



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

Luuk Gollenbeek¹, Jos van Gastel², Flavia Casu¹, Iris Huisman¹, Nico Verdoes¹

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, december 2022

Openbaar

Rapport 1372

Gollenbeek L.R., J.P.B.F. van Gastel, F.A.M. Casu, I. Huisman, N. Verdoes, 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 van <http://dx.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	5
Samenvatting	7
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
5.2 Regulier + monovergisten (scenario 2)	27
5.3 Regulier + monovergisten + strippen (scenario 3)	28
5.4 Regulier + verdunnen + strippen (scenario 4.1)	30
5.5 Regulier + verdunnen + strippen+ monovergisten (scenario 4.2)	32
5.6 Dagontmesting (scenario 5)	33
5.7 Dagontmesting + monovergisten (scenario 6)	34
5.8 Dagontmesting + monovergisten + strippen (scenario 7)	36
5.9 Scheiden urine + feces (scenario 8)	37
5.10 Semi-dichte vloer + onder afzuiging (scenario 9.1)	38
5.11 Semi-dichte vloer + onder afzuiging + monovergisten (scenario 9.2)	40
5.12 Overzicht resultaten scenario's	42
5.13 Methaanemissie door enterische fermentatie	47
6 Resultaten massabalansen, economie en emissies extensieve bedrijven	49
6.1 Regulier (referentie scenario 1)	49
6.2 Regulier + monovergisten (scenario 2)	50
6.3 Regulier + verdunnen + strippen (scenario 4.1)	51
6.4 Regulier + verdunnen + strippen + monovergisten (scenario 4.2)	53
6.5 Dagontmesting (scenario 5)	55
6.6 Dagontmesting + monovergisten (scenario 6)	55
6.7 Scheiden urine + feces (scenario 8)	57
6.8 Semi-dichte vloer + onder afzuiging (scenario 9.1)	58
6.9 Semi-dichte vloer + onder afzuiging + monovergisten (scenario 9.2)	59
6.10 Overzicht resultaten scenario's	61

6.11	Methaanemissie door enterische fermentatie	66
7	Discussie	68
7.1	Biogasopbrengst in relatie tot ouderdom mest	68
7.2	Haalbaarheid monovergisten in relatie tot schaalgrootte	69
7.3	Groengas en samenwerking bij monovergisting	70
7.4	Effect energieprijzen	70
7.5	Nauwkeurigheid ramingen en emissiemodel	72
7.6	Uitgangspunten bedrijfssystemen	73
7.7	Emissiefactoren uit Regeling ammoniak en veehouderij	73
7.8	Melkveesector	73
8	Conclusies	75
	Literatuur	76

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 (stikstof, broeikasgassen, gasproductie, kringlooptandbouw) 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 kringlooptandbouw, 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.

Voorliggend rapport is de herziene versie van het rapport dat in mei van hetzelfde jaar is uitgekomen. De belangrijkste wijziging was het rechtzetten van een fout die ontstond door onduidelijkheid in de berekende NH₃ emissie en de gebruikte emissiefactor. Hierdoor is een uitkomst in kg N geïnterpreteerd als zijnde kg NH₃ waardoor in het emissiemodel met een factor 14/17 is vermenigvuldigd terwijl dit niet nodig was. In dit herziene rapport liggen vanwege deze reden de berekende emissies in kg NH₃ hoger dan in de eerste versie. Dit verandert niets aan de conclusies. Wel is de discussie hierop aangepast. Een andere belangrijke wijziging was het voegen van de droogstaande koeien in de stal met de melkgevende koeien, in de vorige versie werd de mest van droogstaande koeien toegerekend aan de jongveestal waardoor de modelberekeningen minder transparant waren. Daarnaast zijn een aantal wijzigingen doorgevoerd die leiden tot beperkte wijzigingen in de resultaten.

Namens het onderzoeksteam,

Nico Verdoes, 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 geded 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 mestvervaardingsketen?
2. Wat betekent het gebruik van gescheiden urine en feces fracties voor het verwaarden van de mest?
3. Welke potentiële mestvervaardingstechnieken zijn beschikbaar voor de melkveehouderijbedrijven op het bedrijf?
4. Wat zijn de verwachte effecten op emissies van ammoniak en broeikasgassen voor alle gedefinieerde mestvervaardingsroutes.

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 (pinken + kalveren)	145	145
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)	5,0	5,2
Gehalte P ₂ O ₅ in mest (g/kg)	1,7	1,8
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. Let op de RAV emissiefactoren zijn gebruikt om de reductiepercentages ammoniak te berekenen. De RAV emissiefactoren zijn niet in de modellering gebruikt.*

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 ¹⁾	62%
4.2 Regulier + verdunnen + monovergisting + strippen**	Ja	36	4,9 ¹⁾	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**	nee	n.v.t	3,6 ²⁾	72%
9.2 Semi dichte vloer + onder afzuiging + monovergisten**	Ja	1	3,6 ²⁾	72%

*Dit is de ammoniak emissie reductie ten opzichte van scenario 1.

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

¹⁾ Dit betreft een eerste inschatting van de emissiefactor

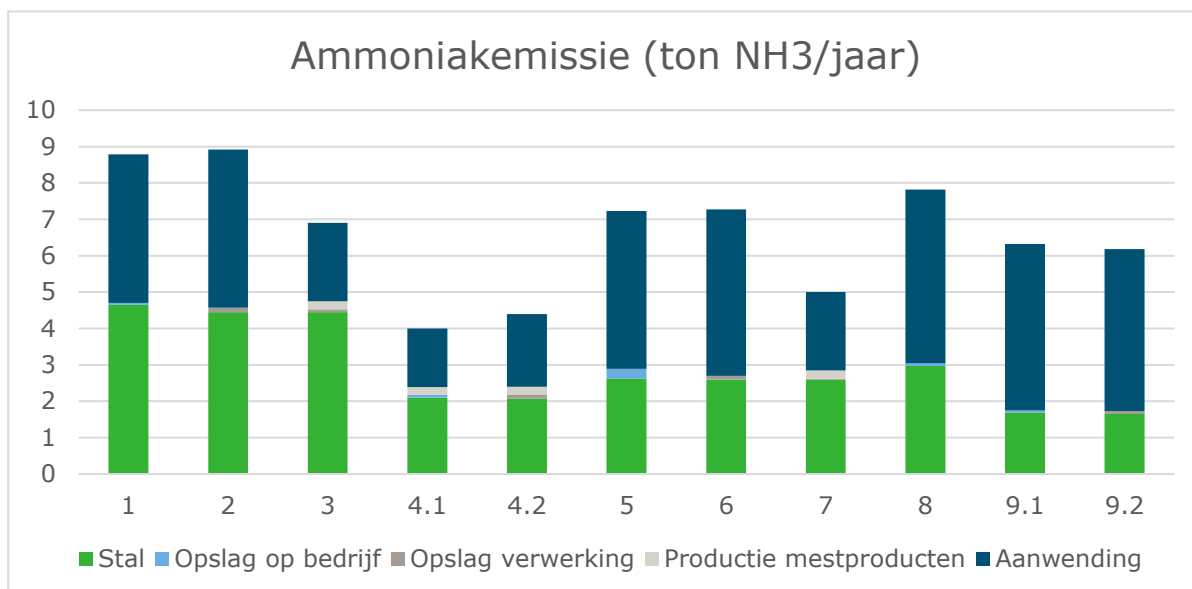
²⁾ Dit betreft een voorlopige emissiefactor die opgenomen is in de Infomil-lijst

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.

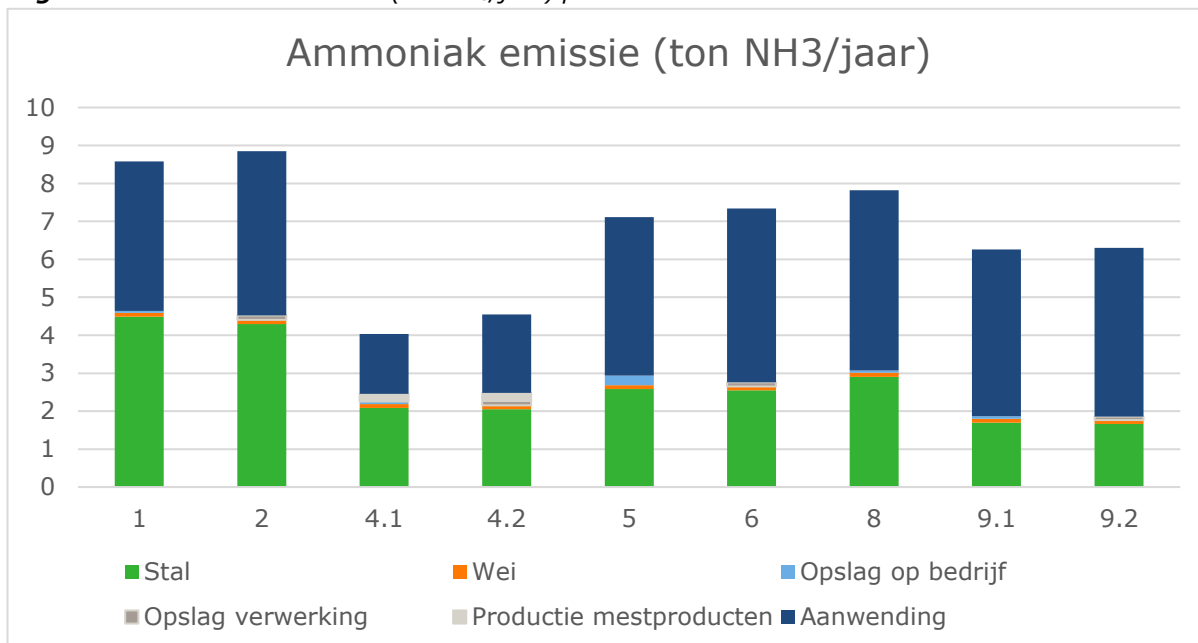
Op basis van de uitgevoerde modelstudie wordt geconcludeerd dat:

- 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.

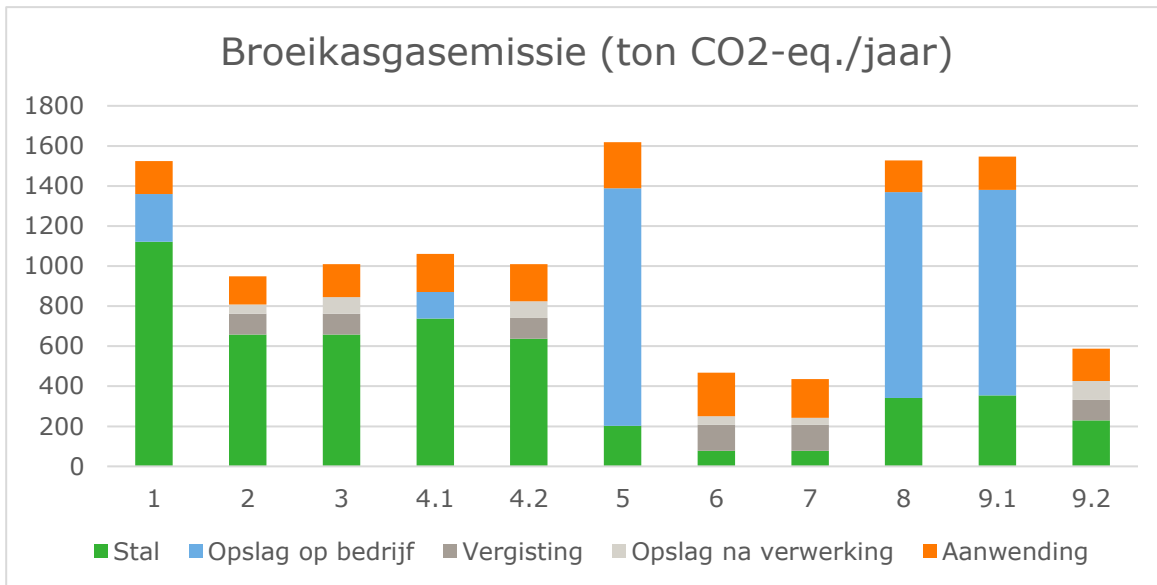
- Toepassing van vergisting biedt perspectief ten aanzien van de verlaging van methaanemissies in de keten en daarmee ook verlaging van de CO₂ equivalenten. Dit perspectief is het grootst bij huisvestingsystemen met dagontmesting. Dagontmesting leidt ook tot hoogste biogasopbrengsten bij het vergistingsproces. (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)
- Bij de 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).



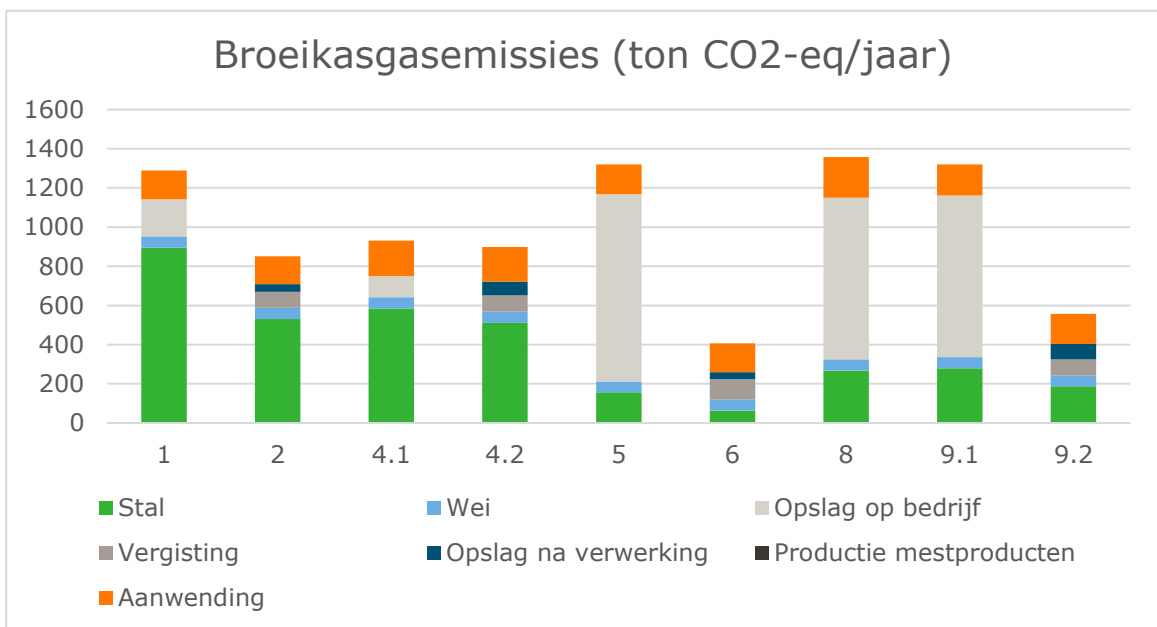
Figuur S.1 Ammoniakemissies (ton NH₃/jaar) per scenario intensief



Figuur S.2 Ammoniakemissies (ton NH₃/jaar) per scenario extensief.



