
Stikstof	N	1,2
Ammonium	N	0,1
Fosfaat	P2O5	1,3
Kalium	K2O	5,4

Mengsel		g/kg
Drogestof	DS	119,4
Org. Stof	OS	93,1
Stikstof	N	7,3
Ammonium	N	2,9
Fosfaat	P2O5	2,8
Kalium	K2O	5,2

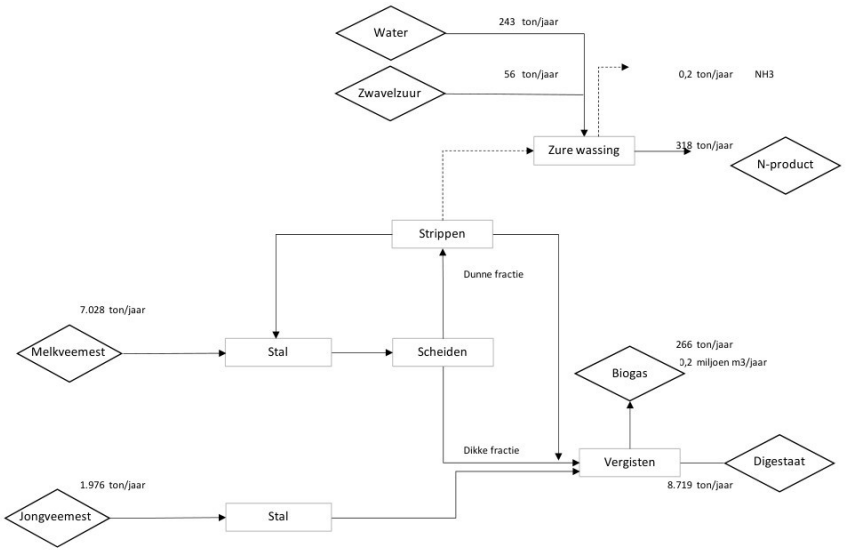
Massabalans:

Massabalans		In		Uit							
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**				**Aanwending**	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie	Dun	Mengsel	N-product	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	42,8	4,0	41,2	1,6	6,3	19,8	14,9	0,2	39,1	1,9
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,6	1,4	14,6	0,0	6,8	7,7	0,0	0,0	14,6	0,0

Scenario 4.2: **Regulier + verdunnen + strippen + vergisten** **Intensief bedrijf**

Input vergister: Mengsel jongveemest + dikke en dunne fractie melkveemest
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



Ammoniumsulfaat		g/kg
Drogestof	DS	235,7
Org. Stof	OS	0,0
Stikstof	N	50,0
Ammonium	N	50,0
Fosfaat	P2O5	0,0
Kalium	K2O	0,0
Sulfaat	SO4	171,4

Digestaat		g/kg
Drogestof	DS	59,0
Org. Stof	OS	39,5
Stikstof	N	3,0
Ammonium	N	1,2
Fosfaat	P2O5	1,7
Kalium	K2O	5,6

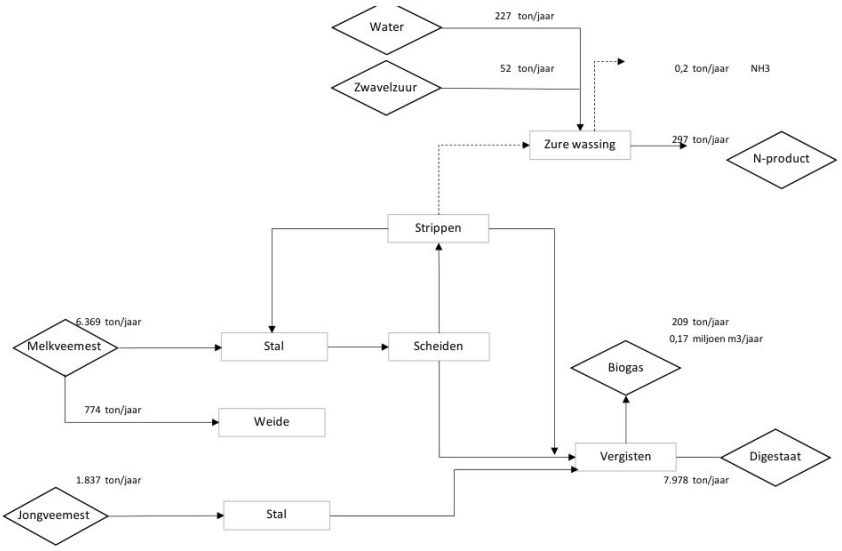
Massabalans:

Massabalans		In		Uit						
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**			**Aanwending**	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie	Digestaat	N-product	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	44,9		43,3	1,6	25,8	15,9	1,6	39,7	2,0
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,9		14,9	0,0	14,8	0,0	0,0	14,9	0,0

Scenario 4.2: **Regulier + verdunnen + strippen + vergisten** **Extensief bedrijf**

Input vergister: Mengsel jongveemest + dikke en dunne fractie melkveemest
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



Ammoniumsulfaat		g/kg
Drogestof	DS	235,7
Org. Stof	OS	0,0
Stikstof	N	50,0
Ammonium	N	50,0
Fosfaat	P2O5	0,0
Kalium	K2O	0,0
Sulfaat	SO4	171,4

Digestaat		g/kg
Drogestof	DS	52,3
Org. Stof	OS	34,0
Stikstof	N	3,1
Ammonium	N	1,4
Fosfaat	P2O5	1,8
Kalium	K2O	5,5

Massabalans:

Massabalans		In		Uit							
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**			**Aanwending**		
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie	Digestaat	N-product	Emissie	Bodem	Emissie	
Stikstof N	ton/jaar	42,8		4,0	41,2	1,6	25,0	14,9	1,3	37,7	2,2
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,6	1,4	14,6	0,0	14,6	0,0	0,0	14,6	0,0	

Scenario 5: **Dagontmesting, geen verwerking** **Intensief bedrijf**
Input vergister: Nvt
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



Drijfmest		g/kg
Drogestof	DS	83,0
Org. Stof	OS	63,0
Stikstof	N	4,7
Ammonium	N	2,8
Fosfaat	P2O5	1,7
Kalium	K2O	5,4

Massabalans:

Massabalans		In		Uit				
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**	**Aanwending**	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie		Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	44,9		42,7	2,2		39,2	3,5
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,9		14,9	0,0		14,9	0,0

Scenario 5: **Dagontmesting, geen verwerking** **Extensief bedrijf**
Input vergister: Nvt
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



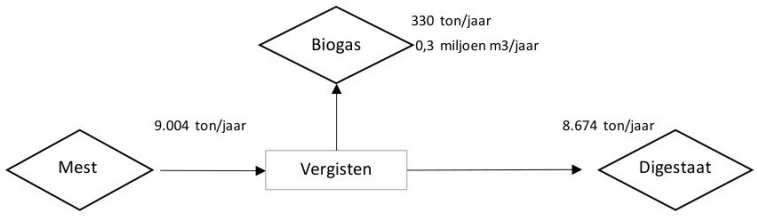
Drijfmest		g/kg
Drogestof	DS	81,3
Org. Stof	OS	61,3
Stikstof	N	5,0
Ammonium	N	2,7
Fosfaat	P2O5	1,8
Kalium	K2O	5,4

Massabalans:

Massabalans		In		Uit				
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**	**Aanwending**	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie		Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	42,8	4,0	40,7	2,2		37,2	3,4
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,6	1,4	14,6	0,0		14,6	0,0

Scenario 6: **Dagontmesting+vergisten** **Intensief bedrijf**
Input vergister: Mengel mest jongvee en melkkoeien
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



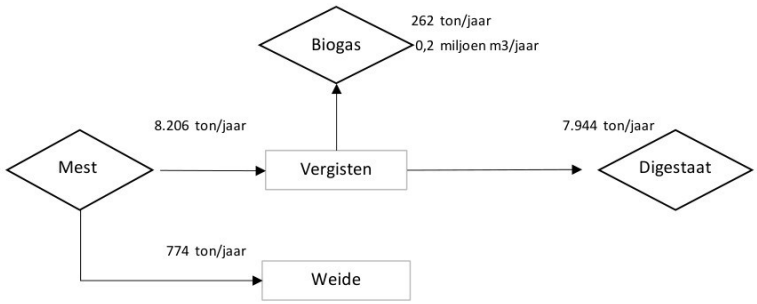
Digestaat		g/kg
Drogestof	DS	55,8
Org. Stof	OS	35,1
Stikstof	N	4,6
Ammonium	N	2,9
Fosfaat	P2O5	1,7
Kalium	K2O	5,6

Massabalans:

Massabalans		In		Uit					
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**		**Aanwending**	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie	Digestaat	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	44,9		43,0	1,9	41,1	1,9	37,4	3,7
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,9		14,9	0,0	14,9	0,0	14,9	0,0

Scenario 6: **Dagontmesting+vergisten** **Extensief bedrijf**
Input vergister: Mengel mest jongvee en melkkoeien
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



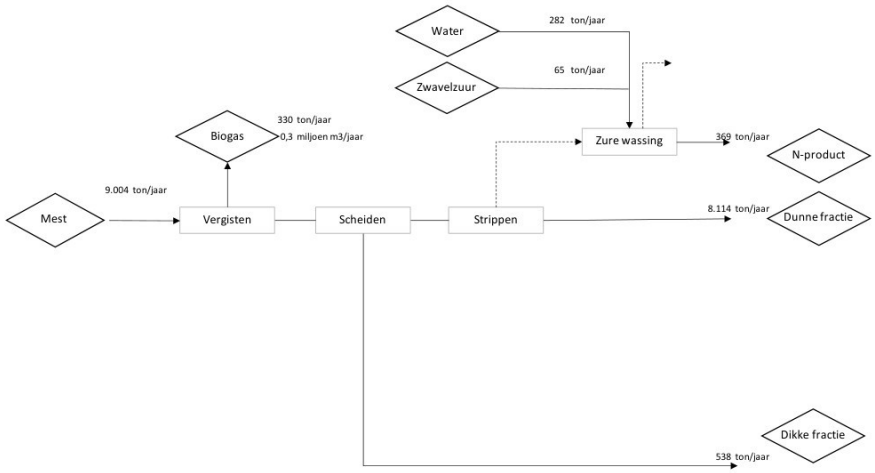
Digestaat		g/kg
Drogestof	DS	51,1
Org. Stof	OS	30,4
Stikstof	N	4,8
Ammonium	N	3,2
Fosfaat	P2O5	1,8
Kalium	K2O	5,6

Massabalans:

Massabalans		In		Uit					
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**		**Aanwending**	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie	Digestaat	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	42,8	4,0	40,7	2,2	39,4	1,3	35,7	3,7
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,6	1,4	14,6	0,0	14,6	0,0	14,6	0,0

Scenario 7: **Dagontmesting+vergisten+strippen** **Intensief bedrijf**
Input vergister: Mengel mest jongvee en melkkoeien
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



Ammoniumsulfaat		g/kg
Drogestof	DS	235,7
Org. Stof	OS	0,0
Stikstof	N	50,0
Nwerkzaam	N	50,0
Fosfaat	P2O5	0,0
Kalium	K2O	0,0
Sulfaat	SO4	171,4

Dunne fractie		g/kg
Drogestof	DS	39,0
Org. Stof	OS	25,1
Stikstof	N	1,8
Ammonium	N	0,6
Fosfaat	P2O5	1,3
Kalium	K2O	5,6

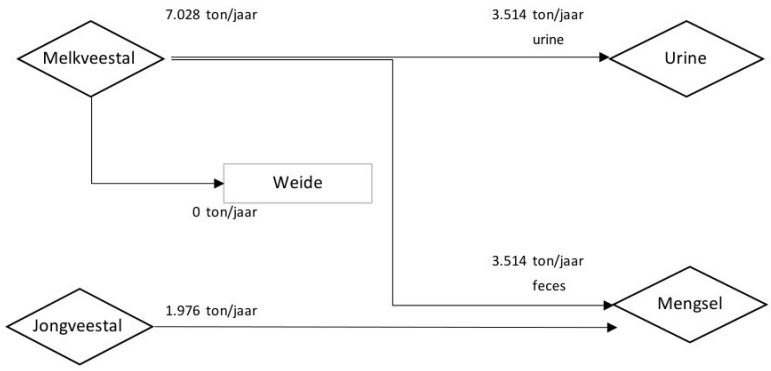
Dikke fractie		g/kg
Drogestof	DS	270,0
Org. Stof	OS	186,5
Stikstof	N	12,1
Ammonium	N	2,9
Fosfaat	P2O5	8,3
Kalium	K2O	5,6

Massabalans mestbehandeling:

Massabalans		In		Uit							
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**				**Aanwending**	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie	Dun	Dik	N-product	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	44,9		43,0	1,9	14,7	6,5	18,5	3,3	37,7	1,9
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,9		14,9	0,0	10,4	4,5	0,0	0,0	14,9	0,0

Scenario 8: **Scheiding urine/feces** **Intensief bedrijf**
Input vergister: Nvt
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