Figuur S.3 Broeikasgasemissies (ton CO₂-eq./jaar) per scenario intensief



Figuur S.4 Broeikasgasemissies (ton CO₂-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	71	-2
3	Regulier + monovergisting + strippen	Investering	k€	622	X
		Opbrengsten	€/melkkoe	-77	x
4.1	Regulier + verdunnen + strippen	Investering	k€	303	303
		Opbrengsten	€/melkkoe	-290	-315
4.2	Regulier + verdunnen + strippen + monovergisten	Investering	k€	728	712
		Opbrengsten	€/melkkoe	-207	-295
5	Dagontmesting	Investering	k€	34	34
		Opbrengsten	€/melkkoe	-13	-13
6	Dagontmesting + monovergisting	Investering	k€	463	445
		Opbrengsten	€/melkkoe	152	57
7	Dagontmesting + monovergisting + strippen	Investering	k€	661	x
		Opbrengsten	€/melkkoe	-21	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	-262	-225
9.2	Semi-dichte vloer + onderafzuiging monovergisting	Investering	k€	724	707
		Opbrengsten	€/melkkoe	-174	-229

- Referentie

x Niet berekend

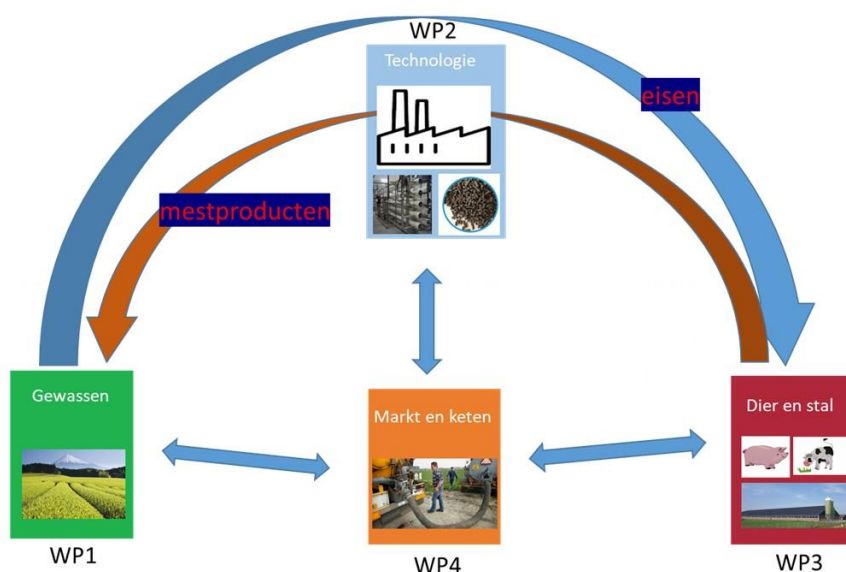
1 Inleiding

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 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 mestvervaardingsketen?
2. Wat betekent het gebruik van gescheiden urine en feces fracties voor het verwaarden van de mest?
3. Welke innovatieve mestvervaardingstechnieken zijn beschikbaar voor de melkveehouderijbedrijven?
4. Wat zijn de verwachte effecten op emissies van ammoniak en broeikasgassen voor alle gedefinieerde mestvervaardingsroutes.

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. De mest van melkgevende en droogstaande koeien is toegerekend aan de melkveestal, mest van het jongvee is toegerekend aan een aparte jongveestal.

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

Uitgangspunten / kengetallen	Intensief	Extensief
Aantal melkkoeien	250	250
Aantal stuks jongvee (kalveren en pinken)	145	145
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)	5,0	5,2
Gehalte P ₂ O ₅ in mest (g/kg)	1,7	1,8
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 sleufsilos. 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 uit de mestkelder gepompt 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 wordt met een mestrobot afgevoerd naar een externe opslag. De mestrobot spoelt de vloer met water. Een onbekende hoeveelheid water zal verdampen, daarom is vooralsnog uitgegaan van geen verdamping. In de stal wordt de kelderlucht onder de roosters 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 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. Let op de RAV emissiefactoren zijn gebruikt om de reductiepercentages ammoniak te berekenen. De RAV emissiefactoren zijn niet in de modellering gebruikt.

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 ¹⁾	62%
4.2 Regulier + verdunnen + monovergisting + strippen**	Ja	36	4.9 ¹⁾	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 **	nee	n.v.t	3.6 ²⁾	72%
9.2 Semi dichte vloer + onder afzuiging + monovergisten**	Ja	1	3.6 ²⁾	72%

*Dit is de reductie ten opzichte van scenario 1. Regulier zonder vergisten, voor de scenario's met dagontmesting geldt 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.

¹⁾ Dit betreft een eerste inschatting van de emissiefactor

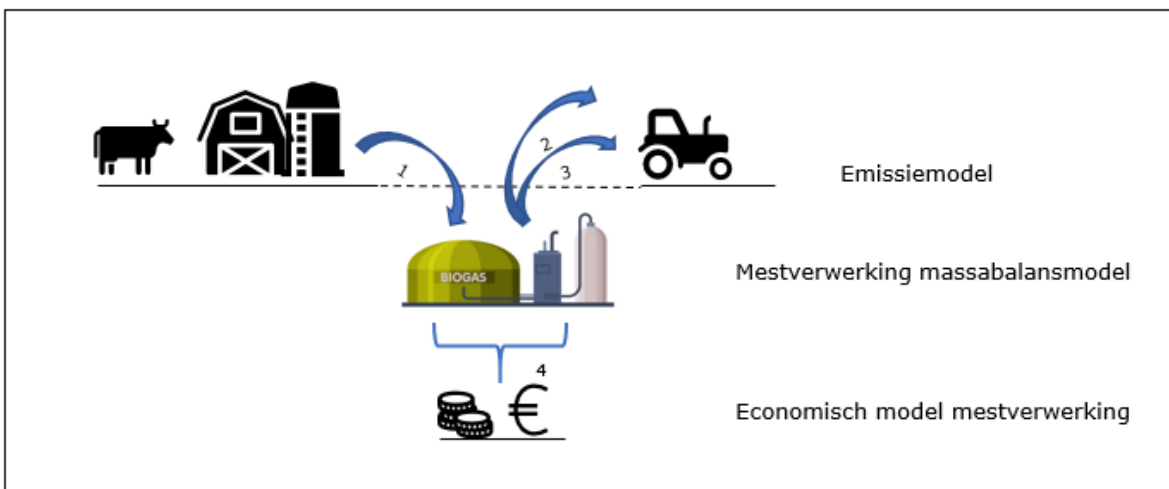
²⁾ Dit betreft een voorlopige emissiefactor die opgenomen is in de Infomil-lijst

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.

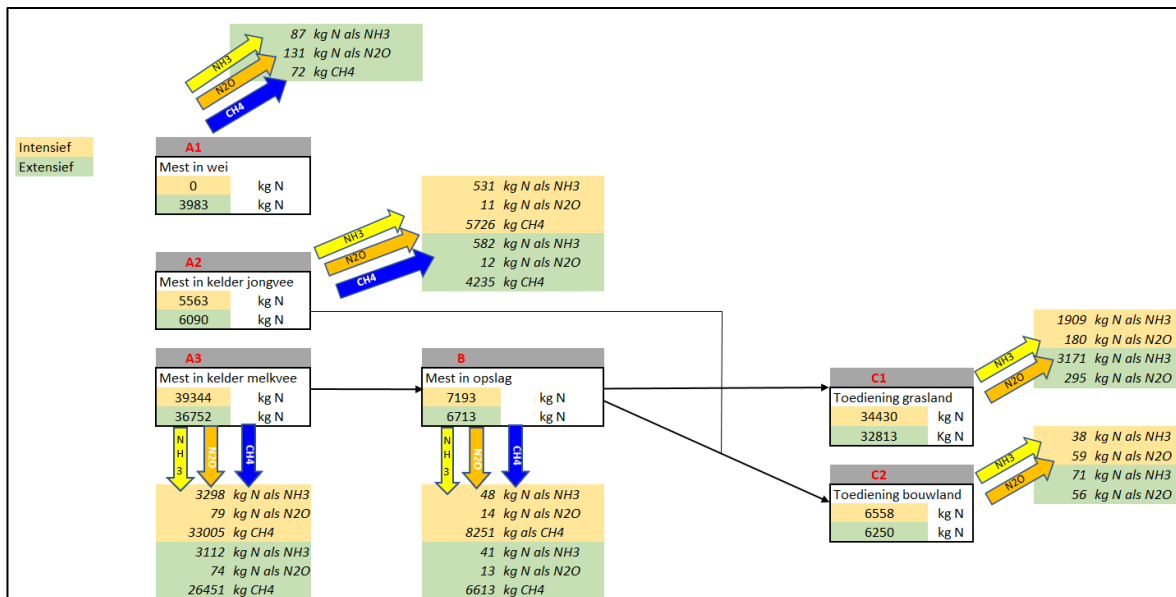
Aan de opbrengstenkant is gekeken naar vermeden kosten voor mestafzet en vermeden kosten voor aankoop van kunstmest. In de scenario's waarin monovergisting is toegepast is daarnaast gerekend met opbrengsten uit vermeden energieverbruiken, verkoop van energie en inkomsten uit SDE-subsidie.

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 weergegeven 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, verandert 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 geïmitteerde 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 NH₃/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 bevat¹. 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 NO_x 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 N₂ bevatten. De N₂ stikstof is echter niet afkomstig uit de mest, maar uit de omgevingslucht die wordt gebruikt voor de biologische verwijdering van H₂S uit het biogas. Deze N₂ 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 CZV² 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 CH₄.

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 uitgangspunten in bijlage 1).

Om de totale uitstoot van broeikasgasemissies per scenario in kaart te brengen, zijn de methaan- en lachgasemissies omgerekend naar CO₂-equivalenten³ met de volgende rekenregels (Myhre et al., (2013)):

1 kg methaan = 28 CO₂-equivalenten

1 kg lachgas = 265 CO₂-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 CO₂-equivalent staat gelijk aan het effect dat de uitstoot van 1 kg CO₂ 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):

$$(1) CH_4(t) = CH_{4,max} \times \left(1 - \frac{1}{1 + Kh \times t}\right)$$

Waarbij:

- CH₄ (t) = Methaanproductie bij ouderdom mest van t dagen (in m³ CH₄/kg OS)
- CH_{4, max} = Maximale methaanproductie bij ouderdom mest t is 0 dagen (in m³ CH₄/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.

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

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 (CH₄, 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 m³ methaan per kg organische stof is hoger dan de geschatte waarde van het Biochemisch Methaan Potentieel van rundveemest van 0,22 m³/kg OS uit het onderzoek van Groenestein et al. (2016), maar valt wel binnen de bandbreedte 0,13-0,32 m³/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 melkveemest¹, organische stofgehalte van mest bij invoer in het vergistingsproces en biogasproductie

Scenario	Gemiddelde ouderdom van de mest (dagen)	Organische stofgehalte bij invoer vergister	Organische stofgehalte bij invoer vergister	Biogas-productie* (m ³ biogas/kg OS)
		<i>Intensief</i> (kg/ton)	<i>Extensief</i> (kg/ton)	
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	1	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
9.2 Semi dichte vloer + onder afzuiging + 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 NH₃, CH₄ en N₂O: 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 8,8 ton NH₃ en 47,0 ton CH₄. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 16,0 kg NH₃ /dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee.

Tabel 5.1 Emissie van methaan CH₄ en ammoniak NH₃ (ton/jaar) voor referentie zonder mestverwerking

Emissie	Stal	Externe opslag	Aanwenden	Totaal
NH ₃	4,6	0,06	4,1	8,8
CH ₄	38,7	8,3		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 in de melkvee en jongveestal bedraagt 44,9 ton per jaar. Als gevolg van de stikstofverliezen in stal en opslag resteert bij aanwending van de mest 41,0 ton stikstof. Het stikstofverlies uit stal en opslag bedraagt 3,9 ton N. Dit stikstofverlies is de som van emissies van ammoniak-N en lachgas-N. De excretie van fosfaat bedraagt 14,9 ton P₂O₅ per jaar.

5.1.3 Investerings 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 8,9 ton en 27,0 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 15,3 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	4,4		0,1	4,3	8,9
CH ₄	22,2	3,7		1,2	27,0

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 m³ biogas gevormd. Na vergisting resteert 8.741 ton digestaat.

De vracht stikstof in het digestaat bedraagt 39,6 ton N per jaar, waarvan circa 61% 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 P₂O₅ per jaar en de vracht kalium 48,6 ton K₂O per jaar.

5.2.3 Investerings 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 362 euro per melkkoe. Het aandeel rente en afschrijving bedraagt circa 50% van de jaarkosten.

De opbrengsten bedragen 433 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 monovergistingstinstallatie voor een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien levert een positief resultaat 71 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 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 5.3 Investerings, jaarkosten en -opbrengsten van toepassing van monovergisting van mest van een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien.

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investerings	€	421.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	433
Kosten	€/melkkoe/jaar	362
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	71

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 exploitatie¹ 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	m ³ /kg OS	0,41	0,37	0,32	0,28
Aantal melkkoeien					
100	€/melkkoe	-217	-261	-312	-351
150	€/melkkoe	-31	-75	-127	-166
200	€/melkkoe	65	20	-32	-72
250	€/melkkoe	123	78	26	-14
300	€/melkkoe	163	117	65	24

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 6,8 ton NH₃ en 28,2 ton CH₄. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 15,3 kg NH₃ /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	Productie mest-producten	Vergisten	Opslag na verwerking	Aan-wenden	Totaal
NH ₃	4,4	0,2		0,08	2,2	6,9
CH ₄	22,2		3,7	2,4		28,2

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:

- 5.790 ton dikke fractie,
- 8.139 ton gestripte dunne fractie, (ammonium arme dunne fractie)
- 361 ton ammoniumsulfaat oplossing,
- 220.000 m³ biogas.

De berekende samenstelling van de eindproducten is weergegeven in bijlage 5.

Van de 41,2 ton stikstof (N) die via de rundveemest in de vergister wordt ingevoerd komt circa 44% in de vorm van ammoniumsulfaat uit de strip en scrub-installatie vrij.

Van de 14,9 ton fosfaat (P₂O₅) 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 Investerings 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 598 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 87% 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 77 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 *Investerings, jaarkosten en -opbrengsten van toepassing van monovergisting van mest van een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investerings	€	622.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	598
Kosten	€/melkkoe/jaar	674
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-77

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 exploitatie¹ 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	-493	-562	-644	-694
150	€/melkkoe	-216	-287	-369	-421
200	€/melkkoe	-77	-148	-231	-283
250	€/melkkoe	7	-65	-147	-200
300	€/melkkoe	63	-9	-92	-144

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 4,0 ton NH₃ en 29,9 ton CH₄. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 5,8 kg NH₃/dierplaats/jaar, op basis van een voorlopige metingen, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal.

Tabel 5.8 Emissie van methaan CH₄ en ammoniak NH₃ (ton/jaar) voor regulier met verdunnen en strippen.

Emissie	Stal	Externe opslag	Productie mest-producten	Aan-wenden	Totaal
NH ₃	2,1	0,08	0,2	1,6	4,0
CH ₄	25,8	4,1			29,9

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:

- 6.588 ton ammoniakarme dunne fractie
- 2.395 ton mengsel dikke fractie en jongveemest
- 347 ton ammoniumsulfaat

Van de hoeveelheid stikstofexcretie in de melkvee- en jongveestal (44,9 ton N) komt circa 39% (17,4 ton N) in het spuiwater van de luchtwasser terecht. De dunne mestfractie bevat circa 17% en de dikke fractie circa 40% 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 P₂O₅) bevindt zich circa 53% in de dunne fractie en circa 47% in het mengsel dikke fractie en jongveemest.

5.4.3 Investerings 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 116 euro per melkkoe, ofwel circa 34% van de totale jaarkosten van 346 euro per melkkoe.

Tegenover de kosten staan opbrengsten uit vermeden mestafzetkosten en vermeden inkoop van kunstmest van 57 euro per melkkoe.

De jaaropbrengsten zijn aanzienlijk lager dan de jaarkosten en resulteren in een negatief resultaat van circa 290 euro per melkkoe per jaar.

Tabel 5.8 *Investerings, 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
Investerings	€	303.225
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	57
Kosten	€/melkkoe/jaar	346
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-290

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 op het exploitatieresultaat. Een toename van de bedrijfsgrootte van 100 naar 300 melkkoeien leidt tot ongeveer een halvering van kosten.