Urine		g/kg
Drogestof	DS	46,6
Org. Stof	OS	26,6
Stikstof	N	6,3
Ammonium	N	4,5
Fosfaat	P2O5	0,6
Kalium	K2O	

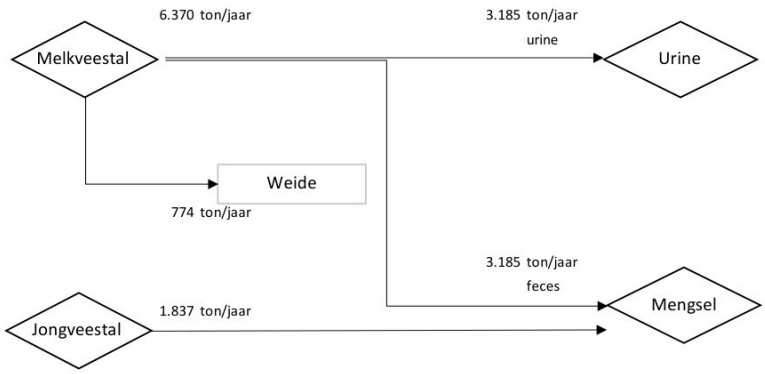
Feces + jongveemest		g/kg
Drogestof	DS	106,3
Org. Stof	OS	86,3
Stikstof	N	3,7
Ammonium	N	1,6
Fosfaat	P2O5	2,3
Kalium	K2O	

Massabalans:

Massabalans		In		Uit				
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**	**Aanwending**	
		Stal	Weide	Feces Urine + mest jongvee	Emissie		Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	44,9		42,7	2,2		39,0	3,6
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,9		14,9	0,0		14,9	0,0

Scenario 8: **Scheiding urine/feces** **Extensief bedrijf**
Input vergister: Nvt
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



Urine		g/kg
Drogestof	DS	43,8
Org. Stof	OS	23,8
Stikstof	N	6,4
Ammonium	N	4,6
Fosfaat	P2O5	0,6
Kalium	K2O	

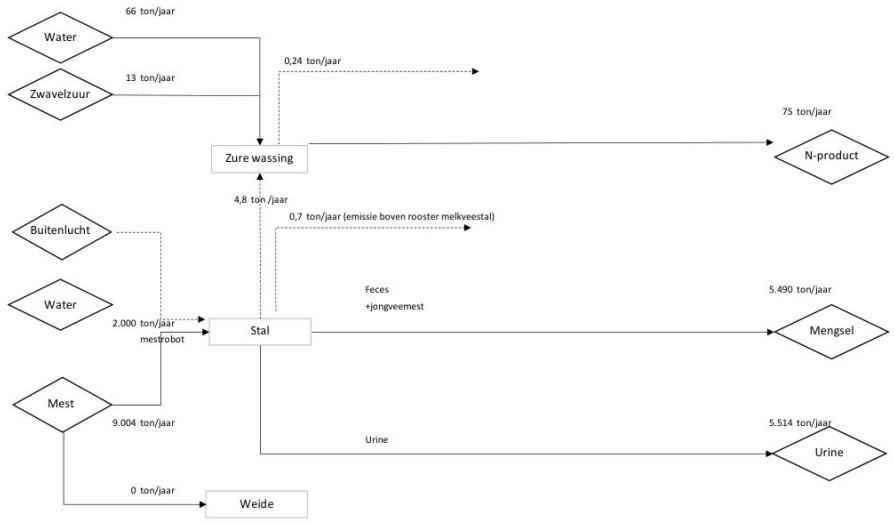
Feces + jongveemest		g/kg
Drogestof	DS	94,6
Org. Stof	OS	74,6
Stikstof	N	4,1
Ammonium	N	1,8
Fosfaat	P2O5	2,5
Kalium	K2O	

Massabalans:

Massabalans		In		Uit				
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**		**Bewerking**	**Aanwending**	
		Stal	Weide	Feces Urine + mest jongvee	Emissie		Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	42,8	4,0	40,6	2,2		36,7	4,0
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,6	1,4	14,6	0,0		14,6	0,0

Scenario 9.1: **Semi dichte vloer + onderafzuiging** **Intensief bedrijf**
Input vergister: Nvt
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



N-product		g/kg
Drogestof	DS	238,1
Org. Stof	OS	0,0
Stikstof	N	50,0
Ammonium	N	50,0
Fosfaat	P2O5	0,0
Kalium	K2O	0,0
Sulfaat	SO4	173,8

Feces + jongveemest		g/kg
Drogestof	DS	111,2
Org. Stof	OS	88,2
Stikstof	N	3,7
Ammonium	N	1,5
Fosfaat	P2O5	2,3
Kalium	K2O	2,7

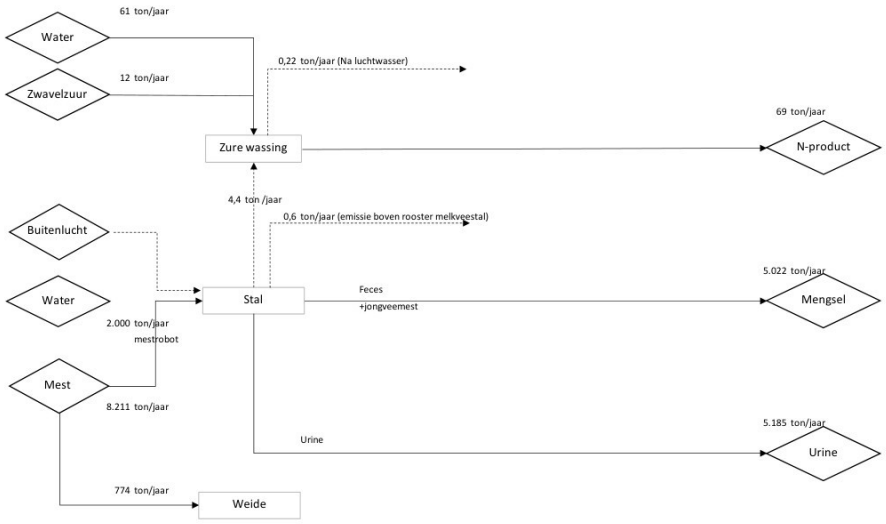
Urine		g/kg
Drogestof	DS	40,0
Org. Stof	OS	17,0
Stikstof	N	3,5
Ammonium	N	2,4
Fosfaat	P2O5	0,4
Kalium	K2O	9,1

Massabalans:

Massabalans		In		Uit					
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**			**Bewerking**	**Aanwending**	
		Stal	Weide	Feces Urine + mest jongvee	N-product	Emissie		Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	44,9		39,6	3,75	1,6		40,0	3,3
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,9		14,9	0	0,0		14,9	0,0