Tabel 5.9 Resultaten exploitatie¹ 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.

Investerings		90%	100%	110%
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-480	-513	-546
150	€/melkkoe	-372	-395	-419
200	€/melkkoe	-304	-322	-340
250	€/melkkoe	-274	-290	-305
300	€/melkkoe	-246	-258	-271

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 4,4 ton en 27,8 ton. Het huisvestingssysteem is gelijk aan scenario 4.1 en komt voor een intensief bedrijfssysteem op 5,8 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	2,1	0,2		0,1	2,0	4,4
CH ₄	22,2		3,7	2,2		28,1

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:

- 8.715 ton digestaat (inclusief overschot dunne fractie)
- 347 ton ammoniumsulfaat
- 222.000 m³ biogas

Van de hoeveelheid stikstof die uit het stalsysteem vrijkomt (44,9 ton N) komt circa 39% (17,4 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 P₂O₅) komt volledig in het digestaat terecht.

5.5.3 Investerings 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 681 euro per melkkoe. De opbrengsten uit vermeden energiekosten, levering van energie, SDE-subsidie en vermeden mestafzetkosten en besparing van kunstmestinkoop bedragen samen 476 euro per melkkoe. Hierdoor wordt een negatief resultaat berekend van 205 euro per melkkoe.

Tabel 5.11 Investerings, 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
Investerings	€	728.169
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	474
Kosten	€/melkkoe/jaar	681
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-207

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 exploitatie¹ 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.

Investerings		90%	100%	110%
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-649	-739	-828
150	€/melkkoe	-387	-451	-515
200	€/melkkoe	-242	-292	-342
250	€/melkkoe	-165	-207	-249
300	€/melkkoe	-105	-141	-177

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 7,2 ton en 47,7 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 7,9 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	2,6	0,3	4,3	7,2
CH ₄	6,4	41,3		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 42,4 ton N. Het stikstofverlies in stal en opslag bedraagt 2,5 ton kg N. Dit stikstofverlies is de som van emissies van ammoniak-N en lachgas-N. De excretie van fosfaat bedraagt circa 14,6 ton P₂O₅ per jaar. Er treedt geen verlies van fosfaat op.

5.6.3 Investerings 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 7,2 ton en 7,5 ton. Het huisvestingssysteem is gelijk aan scenario 5 en komt uit op 7,9 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee.

Tabel 5.14 Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor dagontmesting met monomestvergisting

Emissie	Stal	Vergisten	Opslag na verwerking	Aanwenden	Totaal
NH ₃	2,6		0,1	4,6	7,3
CH ₄	2,0	4,6	1,1		7,7

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 m³ 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 40,7 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 P₂O₅ per jaar.

5.7.3 Investerings en exploitatie

De realisatie van een monovergistingstinstallatie voor een bedrijf met 250 melkkoeien vraagt een investering van 463.000 euro (zie tabel 5.15). De investering is enigszins hoger dan voor de realisatie van een monovergistingstinstallatie voor een regulier bedrijf. De meer-investering komt voort uit de aanpassing van het huisvestingssysteem en de meerkosten voor de vergistingstinstallatie 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 534 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 monovergistingstinstallatie voor een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien levert een positief resultaat 152 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 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 5.15 *Investerings, jaarkosten en -opbrengsten van toepassing van monovergisting van mest van een regulier intensief bedrijf met 250 melkkoeien.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investerings	€	463.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	534
Kosten	€/melkkoe/jaar	382
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	152

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 exploitatie¹ intensief bedrijf en toepassing dagontmesting en monovergisting bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.*

Investerings		90%	100%	110%
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-122	-180	-239
150	€/melkkoe	45	3	-41
200	€/melkkoe	130	96	59
250	€/melkkoe	182	152	120
300	€/melkkoe	217	190	161

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 4,9 ton en 7,4 ton. Het huisvestingssysteem is gelijk aan scenario 5 en komt uit op 7,9 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	Productie mest-producten	Vergisten	Opslag na verwerking	Aanwenden	Totaal
NH ₃	2,6	0,2		0,02	2,1	4,9
CH ₄	2,0		4,6	1,1		7,7

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,
- 8.112 ton gestripte dunne fractie,
- 382 ton ammoniumsulfaat oplossing,
- 275.000 m³ biogas.

Van de 42,7 ton stikstof (N) die via de rundveemest in de vergister wordt ingevoerd komt circa 45% in de vorm van ammoniumsulfaat uit de installatie vrij.

Van de 14,9 ton fosfaat (P₂O₅) 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 Investerings 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 661.000 euro (zie tabel 5.18).

Door de hogere investering nemen de jaarkosten toe tot 706 euro per melkkoe. De opbrengsten uit vermeden energiekosten, levering van energie, SDE-subsidie en vermeden mestafzetkosten en besparing van kunstmestinkoop bedragen samen 686 euro melkkoe. Bij deze bedrijfsgrootte zijn opbrengsten en kosten nagenoeg gelijk. Het berekende licht negatieve resultaat bedraagt 21 euro per melkkoe.

Tabel 5.18 Investerings, 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
Investerings	€	661.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	706
Kosten	€/melkkoe/jaar	686
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-21

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 exploitatie¹ 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.

Investerings		90%	100%	110%
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-443	-529	-616
150	€/melkkoe	-187	-248	-312
200	€/melkkoe	-57	-107	-157
250	€/melkkoe	21	-21	-64
300	€/melkkoe	74	37	-1

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 7,8 ton en 47,6 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 9,3 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	Aanwenden	Totaal
NH ₃	3,0	0,07	4,8	7,8
CH ₄	11,3	36,3		47,6

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:

- 3.902 ton urine (gier)
- 3.902 ton feces van melkvee
- 1.201 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 42,3 ton stikstof. Het stikstofverlies dat optreedt in de stal en opslag bedraagt 2,6 ton N/jaar.

De excretie van fosfaat bedraagt 14,9 ton P₂O₅ per jaar. Er treedt geen verlies van fosfaat op.

5.9.3 Investerings 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 6,3 ton en 47,6 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 4,0 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee en emissie berekeningen op basis van de voorlopige RAV emissiefactor.

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

Emissie	Stal	Externe opslag	Aanwenden	Totaal
NH ₃	1,7	0,06	4,6	6,3
CH ₄	11,3	36,3		47,6

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 (waarvan een onbekend deel zal verdampen, waar geen rekening mee is gehouden). 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 schoonspelen van de roostervloer bedraagt 1.643 ton per jaar.

Uit het stalsysteem komen de volgende meststromen vrij:

- 5.544 ton urine
- 5.103 ton feces en jongveemest
- 45 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 excretie in de melkvee- en jongveestal (44,9 ton N) komt circa 5% (2,3 ton N) in het spuiwater van de luchtwasser terecht. De urine bevat circa 48% en het mengsel van feces en jongveemest circa 40% 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 P₂O₅) bevindt zich circa 15% in de urinefractie en 85% in het mengsel feces en jongveemest.

5.10.3 Investerings 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 262 euro per melkkoe.

Tabel 5.22 *Investerings, 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
Investerings	€	300.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	-46
Kosten	€/melkkoe/jaar	216
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-262

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 exploitatie¹ intensief bedrijf en toepassing van een semi dichte roostervloer, onder afzuiging met luchtwassing bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.*

Investerings		90%	100%	110%
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-259	-277	-295
150	€/melkkoe	-254	-272	-290
200	€/melkkoe	-244	-262	-280
250	€/melkkoe	-244	-262	-280
300	€/melkkoe	-239	-257	-275

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 6,2 ton en 13,3 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 3,7 kg/dierplaats/jaar, uitgaande van alleen de ammoniakemissie uit de melkveestal en 250 dierplaatsen melkvee en emissie berekeningen op basis van de voorlopige RAV emissiefactor.

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

Emissie	Stal	Vergisten	Opslag na verwerking	Aanwenden	Totaal
NH ₃	1,7		0,07	4,5	6,2
CH ₄	6,8	3,7	2,8		13,4

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:

- 4.829 ton digestaat
- 5.544 ton urine
- 45 ton ammoniumsulfaat
- 217.000 m³ biogas

Van de hoeveelheid stikstof excretie in de melkvee- en jongvee-stal (44,9 ton N) komt circa 5% (2,3 ton N) in het spuiwater van de luchtwasser terecht. Het overige deel bevindt zich in het digestaat (37%) en in de urinefractie (51%). 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 P₂O₅) bevindt zich 15% in de urinefractie en 85% in het mengsel feces en jongveemest.

5.11.3 Investerings 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 724.000 euro (zie tabel 4.25).

Door de hogere investering nemen de jaarkosten voor onderhoud, afschrijving en rente toe, waardoor de totale jaarkosten oplopen tot 568 euro per melkkoe. De opbrengsten uit vermeden energiekosten, levering van energie, SDE-subsidie en vermeden mestafzetkosten en besparing van kunstmestinkoop bedragen samen 394 euro melkkoe. Hierdoor wordt een negatief resultaat berekend van 174 euro per melkkoe.

Tabel 5.25 Investerings, 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
Investerings	€	724.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	394
Kosten	€/melkkoe/jaar	568
Opbrengsten – kosten	€/melkkoe/jaar	-174

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 exploitatie¹ 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.

Investerings		90%	100%	110%
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-88	-157	-227
150	€/melkkoe	-116	-171	-226
200	€/melkkoe	-123	-170	-217
250	€/melkkoe	-131	-174	-217
300	€/melkkoe	-133	-172	-211

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.

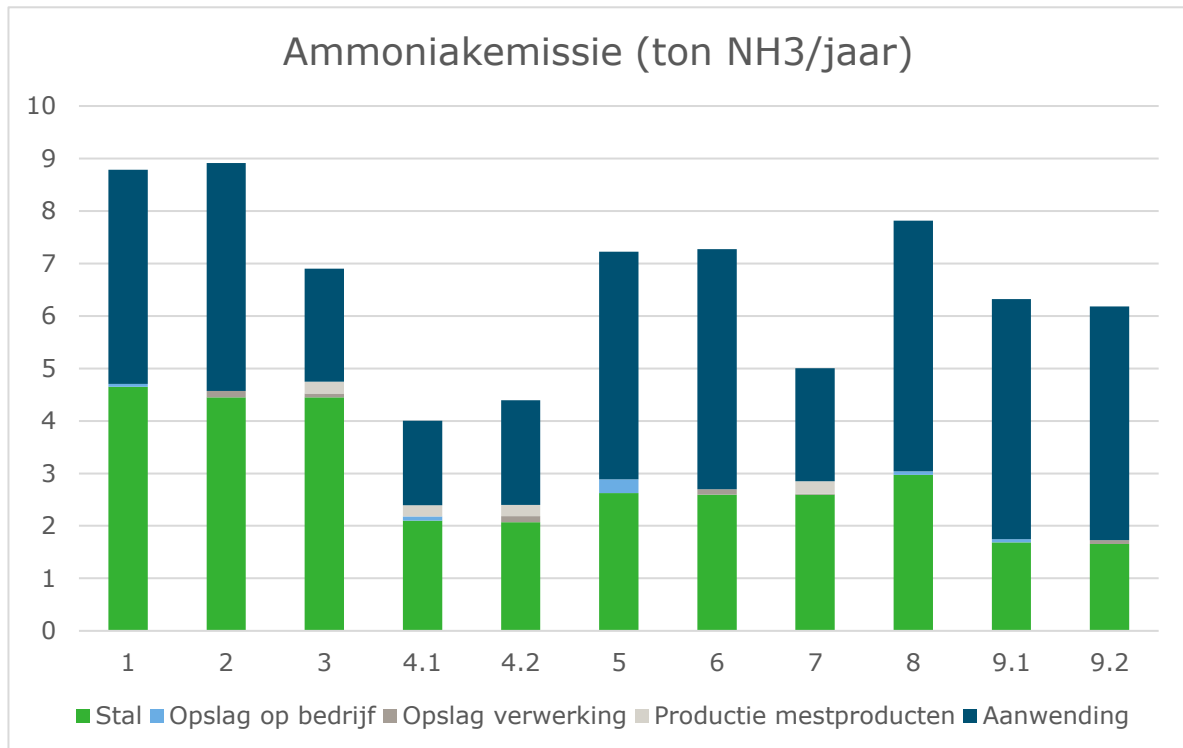
Nr.	Scenario	Stal	Externe opslag bedrijf	Productie mest-producten	Opslag na verwerking	Aanwending	Totaal
1	Regulier	4,6	0,06			4,1	8,8
2	Regulier + vergisten	4,4			0,12	4,3	8,9
3	Regulier + vergisten + strippen	4,4		0,2	0,08	2,2	6,9
4.1	Regulier + verdunnen + strippen	2,1	0,08	0,2		1,6	4,0
4.2	Regulier + verdunnen + strippen + vergisten	2,1		0,2	0,11	2,0	4,4
5	Dagontmesting zonder verwerking	2,6	0,3			4,3	7,2
6	Dagontmesting + vergisten	2,6			0,10	4,6	7,3
7	Dagontmesting + vergisten + strippen	2,6		0,2	0,02	2,2	5,0
8	Scheiden urine en feces	3,0	0,07			4,8	7,8
9.1	Semi-dichte vloer + onder afzuiging	1,7	0,06			4,6	6,3
9.2	Semi-dichte vloer + onder afzuiging + vergisten	1,7			0,07	4,5	6,2

Voor ammoniak liggen de gasvormige verliezen voor scenario 4.1 het laagst, met een totaalverlies van 4,0 ton NH₃/jaar waarbij mest in de stal wordt verdund en verder wordt verwerkt in een stikstofconcentraat. Hierdoor treden ook bij aanwenden minder verliezen op. Ook scenario's 4.2, 7 en 9.2 zorgen voor lage emissies, waarbij de totale ammoniakemissie tussen 4,0-6,0 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 55%. Scenario's 4.2, 7 en 9.2 zorgen voor een gemiddelde afname van 42% ten opzichte van het reguliere scenario. Ten opzichte van scenario 3, waarin oude drijfmest wel verder wordt verwerkt is dit een afname van 41% voor scenario 4.1 en gemiddeld 24% 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 circa 35% en 65% 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 circa 50-60% 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.

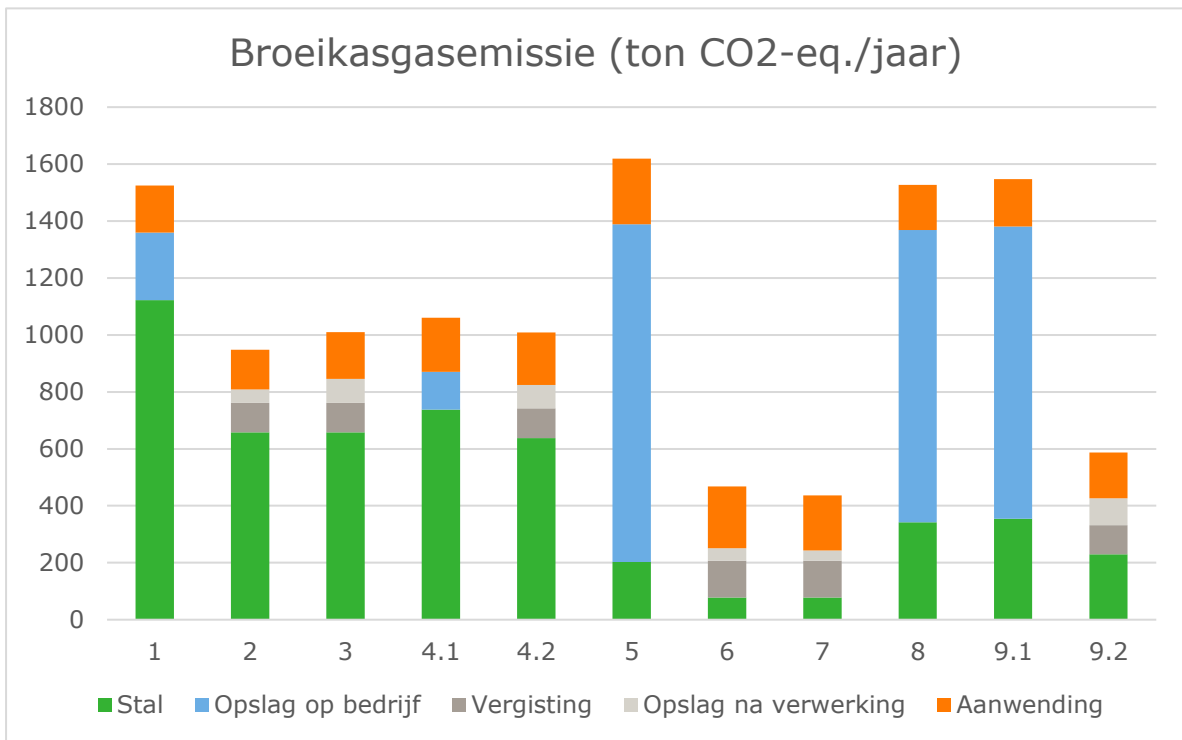
Voor intensieve bedrijven is op basis van het aantal hectares gras- en bouwland op het bedrijf en de mestgebruiksnormen berekend welk deel van de mest(fracties) op eigen bedrijf kan worden aangewend en hoeveel mest(fracties) moet worden afgezet naar derden. De ammoniakemissies tijdens aanwending die 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.



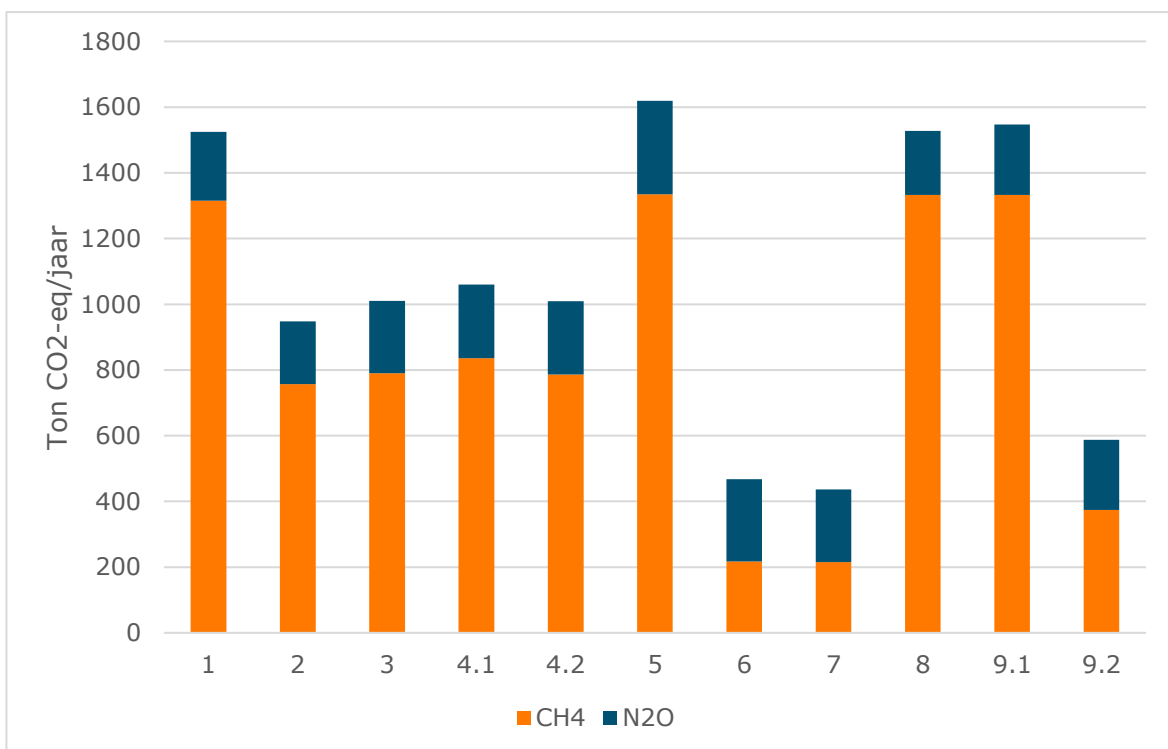
Figuur 5.1 Ammoniakemissies (ton NH₃/jaar) per scenario voor intensieve bedrijven.

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 CO₂-eq./jaar. Deze broeikasgasemissies 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 broeikasgasemissies (tussen de 925 – 1.100 ton CO₂-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 CO₂-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.



Figuur 5.3 Totale methaan- en lachgasemissie in de keten (ton CO₂-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	4,9	20	436
4.1	Regulier + verdunnen + strippen + vergisten	4,0	16	1.060
9.2	Semi-dichte vloer + onderafzuiging + vergisten	6,2	25	587

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.

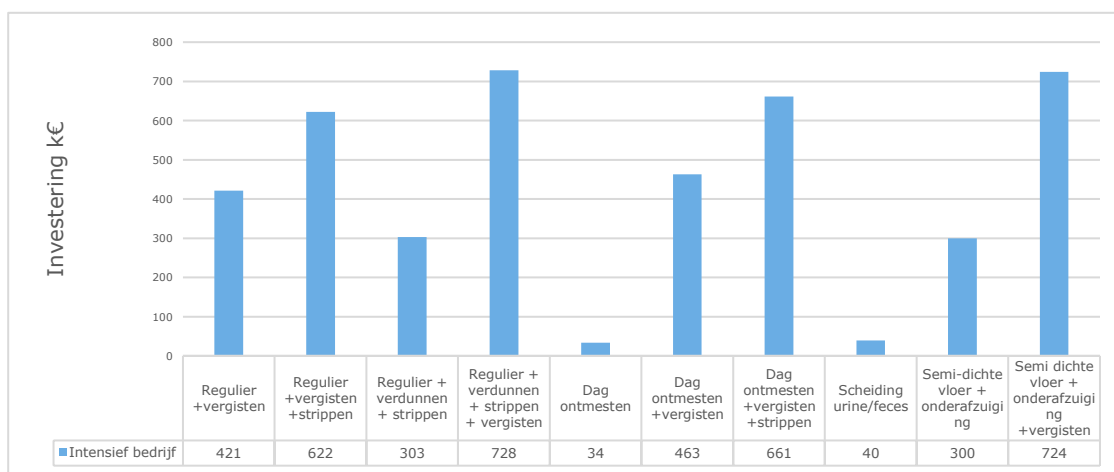
Ook de stalsystemen waarbij de emissie van ammoniak wordt gereduceerd door toepassing van semi-dichte vloeren en afzuiging van de mestkelder met luchtwassing, leiden tot relatief hoge jaarkosten. De toename van het mestvolume door het besproeien van de roostervloeren leidt tot een aanzienlijke toename 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..

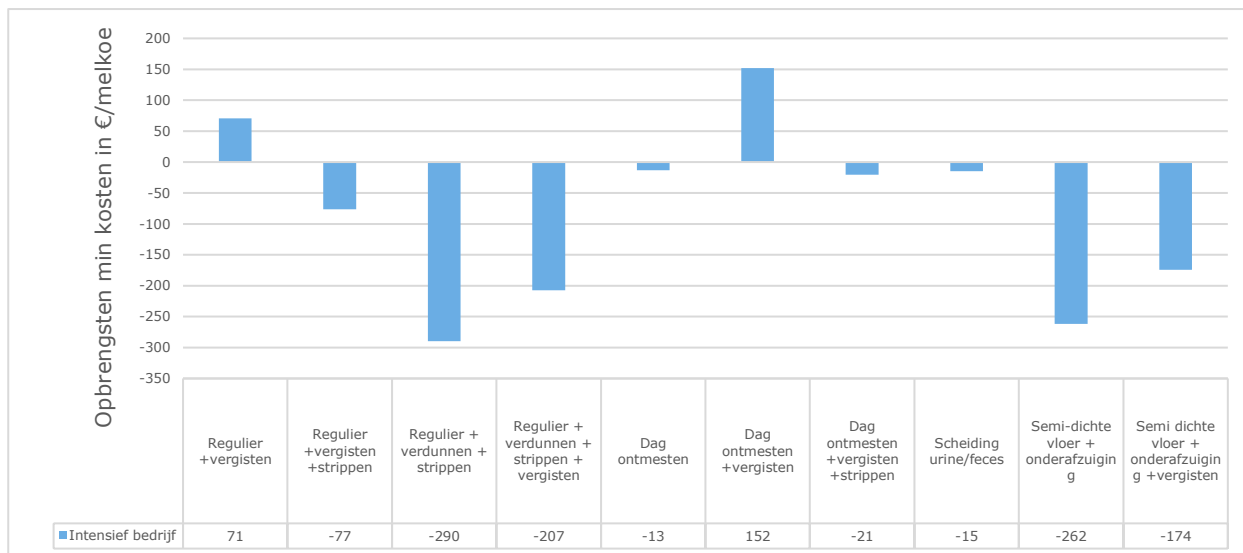
Scenario	Bedrijf	Eenheid	Intensief
1 Regulier	Investering	k€	-
	Opbrengsten	€/melkkoe	-
2 Regulier + monovergisting	Investering	k€	421
	Opbrengsten	€/melkkoe	71
3 Regulier + monovergisting + strippen	Investering	k€	622
	Opbrengsten	€/melkkoe	-77
4.1 Regulier + verdunnen + strippen	Investering	k€	303
	Opbrengsten	€/melkkoe	-290
4.2 Regulier + verdunnen + strippen + monovergisten	Investering	k€	728
	Opbrengsten	€/melkkoe	-207
5 Dagontmesting	Investering	k€	34
	Opbrengsten	€/melkkoe	-13
6 Dagontmesting + monovergisting	Investering	k€	463
	Opbrengsten	€/melkkoe	152
7 Dagontmesting + monovergisting + strippen	Investering	k€	661
	Opbrengsten	€/melkkoe	-21
8 Scheiding urine/feces	Investering	k€	40
	Opbrengsten	€/melkkoe	-15
9.1 Semi-dichte vloer + onderafzuiging	Investering	k€	300
	Opbrengsten	€/melkkoe	-262
9.2 Semi-dichte vloer + onderafzuiging monovergisting	Investering	k€	724
	Opbrengsten	€/melkkoe	-174

- Referentie

x Niet berekend



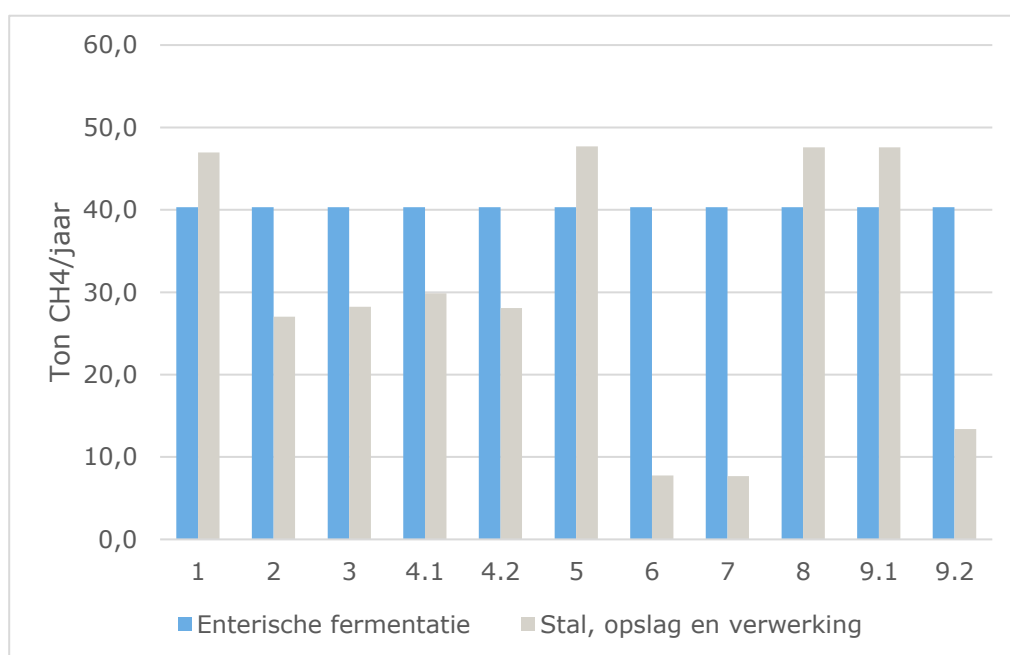
Figuur 5.5 Meer investering stalsystemen en mestbehandeling van intensieve bedrijven met 250 melkkoeien ten opzichte van reguliere stalsystemen zonder behandeling van mest.



Figuur 5.6 Opbrengsten minus kosten van stalsystemen en mestbehandling 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 CH₄/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 60-75% 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, in hoofdstuk 7 discussie is hier gedetailleerder op ingegaan.

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 NH₃ CH₄ en N₂O: 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 8,6 ton en 37,4 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 15,1 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	4,5	0,1	0,05	3,9	8,6
CH ₄	30,7	0,1	6,6		37,4

6.1.2 Massabalansen

De mestproductie van het extensieve referentie melkveebedrijf met 250 melkkoeien bedraagt 9.070 ton per jaar, waarvan 8.206 ton in de stal wordt geproduceerd en 864 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 4,0 ton per jaar. Als gevolg van de stikstofverliezen in stal en opslag resteert bij aanwending van de mest uit stal en opslag 39,1 ton stikstof. Het stikstofverlies betreft ammoniak-N en lachgas-N.

De excretie van fosfaat bedraagt 16,2 ton P₂O₅ per jaar, waarvan 14,6 gedurende de stalperiode wordt uitgescheiden en het overige deel gedurende de weideperiode.

6.1.3 Investerings 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 8,9 ton en 28,2 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 14,5 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 6.2 Emissie van methaan en ammoniak (ton/jaar) voor regulier met monomestvergisting

Emissie	Stal	Wei	Vergisten	Opslag na verwerking	Aanwenden	Totaal
NH ₃	4,3	0,1		0,1	4,3	8,8
CH ₄	17,7	0,1	2,9	0,9		21,6

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 m³ biogas gevormd. Na vergisting resteert 7.997 ton digestaat.

De vracht stikstof in het digestaat bedraagt 38,0ton 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 P₂O₅ per jaar.

6.2.3 Investeringsen 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 344 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 Investerings, jaarkosten en -opbrengsten van toepassing van monovergisting van mest van een regulier extensief bedrijf met 250 melkkoeien.

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investerings	€	405.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	344
Kosten	€/melkkoe/jaar	346
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-2

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 exploitatie¹ 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	m ³ /kg OS	0,41	0,37	0,32	0,28
Aantal melkkoeien					
100	€/melkkoe	-298	-331	-371	-403
150	€/melkkoe	-113	-148	-188	-219
200	€/melkkoe	-19	-54	-94	-126
250	€/melkkoe	38	3	-38	-69
300	€/melkkoe	77	42	0	-31

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 4,0 ton en 23,7 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 5,5 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	2,1	0,1	0,07	0,2	1,6	4,0
CH ₄	20,3	0,1	3,3			23,7

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:

- 6.103 ton ammoniakarme dunne fractie
- 2.082 ton mengsel dikke fractie en jongveemest
- 331 ton ammoniumsulfaat

Van de hoeveelheid stikstof excretie in de melkvee- en jongveestal (42,8 ton N) komt circa 39% (16,5 ton N) in het spuiwater van de luchtwasser terecht. De dunne mestfractie bevat circa 16% en de dikke fractie circa 40% 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 P₂O₅) bevindt zich 47% in de dunne fractie en 53% in het mengsel dikke fractie en jongveemest.