Scenario 9.1: **Semi dichte vloer + onderafzuiging** **Extensief bedrijf**
Input vergister: Nvt
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



N-product		g/kg
Drogestof	DS	238,1
Org. Stof	OS	0,0
Stikstof	N	50,0
Ammonium	N	50,0
Fosfaat	P2O5	0,0
Kalium	K2O	0,0
Sulfaat	SO4	173,8

Feces +jongveemest		g/kg
Drogestof	DS	99,2
Org. Stof	OS	76,2
Stikstof	N	4,0
Ammonium	N	1,7
Fosfaat	P2O5	2,5
Kalium	K2O	2,7

Urine		g/kg
Drogestof	DS	37,6
Org. Stof	OS	14,6
Stikstof	N	3,4
Ammonium	N	2,3
Fosfaat	P2O5	0,4
Kalium	K2O	9,1

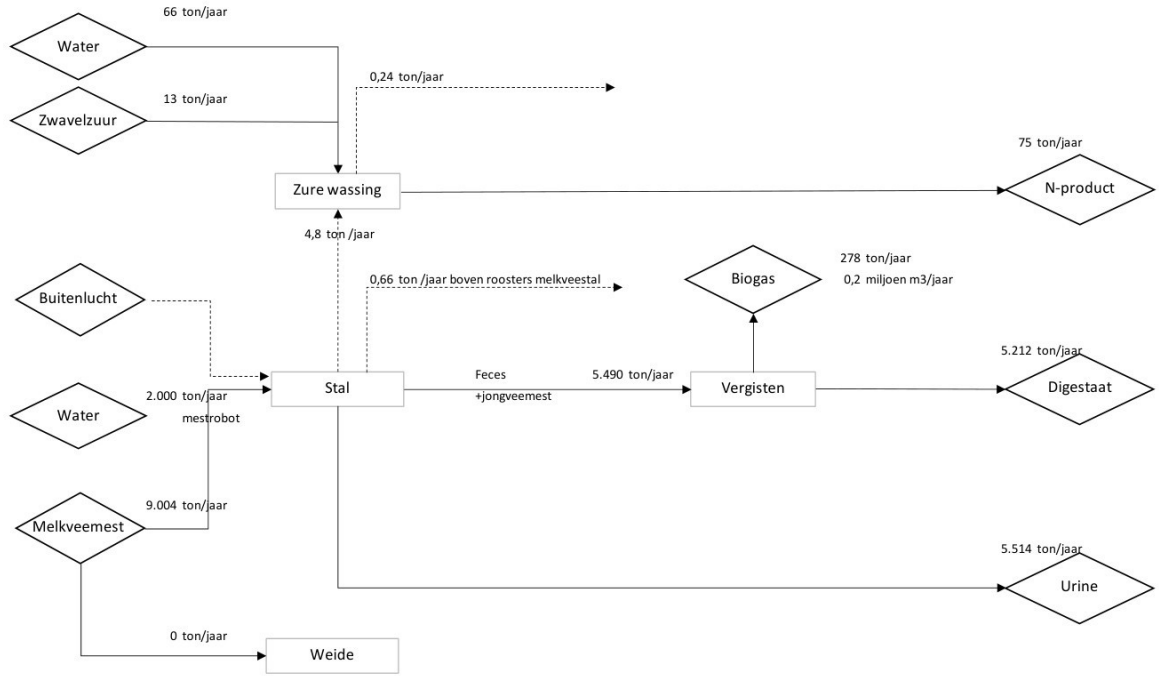
Massabalans:

Massabalans		In		Uit				
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**			**Bewerking**	**Aanwending**
		Stal	Weide	Feces Urine + mest jongvee	N-product	Emissie		Bodem Emissie
Stikstof N	ton/jaar	42,8	4,0	37,8	3,5	1,6		37,9 3,4
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,6	1,4	14,6	0,0	0,0		14,6 0,0

Scenario 9.2: **Semi dichte vloer + onderafzuiging + vergisten** **Intensief bedrijf**

Input vergister: Mengsel feces melkvee + jongveemest
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



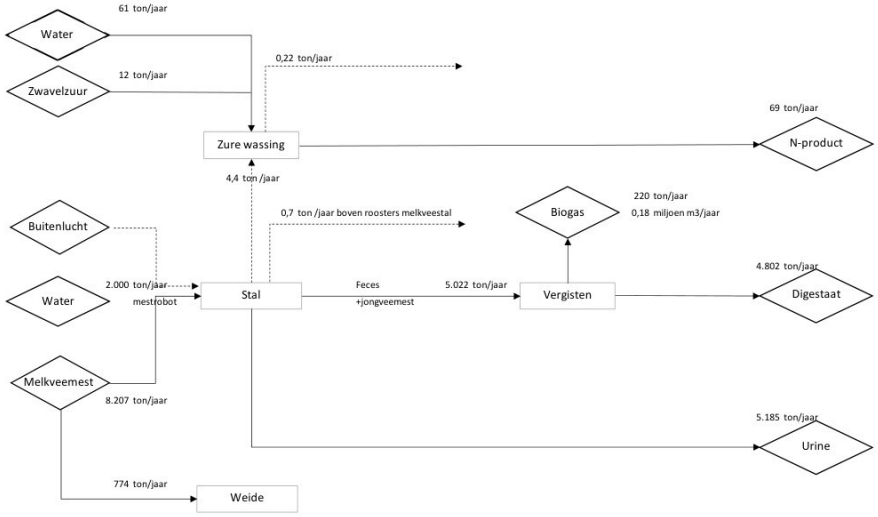
Massabalans:

Massabalans		In		Uit							
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**			**Bewerking**			**Aanwending**	
		Stal	Weide	Feces Urine + mest jongvee	N-product	Emissie	Digestaat	Urine	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	44,9		39,7	3,75	1,5	18,8	19,4	1,4	38,8	3,2
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,9		14,9	0	0,0	12,8	2,0	0,0	14,9	0,0

Scenario 9.2: **Semi dichte vloer + onderafzuiging + vergisten** **Extensief bedrijf**

Input vergister: Mengsel feces melkvee + jongveemest
Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Processchema:



N-product		g/kg
Drogestof	DS	238,1
Org. Stof	OS	0,0
Stikstof	N	50,0
Ammonium	N	50,0
Fosfaat	P2O5	0,0
Kalium	K2O	0,0
Sulfaat	SO4	173,8

Digestaat		g/kg
Drogestof	DS	66,2
Org. Stof	OS	42,2
Stikstof	N	3,8
Ammonium	N	1,8
Fosfaat	P2O5	2,6
Kalium	K2O	2,9

Urine		g/kg
Drogestof	DS	37,6
Org. Stof	OS	14,6
Stikstof	N	3,4
Ammonium	N	2,3
Fosfaat	P2O5	0,4
Kalium	K2O	9,1

Massabalans:

Massabalans		In		Uit							
Stof	**Eenheid**	**Excretie**		**Mest uit stal**			**Bewerking**			**Aanwending**	
		Stal	Weide	Feces Urine + mest jongvee	N-product	Emissie	Digestaat	Urine	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	42,8	4,0	37,9	3,5	1,5	19,0	17,7	1,2	36,8	3,4
Fosfaat P_2O_5	ton/jaar	14,6	1,4	14,6	0,0	0,0	12,6	1,9	0,0	14,6	0,0

Bijlage 6 Detaillering kostenramingen

2. Scenario Regulier + monovergisten

Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Tabel. Investeringen scenario Regulier + monovergisten.

Investeringen	**Extensief**	**Intensief**
Stalaanpassingen	€ 0	€ 0
Vergisten	€ 352.000	€ 366.000
Behandeling digestaat	€ 0	€ 0
Overige gerelateerde investeringen	€ 53.000	€ 55.000
Totaal investeringen	**€ 405.000**	**€ 421.000**

Tabel. Overzicht kosten en opbrengsten scenario Regulier + monovergisten.

Investeringen		**Extensief**	**Intensief**
Totaal investering	**k€**	**405**	**421**
Kosten			
Energie	€/Melkkoe	75,17	82,48
Hulpstoffen	€/Melkkoe	0,00	0,00
Arbeid	€/Melkkoe	36,80	36,80
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/Melkkoe	63,19	65,68
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	171,23	177,99
Totaal kosten		**346,39**	**362,95**
Opbrengsten			
Vermeden inkoop warmte + levering	€/Melkkoe	120,60	147,23
Vermeden inkoop stroom	€/Melkkoe	16,82	18,45
Levering stroom + groen certificaat	€/Melkkoe	96,22	122,98
SDE++ (fase 1)	€/Melkkoe	100,98	132,35
Vermeden inkoop kunstmest	€/Melkkoe	0,00	0,00
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	10,92	15,63
Totaal opbrengsten	**€/Melkkoe**	**345,55**	**436,64**
Opbrengsten minus kosten	**€/Melkkoe**	**-1**	**74**

3. Scenario Regulier + monovergisten + scheiden digestaat + strippen

Bedrijfsgrootte: 250 melkkoeien

Tabel. Investeringen scenario Regulier + monovergisten + scheiden digestaat + strippen.

Investeringen	**Intensief**
Stalaanpassingen	€ 0
Vergisten	€ 369.000
Behandeling digestaat	€ 172.000
Overige	€ 81.000
Totaal investeringen	**€ 622.000**

Tabel. Overzicht kosten en opbrengsten scenario Regulier + monovergisten + scheiden digestaat+ strippen.

Investeringen		**Intensief**
Totaal investering	**k€**	**622**
Kosten		
Energie	€/Melkkoe	239,57
Hulpstoffen	€/Melkkoe	37,76
Arbeid	€/Melkkoe	36,80
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/Melkkoe	96,96
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	262,97
Totaal kosten		**674,06**
Opbrengsten		
Vermeden inkoop warmte + levering	€/Melkkoe	242,75
Vermeden inkoop stroom	€/Melkkoe	32,30
Levering stroom + groen certificaat	€/Melkkoe	114,33
SDE++ (fase 1)	€/Melkkoe	128,32
Vermeden inkoop kunstmest	€/Melkkoe	27,22
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	54,91
Totaal opbrengsten	**€/Melkkoe**	**599,81**
Opbrengsten minus kosten	**€/Melkkoe**	**-74**

4.1 Scenario Regulier + verdunnen + strippen

Tabel. Investeringen scenario Regulier + verdunnen + strippen.

Investeringen	Extensief	Intensief
Stalaanpassingen	€ 60.000	€ 60.000
Scheiden en strippen	€ 211.500	€ 211.500
Overige	€ 31.725	€ 31.725
Totaal investeringen	**€ 303.225**	**€ 303.225**

Tabel. Overzicht kosten en opbrengsten scenario Regulier + verdunnen + strippen.

Investeringen		Extensief	Intensief
Totaal investering	**k€**	**303**	**303**
Kosten			
Energie	€/Melkkoe	39,10	42,91
Hulpstoffen	€/Melkkoe	96,15	104,86
Arbeid	€/Melkkoe	12,00	12,00
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/Melkkoe	47,30	47,30
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	128,20	128,20
Totaal kosten		**322,75**	**335,27**
Opbrengsten			
Vermeden inkoop warmte	€/Melkkoe	0,00	0,00
Levering warmte	€/Melkkoe	0,00	0,00
Vermeden inkoop stroom	€/Melkkoe	0,00	0,00
Levering stroom + groen certificaat	€/Melkkoe	0,00	0,00
SDE++ (fase 1)	€/Melkkoe	0,00	0,00
Vermeden inkoop kunstmest	€/Melkkoe	11,07	16,16
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	7,48	35,61
Totaal opbrengsten	**€/Melkkoe**	**18,54**	**51,77**
Opbrengsten minus kosten	**€/Melkkoe**	**-304**	**-284**

4.1 Scenario Regulier + verdunnen + strippen + monovergisten

Tabel. Investeringen scenario Regulier + verdunnen + strippen + monovergisten.

Investeringen	Extensief	Intensief
Stalaanpassingen	€ 60.000	€ 60.000
Vergisten	€ 211.500	€ 211.500
Behandeling digestaat	€ 354.772	€ 369.269
Overige gerelateerde investeringen	€ 84.941	€ 87.115
Totaal investeringen	**€ 711.213**	**€ 727.884**

Tabel. Overzicht kosten en opbrengsten scenario Regulier + verdunnen + strippen.