6.3.3 Investerings en exploitatie

De investering voor de stalaanpassing en mestbehandeling bedraagt voor een bedrijfsgrootte van 250 melkkoeien ruim 303.000 euro. De jaarkosten voor het verbruik van natronloog voor het strippen van ammoniak en zwavelzuur van de luchtwasser zijn relatief groot, namelijk 107 euro per melkkoe, ofwel circa 30% van de totale jaarkosten van 334 euro per melkkoe.

Tegenover de kosten staan beperkte opbrengsten uit vermeden mestafzetkosten en vermeden inkoop van kunstmest van 12 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 315 euro per melkkoe per jaar.

Tabel 6.6 *Investerings, 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
Investerings	€	303.225
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	19
Kosten	€/melkkoe/jaar	334
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-315

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 exploitatie¹ 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.

Investeringsomvang		90%	100%	110%
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-505	-538	-571
150	€/melkkoe	-397	-421	-444
200	€/melkkoe	-329	-347	-365
250	€/melkkoe	-299	-315	-330
300	€/melkkoe	-271	-284	-297

¹ Met resultaat exploitatie is bedoeld: jaaropbrengsten minus jaarkosten.

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

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 4,5 ton en 22,3 ton. Het huisvestingssysteem is gelijk aan scenario 4.1 en komt voor een extensief bedrijfssysteem op 5,5 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	2,0	0,1	0,1		0,1	2,1	4,5
CH ₄	17,7	0,1		3,0	1,8		22,5

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:

- 7.974 ton digestaat
- 331 ton ammoniumsulfaat
- 175.000 m³ biogas

Van de hoeveelheid stikstof excretie in de melkvee- en jongveestal (42,8 ton N) komt circa 39% (16,5 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 P₂O₅) komt volledig in het digestaat terecht.

6.4.3 Investerings 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 653 euro per melkkoe. De opbrengsten uit vermeden energiekosten, levering van energie, SDE-subsidie en vermeden mestafzetkosten en besparing van kunstmestinkoop bedragen samen 362 euro melkkoe. Hierdoor wordt een negatief resultaat berekend van 292 euro per melkkoe.

Tabel 6.9 *Investerings, 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
Investerings	€	711.710
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	358
Kosten	€/melkkoe/jaar	654
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-295

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 exploitatie¹ 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.*

Investerings		90%	100%	110%
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-735	-824	-912
150	€/melkkoe	-475	-538	-601
200	€/melkkoe	-330	-379	-428
250	€/melkkoe	-254	-295	-336
300	€/melkkoe	-194	-229	-264

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 7,1 ton en 37,9 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 7,5 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	Aanwenden	Totaal
NH ₃	2,6	0,1	0,2	4,2	7,1
CH ₄	4,8	0,1	33,1		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 864 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 40,4 ton stikstof.

De excretie van fosfaat bedraagt 16,2 ton P₂O₅ per jaar, waarvan 14,6 gedurende de stalperiode wordt uitgescheiden en het overige deel gedurende de weide periode.

6.5.3 Investerings 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 7,3 ton en 6,0 ton. Het huisvestingssysteem is gelijk aan scenario 4 (verdunnen, strippen) en komt uit op 7,5 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	Vergisten	Opslag na verwerking	Aanwenden	Totaal
NH ₃	2,5	0,1		0,1	4,6	7,3
CH ₄	1,5	0,1	3,7	0,9		6,2

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 m³ biogas gevormd. De biogasproductie is circa 25% hoger ten opzichte van de situatie bij een reguliere stal met monovergisting. Na vergisting resteert 7.944 ton digestaat. Gedurende de weide periode wordt 864 ton mest geproduceerd.

De vracht stikstof in het digestaat bedraagt 39,3 ton N per jaar, waarvan circa 66% 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 P₂O₅ per jaar.

6.6.3 Investerings 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 monovergistingstinstallatie voor een regulier bedrijf. De meer-investering komt voort uit de aanpassing van het huisvestingssysteem en de meerkosten voor de vergistingstinstallatie 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 421 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 monovergistingstinstallatie voor een regulier extensief bedrijf met 250 melkkoeien levert een positief resultaat 57 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 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 6.13 *Investerings, jaarkosten en -opbrengsten van toepassing van monovergisting van mest van een regulier extensief bedrijf met 250 melkkoeien met dagontmesting.*

Onderwerp	Eenheid	Waarde
Investerings	€	445.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	421
Kosten	€/melkkoe/jaar	364
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	57

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 bedrijfssomvang 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 exploitatie¹ extensief bedrijf en toepassing dagontmesting en monovergisting bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.

Investerings		90%	100%	110%
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-218	-272	-326
150	€/melkkoe	-52	-91	-130
200	€/melkkoe	32	1	-31
250	€/melkkoe	84	57	30
300	€/melkkoe	118	95	71

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 7,8 ton en 37,9 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 8,8 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	Aanwenden	Totaal
NH ₃	2,9	0,1	0,06	4,7	7,8
CH ₄	8,7	0,1	29,1		37,9

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 864 ton mest geproduceerd.

Uit het stalsysteem komen de volgende meststromen vrij:

- 3.555 ton urine (gier)
- 3.555 ton feces van melkvee
- 1.096 ton jongveemest

De feces en drijfmest uit de jongveestal worden gemengd aangewend.

De excretie van stikstof in de melkvee- en jongveestal bedraagt 42,8 ton per jaar. Als gevolg van de stikstofverliezen in stal en opslag resteert bij aanwending van de mest 40,3 ton stikstof. Het stikstofverlies dat optreedt in de stal en opslag bedraagt uitgedrukt in ammoniak bedraagt circa 2,5 ton N /jaar.

De excretie van fosfaat bedraagt 14,6 ton P₂O₅ per jaar. Er treedt geen verlies van fosfaat op.

6.7.3 Investerings 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 6,3 ton en 37,9 ton. De ammoniakemissie in dit scenario komt uit op 3,7 kg/dierplaats/jaar uitgaande van alleen de ammoniakemissies uit de melkveestal en 250 stuks melkvee.

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	0,06	4,4	6,3
CH ₄	8,7	0,1	29,1		37,9

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 (waarvan een onbekend deel zal verdampen, waar geen rekening mee is gehouden). 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 8.206ton per jaar. De hoeveelheid water die gebruikt wordt voor het schoonspoelen van de roostervloer bedraagt 1.643 ton per jaar.

Uit het stalsysteem komen de volgende meststromen vrij:

- 5.198 ton urine
- 4.651ton feces en jongveemest
- 43 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 (42,8 ton N) komt circa 5% (2,1 ton N) in het spuiwater van de luchtwasser terecht. De urine bevat circa 50% en het mengsel van feces en jongveemest circa 41% 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 P₂O₅) bevindt zich 14% in de urinefractie en 86% in het mengsel feces en jongveemest.

6.8.3 Investerings 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 225 euro per melkkoe.

Tabel 6.16 *Investerings, 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
Investerings	€	300.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	-9
Kosten	€/melkkoe/jaar	216
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-225

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 exploitatie¹ extensief bedrijf en toepassing van een semi dichte roostervloer, onder afzuiging met luchtwassing bij variatie van de bedrijfsgrootte en omvang van de investering.*

Investerings		90%	100%	110%
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-222	-240	-258
150	€/melkkoe	-217	-235	-253
200	€/melkkoe	-207	-225	-243
250	€/melkkoe	-207	-225	-243
300	€/melkkoe	-202	-220	-238

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 6,3 ton en 10,6 ton. Het huisvestingssysteem is gelijk aan scenario 4.1 waarbij de ammoniakemissie uitkomt op 3,7 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		0,09	4,4	6,3
CH ₄	5,4	0,1	2,9	2,3		10,7

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:

- 4.434 ton digestaat
- 5.198 ton urine
- 43 ton ammoniumsulfaat
- 183.000 m³ biogas

Van de hoeveelheid stikstof excretie in de melkvee- en jongveestal (42,8 ton N) komt circa 5% (2,1 ton N) in het spuiwater van de luchtwasser terecht. Het overige deel bevindt zich in het digestaat (39%) en in de urinefractie (50%). 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 P₂O₅) bevindt zich 15% in de urinefractie en 85% in het mengsel feces en jongveemest.

6.9.3 Investerings 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 707.000 euro.

Door de hogere investering nemen de jaarkosten voor onderhoud, afschrijving en rente toe, waardoor de totale jaarkosten oplopen tot 551 euro per melkkoe. De opbrengsten uit vermeden energiekosten, levering van energie, SDE-subsidie en vermeden mestafzetkosten en besparing van kunstmestinkoop bedragen samen 322 euro melkkoe. Hierdoor wordt een negatief resultaat berekend van 229 euro per melkkoe.

Tabel 6.19 *Investerings, 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
Investerings	€	707.000
Opbrengsten	€/melkkoe/jaar	322
Kosten	€/melkkoe/jaar	551
Opbrengsten - kosten	€/melkkoe/jaar	-229

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 exploitatie¹ 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.

Investerings		90%	100%	110%
Aantal melkkoeien				
100	€/melkkoe	-481	-550	-619
150	€/melkkoe	-322	-376	-430
200	€/melkkoe	-235	-282	-327
250	€/melkkoe	-188	-229	-271
300	€/melkkoe	-152	-190	-229

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.

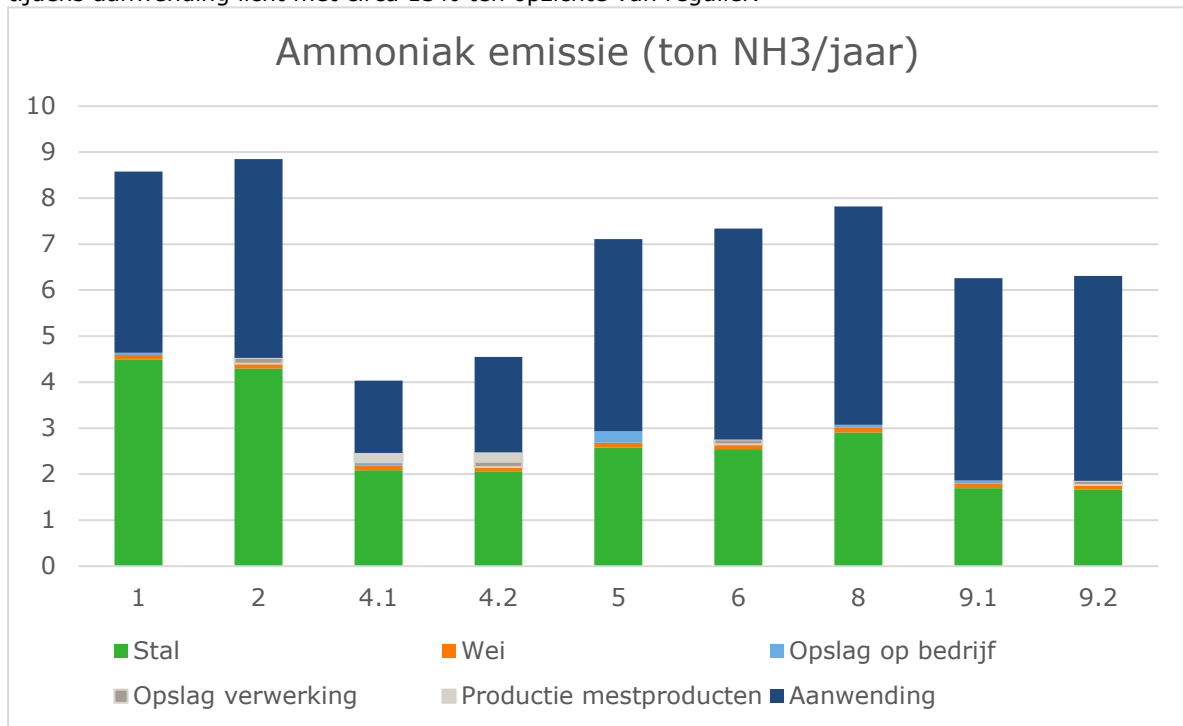
Tabel 6.22 Ammoniakemissie voor verschillende scenario's van verwerking rundveemest (ton/jaar) voor extensieve bedrijven.

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

Voor ammoniak liggen de gasvormige verliezen voor scenario 4.1 het laagst, met een totaalverlies van 4,0 ton NH₃/jaar. Ook scenario's 4.2 en 9 zorgen voor lage emissies, met een totaalverlies van respectievelijk 4,5 en 6,3 ton/jaar. Ten opzichte van het reguliere scenario, waarin drijfmest niet verder wordt verwerkt, zorgen scenario 4.1, 4.2 en 9 voor een afname in totale ammoniakemissie van respectievelijk 53%, 48% en 27%.

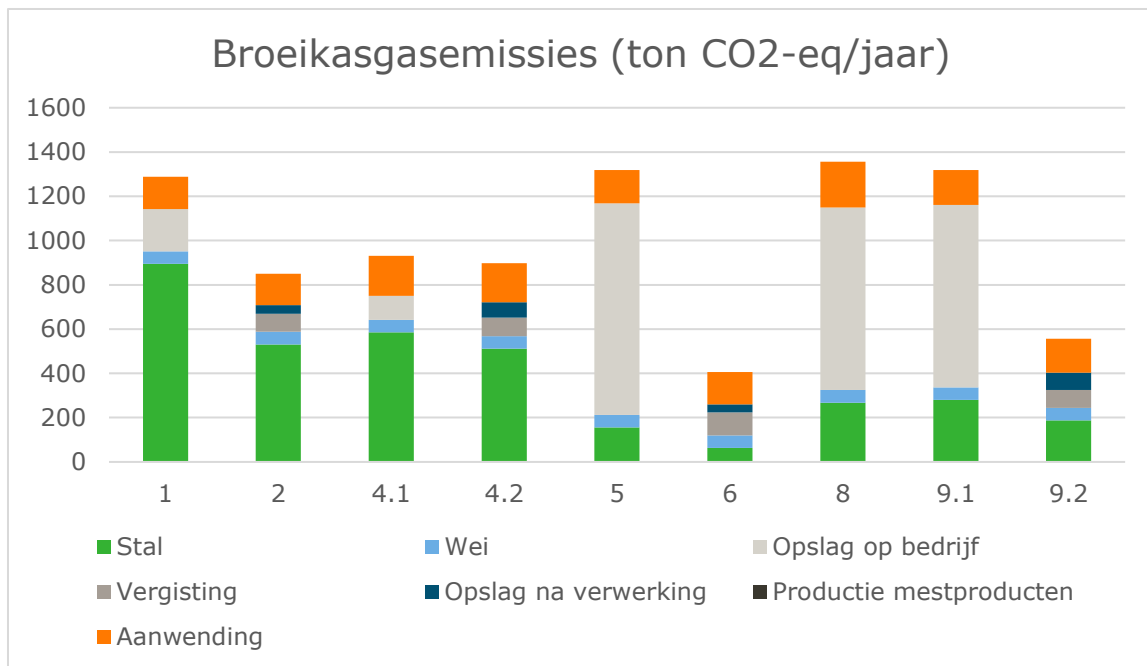
In figuur 6.1 is te zien dat vooral in de stal en tijdens aanwenden van mestproducten een reductie van ammoniak te realiseren is. Het dagelijks verwijderen van mest of scheiden van feces en urine kan in de stal voor een reductie tussen de circa 35% en 65% zorgen, afhankelijk van het huisvestingssysteem en of de mest(fracties) snel worden verwijderd. Het verder verwerken van drijfmest kan tijdens aanwending van de mestproducten voor een reductie van 50-65% 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 circa 13% ten opzichte van regulier.