Investeringen		Extensief	Intensief
Totaal investering	**k€**	**711**	**728**
Kosten			
Energie	€/Melkkoe	97,45	106,93
Hulpstoffen	€/Melkkoe	96,15	104,87
Arbeid	€/Melkkoe	36,80	36,80
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/Melkkoe	110,95	113,55
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	300,69	307,74
Totaal kosten		**642,05**	**669,89**
Opbrengsten			
Vermeden inkoop warmte + levering	€/Melkkoe	58,35	64,02
Levering warmte	€/Melkkoe	62,17	83,95
Vermeden inkoop stroom	€/Melkkoe	39,10	42,91
Levering stroom + groen certificaat	€/Melkkoe	82,20	108,57
SDE++ (fase 1)	€/Melkkoe	94,37	126,30
Vermeden inkoop kunstmest	€/Melkkoe	5,70	31,00
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	11,25	16,15
Totaal opbrengsten	**€/Melkkoe**	**353,14**	**472,91**
Opbrengsten minus kosten	**€/Melkkoe**	**-289**	**-197**

5 Scenario Dagontmesting, geen verwerking

De meer-investering voor een stalsysteem met dagontmest met RAV-code A1.21 ten opzichte van een stalsysteem zonder het geïmplementeerde emissiearme systeem bedraagt 135 euro per dierplaats. De jaarkosten van het stalsysteem bedragen 13 euro per dierplaats. (KWIN-veehouderij 2020-2021).

6. Scenario Dagontmesting + monovergisting

Tabel. Investeringen scenario Dagontmesting + monovergisten.

Investeringen	**Extensief**	**Intensief**
Stalaanpassingen	€ 25.000	€ 25.000
Vergisten	€ 365.000	€ 380.000
Behandeling digestaat	€ 0	€ 0
Overige gerelateerde investeringen	€ 55.000	€ 57.000
Totaal investeringen	**€ 445.000**	**€ 462.000**

Tabel. Overzicht kosten en opbrengsten scenario Dagontmesting + monovergisten.

Investeringen		**Extensief**	**Intensief**
Totaal investering	**k€**	**445**	**462**
Kosten			
Energie	€/Melkkoe	75,17	82,48
Hulpstoffen	€/Melkkoe	0,00	0,00
Arbeid	€/Melkkoe	36,80	36,80
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/Melkkoe	67,88	70,71
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	184,50	192,16
Totaal kosten		**364,35**	**382,15**
Opbrengsten			
Vermeden inkoop warmte + levering	€/Melkkoe	143,40	175,85
Vermeden inkoop stroom	€/Melkkoe	16,82	18,45
Levering stroom + groen certificaat	€/Melkkoe	122,84	156,38
SDE++ (fase 1)	€/Melkkoe	133,95	173,72
Vermeden inkoop kunstmest	€/Melkkoe	0,00	0,00
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	10,72	13,94
Totaal opbrengsten	**€/Melkkoe**	**427,74**	**538,34**
Opbrengsten minus kosten	**€/Melkkoe**	**63**	**156**

7 Scenario Dagontmesting + monovergisting + strippen

Tabel. Investeringen scenario Dagontmesting + monovergisten + strippen.

Investeringen	Intensief
Stalaanpassingen	€ 25.000
Vergisten	€ 380.000
Behandeling digestaat	€ 172.000
Overige gerelateerde investeringen	€ 83.000
Totaal investeringen	**€ 660.000**

Tabel. Overzicht kosten en opbrengsten scenario Dagontmesting + monovergisten + strippen.

Investeringen		Intensief
Totaal investering	**k€**	**660**
Kosten		
Energie	€/Melkkoe	237,71
Hulpstoffen	€/Melkkoe	38,78
Arbeid	€/Melkkoe	36,80
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/Melkkoe	105,36
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	286,09
Totaal kosten		**704,76**
Opbrengsten		
Vermeden inkoop warmte + levering	€/Melkkoe	246,55
Vermeden inkoop stroom	€/Melkkoe	32,30
Levering stroom + groen certificaat	€/Melkkoe	147,74
SDE++ (fase 1)	€/Melkkoe	169,69
Vermeden inkoop kunstmest	€/Melkkoe	29,60
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	57,10
Totaal opbrengsten	**€/Melkkoe**	**682,97**
Opbrengsten minus kosten	**€/Melkkoe**	**-22**

8 Scheiding urine/feces

De meer-investering voor een stalsysteem met scheiding van urine en feces met RAV-code A1.18 ten opzichte van een stalsysteem zonder het geïmplementeerde emissiearme systeem bedraagt 158 euro per dierplaats. De jaarkosten van het stalsysteem bedragen 15 euro per dierplaats. (KWIN-veehouderij 2020-2021).

9.1 Scenario Semi dichte vloer + onder afzuiging +strippen

Tabel. Investeringen scenario Semi dichte vloer + onder afzuiging + strippen.

Investeringen	Extensief	Intensief
Stalaanpassingen	€ 300.000	€ 300.000
Totaal investeringen	**€ 300.000**	**€ 300.000**

Tabel. Overzicht kosten en opbrengsten scenario Semi dichte vloer + onder afzuiging + strippen.

Investeringen		Extensief	Intensief
Totaal investering	**k€**	**300**	**300**
Kosten			
Energie	€/Melkkoe	17,83	17,83
Hulpstoffen	€/Melkkoe	7,20	7,88
Arbeid	€/Melkkoe	12,00	12,00
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/Melkkoe	56,15	56,16
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	126,82	126,84
Totaal kosten		**220,00**	**220,70**
Opbrengsten			
Vermeden inkoop warmte + levering	€/Melkkoe	0,00	0,00
Vermeden inkoop stroom	€/Melkkoe	0,00	0,00
Levering stroom + groen certificaat	€/Melkkoe	0,00	0,00
SDE++ (fase 1)	€/Melkkoe	0,00	0,00
Vermeden inkoop kunstmest	€/Melkkoe	12,76	14,25
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	-28,87	-46,36
Totaal opbrengsten	**€/Melkkoe**	**-16,11**	**-32,11**
Opbrengsten minus kosten	**€/Melkkoe**	**-236**	**-253**

9.2 Scenario Semi dichte vloer + onder afzuiging +strippen + monovergisting

Tabel. Investeringen scenario Semi dichte vloer + onder afzuiging + strippen + monovergisting.

Investeringen	Extensief	Intensief
Stalaanpassingen	€ 300.000	€ 300.000
Vergisten	€ 410.000	€ 427.000
Totaal investeringen	**€ 710.000**	**€ 727.000**

Tabel. Overzicht kosten en opbrengsten scenario Semi dichte vloer + onder afzuiging + strippen + monovergisting.

Investeringen		Extensief	Intensief
Totaal investering	**k€**	**710**	**727**
Kosten			
Energie	€/Melkkoe	93,00	100,31
Hulpstoffen	€/Melkkoe	7,20	7,88
Arbeid	€/Melkkoe	36,80	36,80
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/Melkkoe	120,16	122,79
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	300,14	307,37
Totaal kosten		**557,29**	**575,14**
Opbrengsten			
Vermeden inkoop warmte + levering	€/Melkkoe	125,01	153,10
Vermeden inkoop stroom	€/Melkkoe	34,65	36,29
Levering stroom + groen certificaat	€/Melkkoe	90,23	118,69
SDE++ (fase 1)	€/Melkkoe	102,16	135,64
Vermeden inkoop kunstmest	€/Melkkoe	5,09	9,72
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	-24,91	-43,68
Totaal opbrengsten	**€/Melkkoe**	**332,23**	**409,76**
Opbrengsten minus kosten	**€/Melkkoe**	**-225**	**-165**

Bijlage 7 Uitgangspunten kostenramingen

Onderdeel	Toelichting	Waarde	Eenheid	Referentie / opmerking
Investeringen	Biogasinstallatie	254.000	€	BioElectric (14 kton/jaar)
	WKK 40 KWe	60.000	€	Biogas-E
	Vijzelpers	31.500	€	Fabiton
	Stripper + luchtwasser	140.000	€	Askove, 0,5-1,5 l/h
	Mestopslag buiten stal	60	€/m3	KWIN veehouderij
	Gasdicht maken digestaatopslag	190	€/m2	Info Jumpstart
	Meerinvestering dagontmesting	13.500	€/ 100 melkkoeien	KWIN Veehouderij
	Meerinvestering stal scheiding feces/urine	15.800	€/ 100 melkkoeien	KWIN veehouderij
	Stalsysteem semi-dichte vloer + onder afzuiging	1.200	€ / melkkoe	Lely
	Stalsysteem verdunnen + strippen: Mestrobot Scheiden (vijzelpers + trommelzeef) Stripper + luchtwasser	 20.000 61.500 150.000	 €/ 120 melkkoeien €/ max 350 melkkoeien €/ max 350 melkkoeien	JOZ
	Bijkomende investeringskosten	15	%	Deelnemer Jumpstart
Financiering	Afschrijving	12	jaar	Looptijd SDE
	Rente tarief	3%		
Installatie gerelateerde kosten	Onderhoud	2,9%	van investering	
	Verzekeringen, kosten nutsvoorzieningen, div.	1%	van investering	
Energie	Tarief elektriciteit (20 tot 500 MWh)	128	€/MWh	CBS 2020
	Verbruik elektriciteit vergister	4	kWh/ton	Deelnemer Jumpstart
	Verbruik elektriciteit vijzelpers	1	kWh/ton	Deelnemer Jumpstart
	Verbruik elektriciteit stripper+luchtwasser	2	kWh/ton	Deelnemer Jumpstart
	Verbruik elektriciteit stripper+luchtwasser	3,3	kWh/ton	JOZ
	Verbruik elektriciteit vijzelpers+trommelzeef	2	kWh/ton	JOZ
	Verbruik elektriciteit onder afzuiging + luchtwasser	10.000	kWh/unit	Lely
	Verbruik mestrobot	1.600	kWh/unit	Lely
	Tarief aardgas (20 tot 200 GJ)	23	€/GJ	CBS 2020
	Waarde verkoop warmte	50	% van aardgasprijs	Aanname
	Verbruik warmte vergister	18% 21	van biogasproductie kWh/ton	Eindadvies SDE++
	Verbruik warmte stripper	48	kWh/ton	Berekende waarde
SDE	Subsidiebedrag monovergisting	0,037	Euro/kWh	RVO, gecombineerde opwekking
Hulpstoffen	Zwavelzuur (96%)	0,16	€/kg	Opgave JOZ

	Zwavelzuurverbruik	3,5	kg H_2SO_4/ kg NH_3-N	Berekende waarde
	Natronloog (50%)	0,35	€/kg	Opgave JOZ
	Natronloog verbruik	1,5	kg/ m3 dunne fractie	Opgave JOZ
Arbeid	Beheer installatie	3.000	€/jaar	Schatting
	Administratieve werkzaamheden	1.200	€/jaar	Schatting
	Inhuur expertise (alleen bij verwerking mest)	5.000	€/jaar	Schatting
Mest	Tarief aanwenden mest	4,5	€/ton	KWIN Veehouderij
	Tarief mestafzet rundveemest	10	€/ton	Agrimatie
	Besparing inkoop kunstmest	0,96	€/kg N	Van Dijk et al.

Bijlage 8 Toetsing uitgangspunten modellering methaanproductie

Uitgangspunten modellering methaanemissie.

Tabel 1. *Gehanteerde uitgangspunten in het emissiemodel voor de maximale methaanproductie uit mest (CH_4,max) en de hydrolyseconstanten (Kh) voor de vorming van methaan in stal en opslag, tijdens vergisting en tijdens opslag van digestaat.*

Input emissiemodel	Eenheid	Waarde
CH_4, max	m^3/kg OS	0,2942
Kh (stal en opslag)	d^{-1}	0,0060
Kh (vergisting)	d^{-1}	0,1500
Kh (opslag digestaat)	d^{-1}	0,0006

Berekende methaanemissie

Tabel 2. *Berekende methaanemissie in stal en opslag en tijdens vergisting bij toenemende verblijftijd van de mest in stal en opslag.*

Gemiddelde ouderdom mest	Dagen	0	10	30	60	90	180	Toetsing
Stal en opslag								
CH_4, max	m^3/kgOS	0,29*	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	1)
CH_4 gevormd	m^3/kgOS	0,00	0,02	0,04	0,08	0,10	0,15	
% tov CH_4, max	%	0%	6%	15%	26%	35%	52%	2)
Vergisting	50 dagen							
CH_4 rest potentieel	m^3/kgOS	0,29	0,28	0,25	0,22	0,19	0,14	
CH_4 gevormd	m^3/kgOS	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,12	3)
% tov rest.potentieel	%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	
Org. stof								
OS onder staart	kg/ton	76,5	76,5	76,5	76,5	76,5	76,5	
OS input vergister	kg/ton	76,5	74,6	71,3	67,5	64,6	59,0	
OS digestaat	kg/ton	36,8	38,0	39,9	41,8	42,8	44,2	
Biogas								
CH_4	m3/ton	19,9	18,3	15,7	12,9	10,9	7,4	
biogas	m3/ton	33,1	30,4	26,2	21,5	18,2	12,3	4)

*) Iteratief bepaalde waarde waarbij de resterende biogasopbrengsten tijdens het vergistingsproces afhankelijk van de ouderdom van de mest overeenkomen met de praktijk.