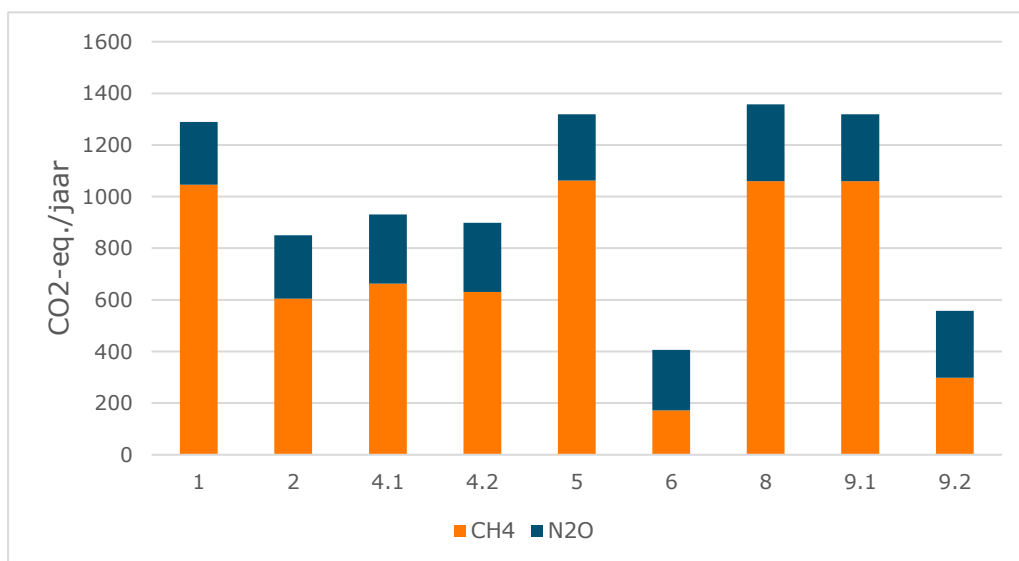
Figuur 6.1 Ammoniakemissies (ton NH₃/jaar) per scenario.

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 CO₂-eq./jaar. Deze broeikasgasemissies 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 broeikasgasemissies (tussen de 875 – 1050 ton CO₂-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 CO₂-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, is het aandeel methaan en lachgas nagenoeg gelijk.



Figuur 6.3 Totale methaan- en lachgasemissie (ton CO₂-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	4,0	16,2	931
4.2	Regulier+ ver-dunnen+strippen + vergisten	4,5	17,9	898
9.2	Semi-dichte vloer + onder afzuiging + vergisten	6,3	25,2	557
6	Dagontmesting + vergisten	7,3	29,3	406

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.

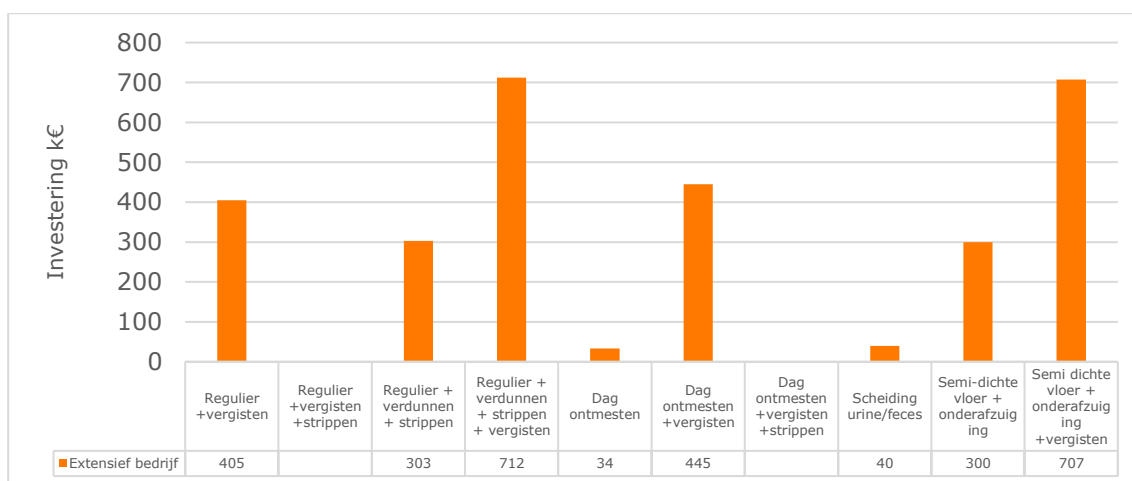
Ook de stalsystemen waarbij de emissie van ammoniak wordt gereduceerd door toepassing van semi-dichte vloeren en afzuiging van de mestkelder met luchtwassing, leiden tot relatief hoge jaarkosten. De toename van het mestvolume door het besproeien van de roostervloeren leidt tot een aanzienlijke toename 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..

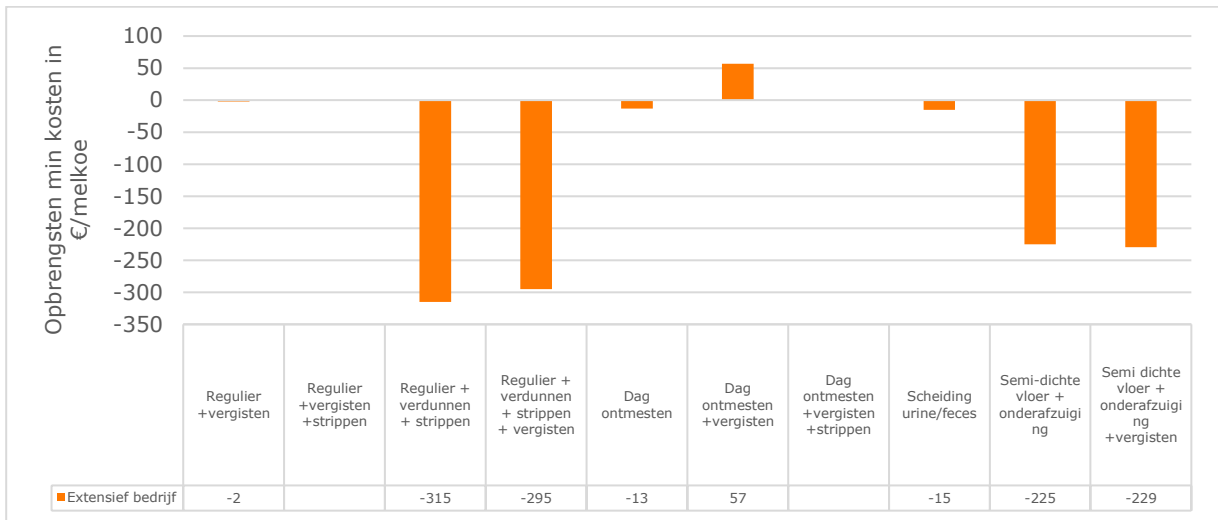
Scenario	Bedrijf	Eenheid	Extensief
1 Regulier	Investering	k€	-
	Opbrengsten	€/melkkoe	-
2 Regulier + monovergisting	Investering	k€	405
	Opbrengsten	€/melkkoe	-2
3 Regulier + monovergisting + strippen	Investering	k€	x
	Opbrengsten	€/melkkoe	x
4.1 Regulier + verdunnen + strippen	Investering	k€	303
	Opbrengsten	€/melkkoe	-315
4.2 Regulier + verdunnen + strippen + monovergisten	Investering	k€	712
	Opbrengsten	€/melkkoe	-295
5 Dagontmesting	Investering	k€	34
	Opbrengsten	€/melkkoe	-13
6 Dagontmesting + monovergisting	Investering	k€	445
	Opbrengsten	€/melkkoe	57
7 Dagontmesting + monovergisting + strippen	Investering	k€	x
	Opbrengsten	€/melkkoe	x
8 Scheiding urine/feces	Investering	k€	40
	Opbrengsten	€/melkkoe	-15
9.1 Semi-dichte vloer + onderafzuiging	Investering	k€	300
	Opbrengsten	€/melkkoe	-225
9.2 Semi-dichte vloer + onderafzuiging monovergisting	Investering	k€	707
	Opbrengsten	€/melkkoe	-229

- Referentie

x Niet berekend



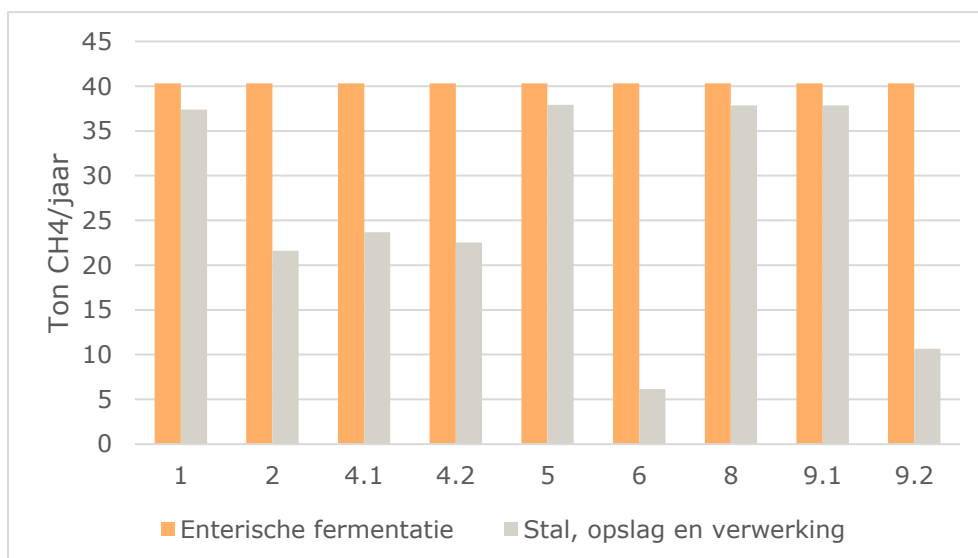
Figuur 6.5 Meerinvestering stalsystemen en mestbehandeling van extensieve bedrijven met 250 melkkoeien ten opzichte van reguliere stalsystemen zonder behandeling van mest.



Figuur 6.6 Opbrengsten minus kosten per melkoe van stalsystemen en mestbehandling 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 CH₄/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 60-75% 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, in hoofdstuk 7 discussie is hier gedetailleerder op ingegaan.

7 Discussie

7.1 Biogasopbrengst in relatie tot ouderdom mest

Hydrolyseconstante

De biogasopbrengst bij het vergisten van mest is afhankelijk van de afbraak van organische 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 (K_h) die ten behoeve van 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 literatuur vermeld. Het is echter mogelijk dat het gebruik van een gemiddelde waarde van de hydrolyseconstante 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 biogasopbrengsten bij vergisting van mest die extreem snel (enkele uren na uitscheiding) in het vergistingsproces kan worden ingevoegd, dient nader onderzoek plaats te vinden.

Methaanemissie uit mest in stal en opslag

Bij de berekening van de methaanemissie uit mest in opslag bij verschillende gemiddelde ouderdommen van de mest is er vanuit gegaan dat het deel van het biochemisch methaan potentieel (BMP) dat in de stal wordt gevormd, niet meer gewonnen kan worden tijdens het vergisten van de mest. Teneinde de methaanopbrengsten bij vergisting zo goed mogelijk te laten aansluiten bij de range van methaanopbrengsten uit rundveemest uit de literatuur (bijlage 8, tabel 3), is teruggerekend wat het maximale methaanpotentieel van de mest direct na uitscheiding zou moeten zijn.

De gehanteerde methode leidt tot goede overeenkomsten van de gemodelleerde biogasopbrengst bij vergisting met de biogasopbrengsten die in de praktijk worden gemeten. De gehanteerde uitgangspunten leiden echter ook tot een hogere methaanemissie in de stal dan de berekening van de methaanemissie met behulp van de schatters voor het biochemisch methaan potentieel (BMP) en de methaanconversiefactor (MCF) volgens Groenestein et al. (2016).

Bij een gemiddelde ouderdom van de mest van 90 dagen (0 tot 180 dagen opslag) komt volgens de modelberekening circa 35% van het maximale methaanpotentieel vrij in de stal. Groenestein et al. (2016) heeft op basis van diverse onderzoeken de MCF voor rundveemest voor de Nederlandse situatie ingeschat op 17%, met een minimum- en maximum waarde van 3-37%. Het aandeel van het BMP dat in de stal vrijkomt is in deze studie dus ruim tweemaal zo hoog als de methaanconversiefactor uit het onderzoek van Groenestein.

Wanneer in deze studie zou zijn uitgegaan van de berekening van de methaanemissie uit mest in stal en opslag op basis van de BMP en MCF waarden voor rundveemest van Groenestein et al., zou dat hebben geleid tot een zeer beperkte afname van de winbare hoeveelheid methaan bij vergisting bij toenemende ouderdom van de mest. Vergisting van mest van enkele maanden oud zou in dat geval aanzienlijk hogere biogasopbrengsten leveren dan in de praktijk wordt gevonden. Omdat de biogasopbrengst bij vergisting een sterk bepalende factor is in de exploitatie, is in deze studie gekozen voor uitgangspunten voor de modellering waarbij een goede overeenkomst wordt verkregen met de methaanopbrengsten bij vergisting in de praktijk.

Mogelijke verklaringen voor de discrepantie tussen de berekende methaanemissie uit de mest in de stal in deze studie en de berekende emissie op basis van de schatters van Groenestein et al. (2016), kunnen zijn:

- Emissie van vluchtige organische stoffen uit mest anders dan methaan. Bijvoorbeeld vluchtige vetzuren. De vluchtige organische stoffen die in de stal ontwijken zijn niet meer beschikbaar voor methaanproductie in een vergister.
- De vluchtige organische componenten (anders dan methaan) zijn reeds aanwezig bij uitscheiding van de mest, maar worden ook gevormd in de keten van (anaërobe) biochemische afbraakprocessen, waarbij uiteindelijk methaan wordt gevormd. Mogelijk spelen de condities in stal en mestkelder een rol in de verhoudingen waarin het eindproduct methaan en organische tussenproducten en CO₂ worden gevormd.

Bovenstaande processen zijn in deze studie niet in het model verwerkt. Om die reden is de berekende methaanemissie uit mest in de stal in deze studie mogelijk te hoog. Anderzijds is het mogelijk dat de schatters voor de BMP en MCF waarden te laag zijn (Groenestein et al. 2016). Het betreffen schatters die zijn gebaseerd op de metingen van methaanemissies uit met name buiten opslagen. Wanneer de gemiddelde ouderdom van de mest in de buiten opslagen hoger ligt dan de gemiddelde ouderdom van de mest in de stal (en opslagkelder) zou dat aanleiding kunnen zijn voor een onderschatting van de MCF waarde.

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 exploitatie¹ intensief bedrijf en toepassing dagontmesting en monovergisting rondom de gemiddelde bedrijfsgrootte in Nederland bij gereduceerde investeringsbedragen.

Investeringsbedrag		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 prijsafpraak 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 exploitatie¹ 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 (NH₃) en broeikasgasemissies (CH₄ en N₂O) 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 CH₄ en CO₂ 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 CH₄-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 CH₄-verlies uit vergistingsinstallaties, waarbij waarden van 1-15% CH₄-verlies voorkomen. Per vergistingsinstallatie, unit voor het opwaarderen van biogas en/of WKK-installatie zal moeten worden gekeken of de gebruikte waarden 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 NH₃- en N₂O-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 verschillen 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. De resultaten van BBPR geven in de twee gekozen bedrijfssystemen een relatief hoog eiwitgehalte in het rantsoen, waardoor het stikstofgehalte in de mest ook hoger uitvalt. Dit speelt samen met andere factoren (bijvoorbeeld weidegang, melkproductie, grondsoort) een rol bij de hoeveelheid ammoniak- en broeikasgasemissie die vrijkomt op een bedrijf. In het referentiescenario is de berekende ammoniakemissie per dierplaats per jaar 16 kg NH₃ voor een intensief bedrijf en 15,1 kg NH₃ /dierplaats/jaar voor een extensief bedrijf terwijl voor de categorie overige stalsystemen een emissiefactor van 13 kg NH₃/dierplaats/jaar is opgenomen. De gekozen uitgangspunten leiden dus tot een bovengemiddelde ammoniak emissie. 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 NH₃/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 NH₃/dierplaats/jaar. Dit is te verklaren door het feit dat ammoniakemissie (als percentage van TAN) niet alleen wordt bepaald door het type huisvestingssysteem, maar ook 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 4 'Regulier + verdunnen + strippen' en 9 'Semi-dichte vloer + onder afzuiging' (met en zonder monovergisten) is gebruikt gemaakt van respectievelijk de eerste berekende emissiefactor en de vastgestelde 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 CO₂ 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. Fuglestedt, 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 ontziltling, 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 uitgangspunten samengevat. Uitgangspunten gelden voor zowel de intensieve als extensieve bedrijfssystemen⁴.