Toetsing aan praktijk

Tabel 3. *Toetsing van de resultaten van de methaanproductie volgens het emissiemodel aan praktijkreferenties.*

Toetsing	Onderwerp	Toelichting	Bron
1	Waarde maximale methaanproductie	De itteratief bepaalde waarde van 0,29 m3 methaan per kg organische stof ligt binnen de bandbreedte die werd gevonden voor in het onderzoek van Timmermans et al. (2009) voor varkensmest . (0,213 - 0,596 m3CH4/ kg OS). De itteratief bepaalde waarde ligt enigszins hoger dan geschatte waarde van het Biochemisch Methaan Potentieel (BMP) Groenenstein et al. (2016) van 0,22 m3/kg OS, maar ligt wel binnen de bandbreedte van 0,13-0,32 m3/kg OS voor rundveemest in stallen binnen de EU.	Timmermans et al. (2009) Groenestein et al. (2016)
2	Waarde percentage omzetting in stal	Groenestein et al. (2016) heeft op basis van diverse onderzoeken de methaan conversiefactor MCF voor rundveemest voor de Nederlandse situatie ingeschat op 17%, met een bandbreedte van 3-37%. Onbekend is wat de spreiding van de gemiddelde ouderdom van de mest hierbij is. Op basis van de modelberekeningen is bij een gemiddelde ouderdom van de mest van 90 dagen circa 35% van de maximale methaanproductie in de stal vrijgekomen.	Groenestein et al. (2016
3	Te verwachten biogasopbrengst bij vergisting rundveemest	Diverse bronnen vermelden de te verwachten methaanopbrengst bij vergisting van rundveemest. De bandbreedte van 0,168-0,246 m3 methaan / kg OS op basis van de referenties komt overeen met de volgens het model berekende bandbreedte van mest met een ouderdom van 10-90 dagen.	Leibniz-Institut für Agrartichnik Potsdam Vergärung von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen, Umweltbundsamt, Wien, 2012 Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur – Standort München
4	Maximale biogasopbrengst bij dagontmesting	Bij 0 dagen ouderdom van de mest berekent het model voor de aangehouden verblijftijd van de mest in de vergister een methaanopbrengst van 0,26 m3/kg OS, ofwel 88% van het maximale methaanpotentieel. Bij een OS gehalte van 76,5 kg/ton komt dit neer op een biogasproductie van circa 33 m3/ton mest. Dit komt goed overeen met de opgave van Jumpstart voor vergisting van dagverse mest. (31 m3 biogas / ton).	Wientjes (2021) – deelnemer Jumpstart Van Poppel (2021) – deelnemer Jumpstart

Conclusie
De gehanteerde uitgangspunten voor de berekening van de methaanproductie geven een redelijk goede voorspelling van de te verwachten biogasopbrengst bij vergisting van rundveemest afhankelijk van de ouderdom van de mest.

De berekende emissie uit stal en opslag op basis van de gehanteerde uitgangspunten (35% van het maximum potentieel) ligt hoger dan de geschatte waarde van 17% van het maximum potentieel van Groenestein et al. (2016). De maximale waarde van de biogasproductie (BMP) en het aandeel dat in de stal kan vrijkomen (MCF) liggen wel binnen de bandbreedtes die Groenestein et al. (2016) aangeeft.

Bijlage 9 Voorbeeldberekening vermeden kosten mestafzet en aankoop kunstmest

Tabel. Voorbeeld berekening vermeden kosten mestafzet en aankoop kunstmest van een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien met toepassing van monovergisting en strippen van het digestaat ten opzichte van een regulier intensief bedrijf met aanwending en afzet van drijfmest.

Scenario	**Regulier**				
Beschikbaar	**Tonnage**	**Gehalte**		**Vracht**	
		N	**P2O5**	**N**	**P2O5**
	ton/jaar	**kg/ton**	**kg/ton**	**kg/jaar**	**kg/jaar**
Drijfmest	9.004	4,6	1,7	41.662	14.877
Totaal beschikbaar				**41.662**	**14.877**
Gebruiksruimte	**Oppervlakte**	**N**	**P2O5**	**N**	**P2O5**
	ha	**kg/ha**	**kg/ha**	**kg/jaar**	**kg/jaar**
Grasland	80	250	95	20.000	7.600
Bouwland	20	170	70	3.400	1.400
Totaal gebruiksruimte				**23.400**	**9.000**
Invulling ruimte dierlijke mest	Limiterend	Stikstof		**N**	**P2O5**
	ton/jaar			**kg/jaar**	**kg/jaar**
Aanwenden	**5.057**			**23.400**	**8.356**
Afvoeren	3.947			18.262	6.521

Scenario	Regulier + monovergisting+verwerken				
Beschikbaar	**Tonnage**	**Gehalte**		**Vracht**	
		N	**P2O5**	**N**	**P2O5**
	ton/jaar	**kg/ton**	**kg/ton**	**kg/jaar**	**kg/jaar**
Weidemest	0	5,1	1,8	0	0
Dunne fractie	8.137	1,8	1,3	14.557	10.414
Dikke fractie	580	11,3	7,7	6.548	4.463
Ammoniumsulfaat	360	50	0	17.982	
Totaal beschikbaar				**39.086**	**14.877**

Gebruiksruimte	**Oppervlakte**	**N**	**P2O5**	**N**	**P2O5**
	ha	**kg/ha**	**kg/ha**	**kg/jaar**	**kg/jaar**
Grasland	80	250	95	20.000	7.600
Bouwland	20	170	70	3.400	1.400
Totaal gebruiksruimte				**23.400**	**9.000**

Invulling ruimte dierlijke mest				**N**	**P2O5**
	ton/jaar			**kg/jaar**	**kg/jaar**
Weidemest	0			0	0
Dunne fractie	7.033			12.580	9.000
Dikke fractie	0			0	0
Ammoniumsulfaat	216			10.820	0
Totaal aanwenden				**23.400**	**9.000**
Afvoeren					
Dunne mest	1.105			1.976	1.414
Dikke mestfractie	580			6.548	4.463

Vervanging kunstmest	**Tonnage**		**N**	**P2O5**
	ton/jaar		**kg/jaar**	**kg/jaar**
Aanwenden ammoniumsulfaat	143		7.162	0
Vermeden kunstmest inkoop		**0,95 €/kgN**	**6.804 €/jaar**	

Mestafzetkosten		**Tonnage**	**Tarief**	**Jaarkosten**
		ton/jaar	**€/ton**	**€/jaar**
Regulier	Afvoeren	3.947	10	39.468
Regulier	Aanwenden	5.057	4,5	22.757
Totaal regulier				**62.226**
Regulier + monovergisten				
Dunne fractie	Afvoeren	1.105	10	11.048
Dikke fractie	Afvoeren	580	10	5.804
Dunne fractie	Aanwenden	7.033	4,5	31.647
Dikke fractie	Aanwenden	0	4,5	0
Totaal Regulier + monovergisting				**48.499**
Minderkosten mestafzet tov regulier				**13.727**

To explore the potential of nature to improve the quality of life



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.