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

Enterische fermentatie	
<i>Emissies CH₄</i>	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
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 3.3% van TAN	Van Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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
<i>Emissies drijfmest, digestaat, dunne fracties</i>	
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 ₂ O-N = 0.9% van N-totaal	Van Bruggen et al., 2021
<i>Emissies N-concentraat</i>	
NH ₃ -N = 1.5% van TAN	Van Bruggen et al., 2021
N ₂ O-N = 1.3% van N-totaal	Van Bruggen et al., 2021

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

Mest in stal & opslag melkvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 90 dagen	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 11%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 11.7% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019

⁴ Emissiefactoren NH₃ uit Van Bruggen et. al (2021) zijn omgerekend naar NH₃-N door vermenigvuldiging van 14/17

Mest in stal & opslag jongvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 90 dagen	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 11%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 90 dagen	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 12%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 0.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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-NH ₄ = 6%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 11.7% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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-NH ₄ = 2%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 90 dagen	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 2%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 0.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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-NH ₄ = 6%	
<i>Emissies</i>	
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 ₂ O-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%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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-NH ₄ = 1%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 1.6% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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-NH ₄ = 3%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 0.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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-NH ₄ = 6%	
<i>Emissies</i>	
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 ₂ O-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-NH ₄ = 2%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Digestaat in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 53 dagen	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 2%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 0.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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-NH ₄ = 0.2%	
<i>Emissies</i>	
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 ₂ O-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%	
<i>Emissies</i>	

NH ₃ -N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 90 dagen	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 11%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 0.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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-NH ₄ = 0.2%	
<i>Emissies</i>	
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 ₂ O-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-NH ₄ = 2%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Mest in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 90 dagen	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 3%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 0.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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-NH ₄ = 0.2%	
<i>Emissies</i>	
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 ₂ O-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%	
<i>Emissies</i>	
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 ₂ O-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%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 1.6% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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%	
<i>Emissies</i>	
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 ₂ O-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%	
<i>Emissies</i>	
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 ₂ O-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%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 1.6% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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%	
<i>Emissies</i>	
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 ₂ O-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%	
<i>Emissies</i>	
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 ₂ O-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-NH ₄ = 2%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 11.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-N = 0.2% van N-totaal	Bruggen et al., 2019
Digestaat in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 90 dagen	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 3%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 0.8% van TAN	Bruggen et al., 2019
N ₂ O-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 ₂ O ₅	P ₂ O ₅ (g/kg)	kg K ₂ O	K ₂ O (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

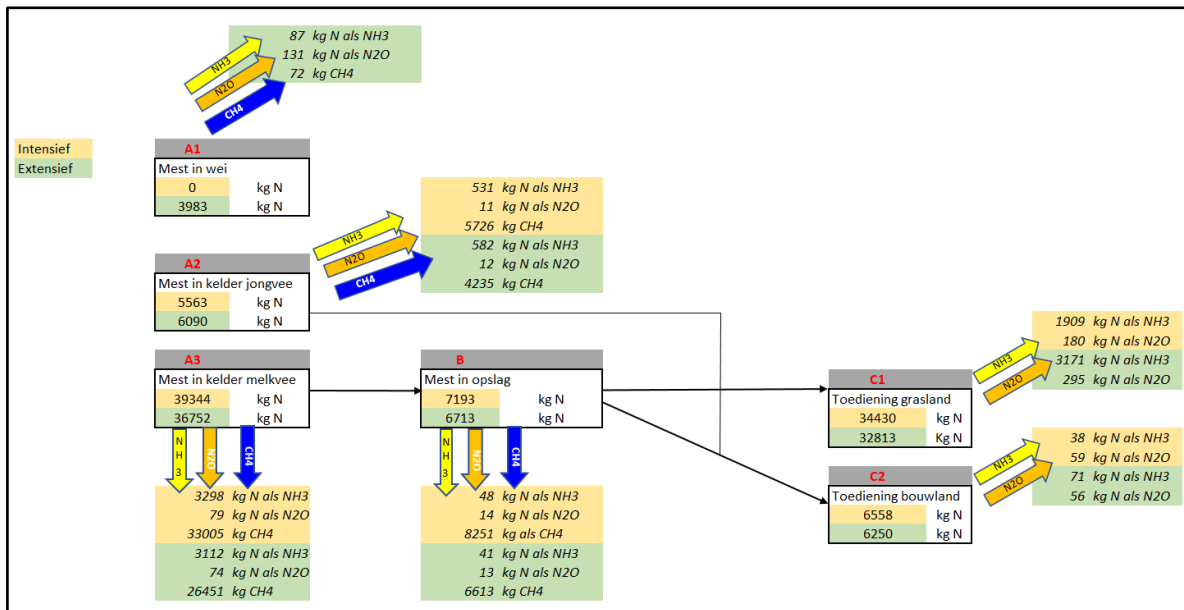
Tabel B2.3 *Uitgangpunten en kengetallen BBPR voor extensief bedrijfssysteem*

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

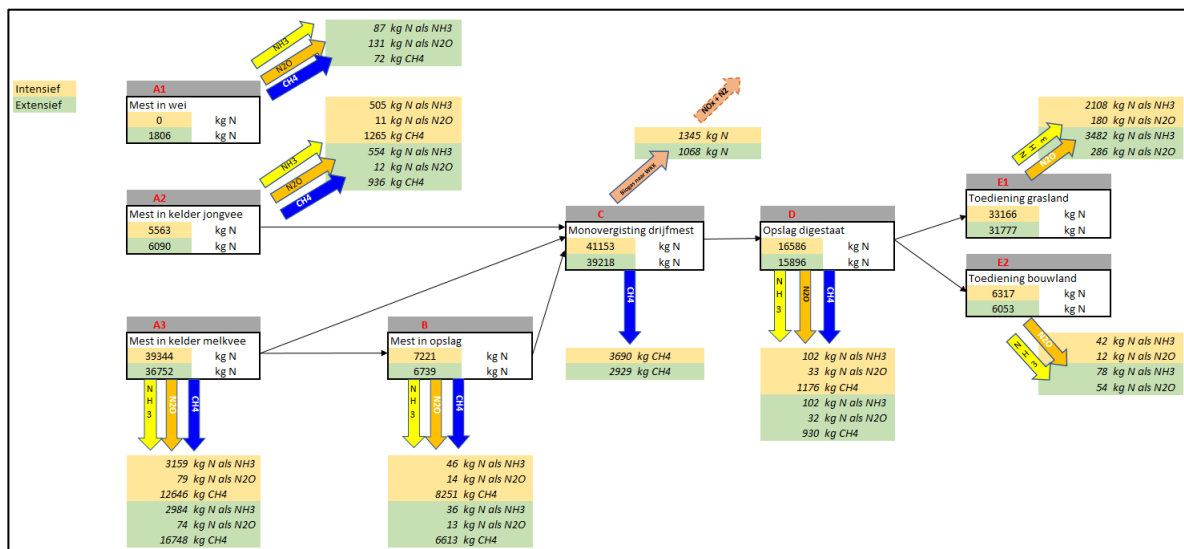
Tabel B2.4 *Mest- en mineralenproductie in de stal uit BBPR voor extensief bedrijfssysteem*

	Ton	kg OS	OS (g/kg)	kg N	N (g/kg)	kg P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ (g/kg)	kg K ₂ O	K ₂ O (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	

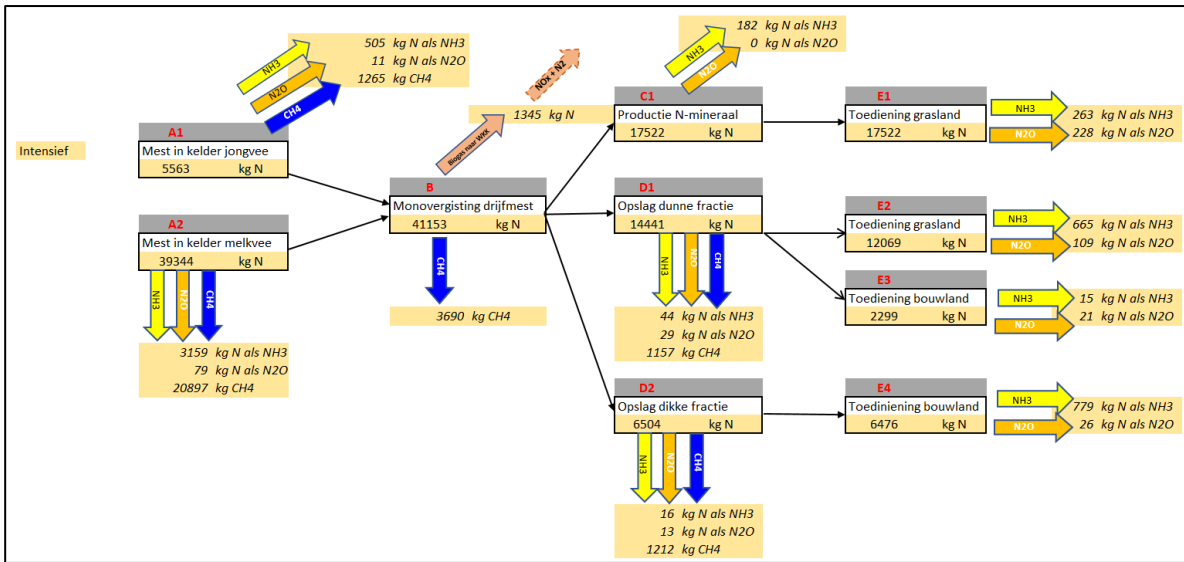
Bijlage 3 Stroomschema's emissieberekeningen



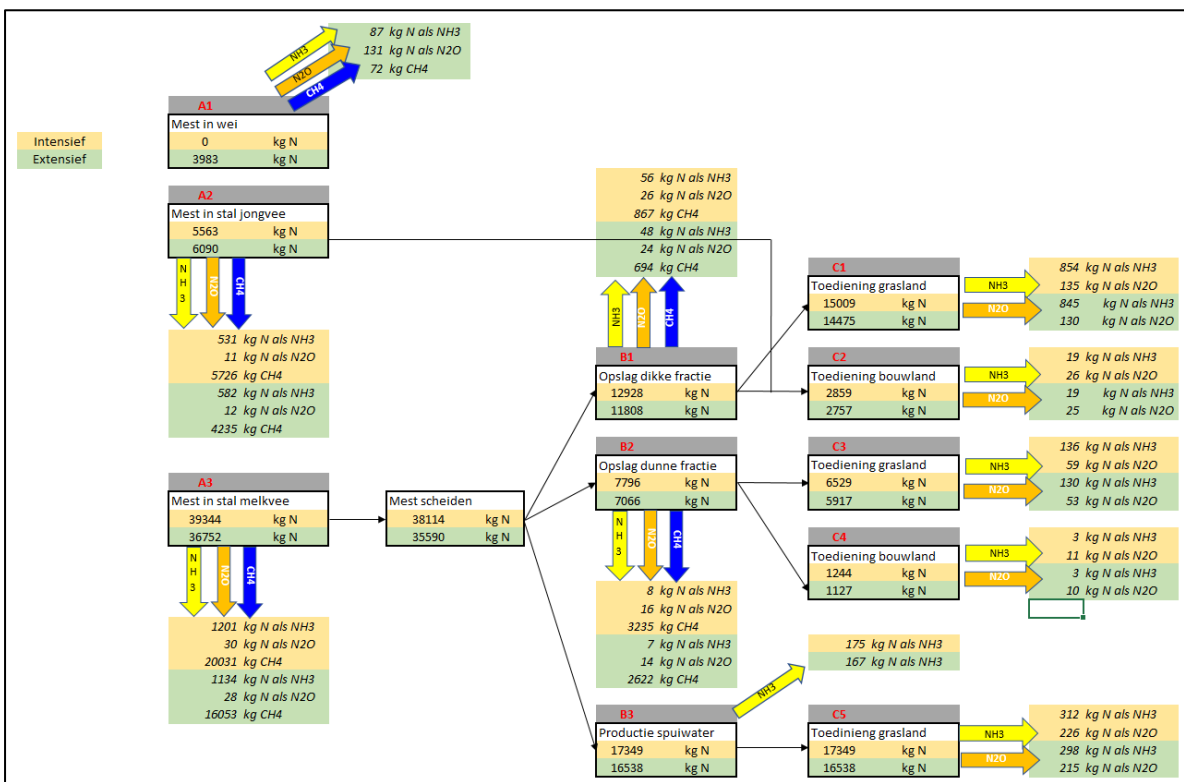
Figuur B3.1 Scenario 1: Regulier geen vergisting



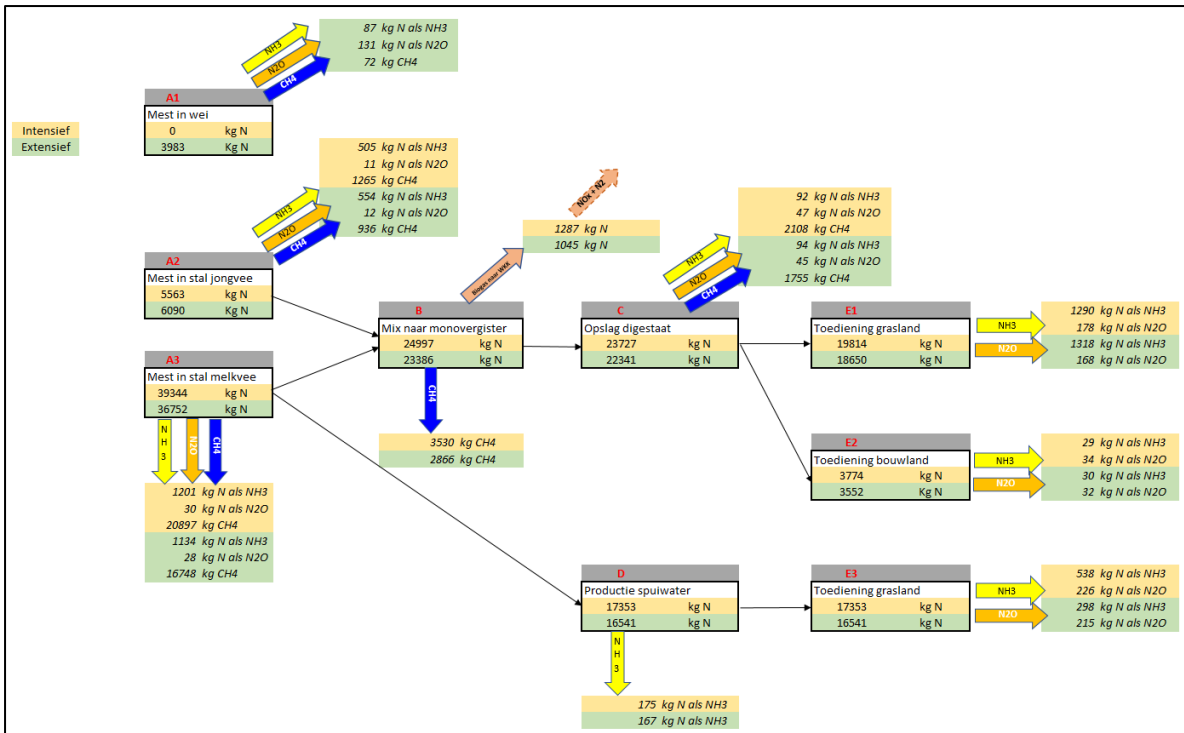
Figuur B3.2 Scenario 2: Regulier + monovergisting



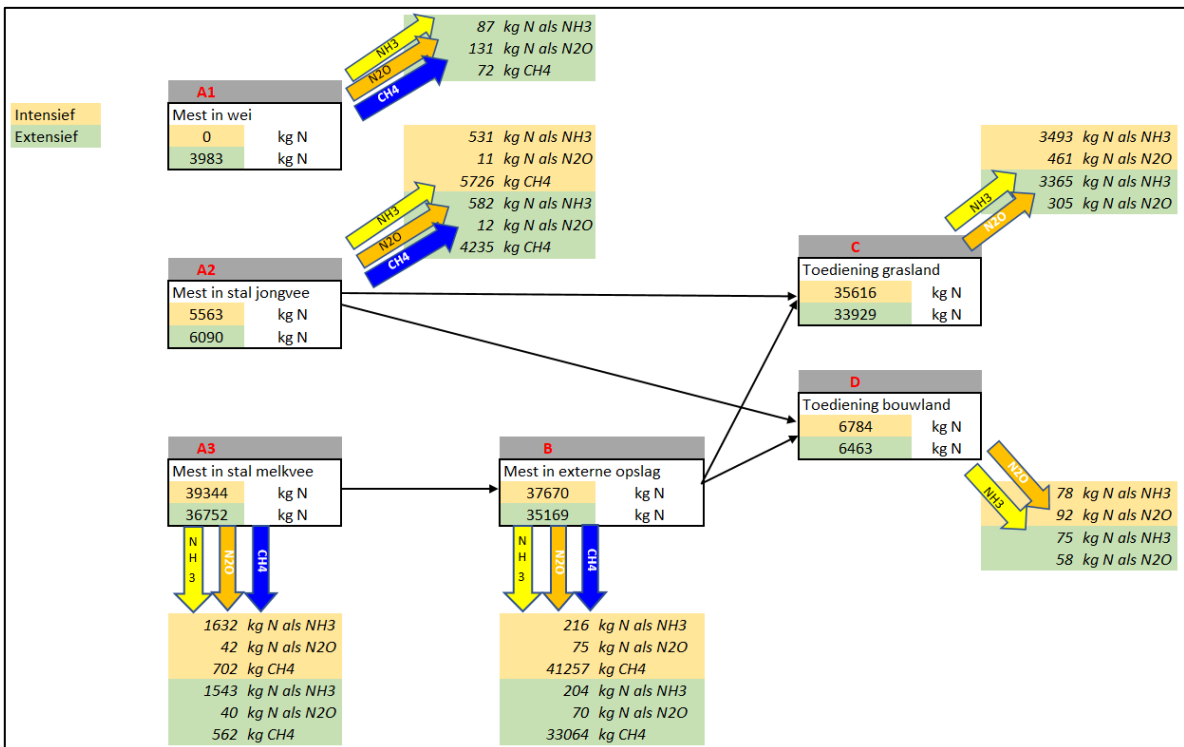
Figuur B3.3 Scenario 3: Regulier + monovergisten + strippen



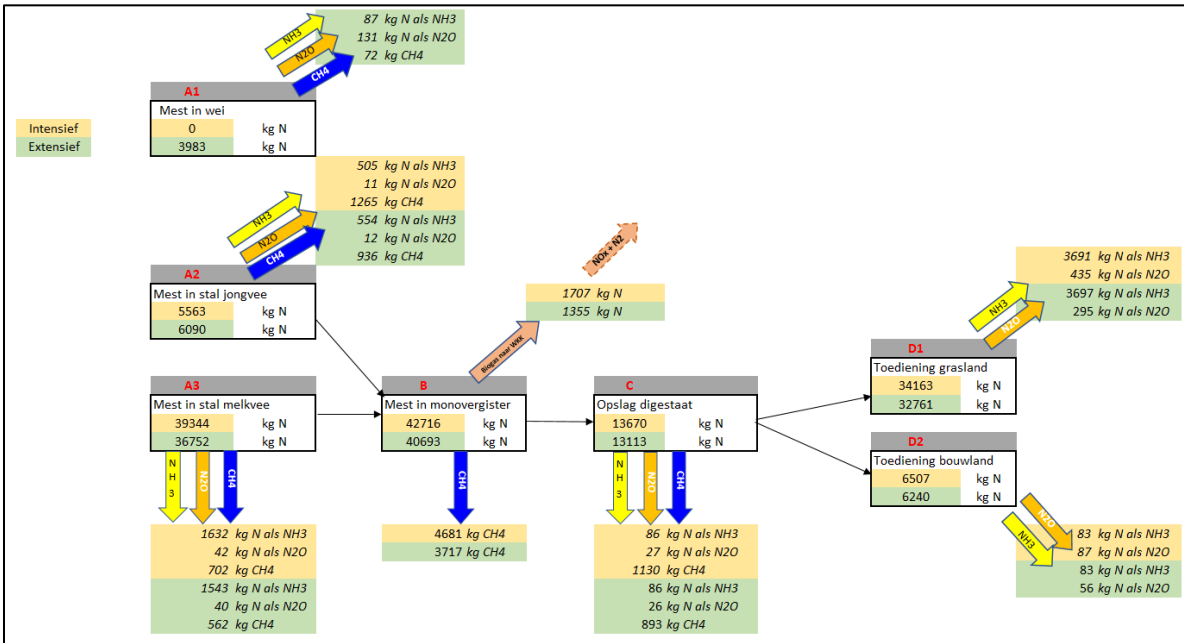
Figuur B3.4 Scenario 4.1: Regulier + verdunnen + strippen



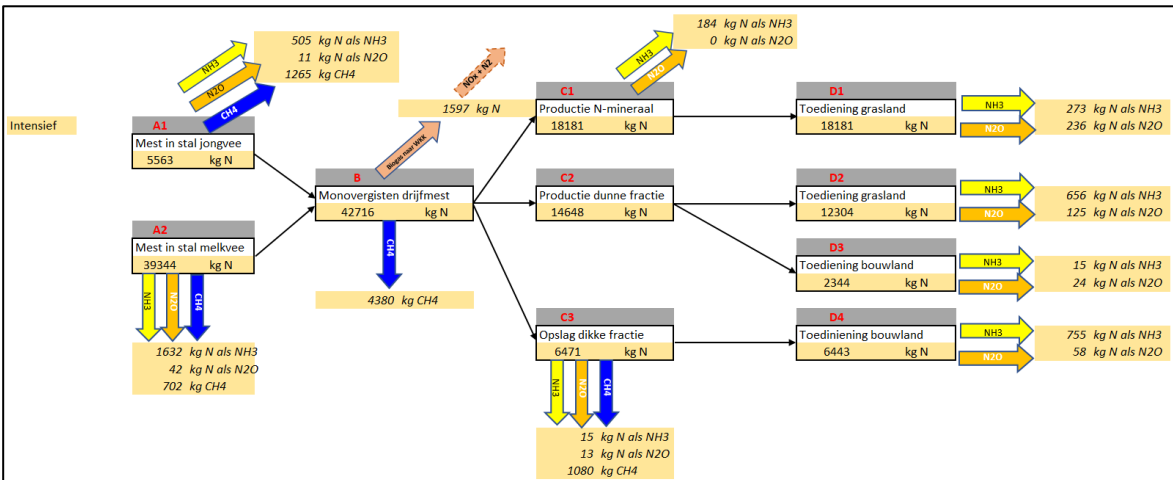
Figuur B3.5 Scenario 4.2: Regular + verdunnen + monovergisten + strippen



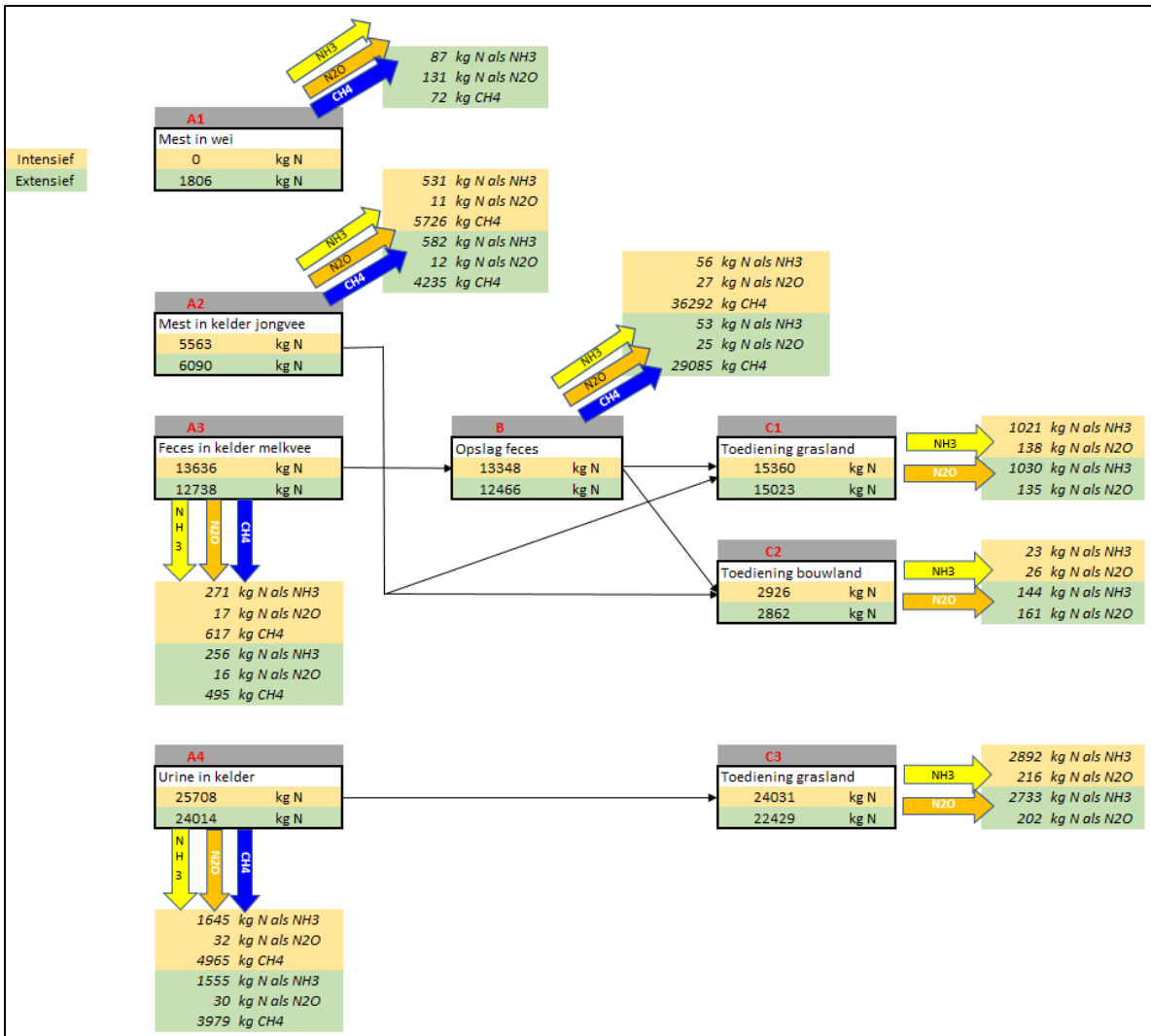
Figuur B3.6 Scenario 5: Dagontmesting geen vergisting



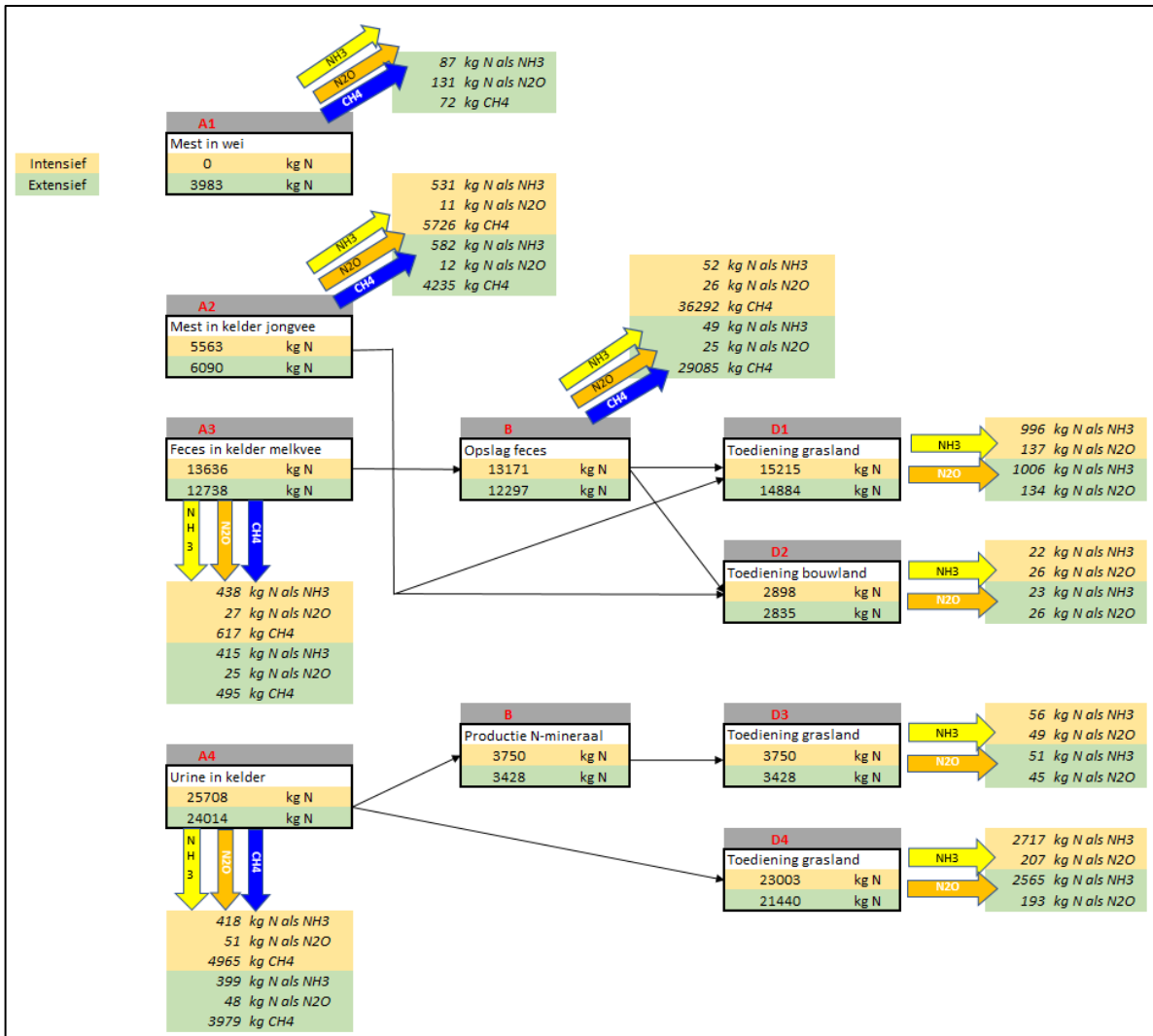
Figuur B3.7 Scenario 6: Dagontmesting + monovergisting



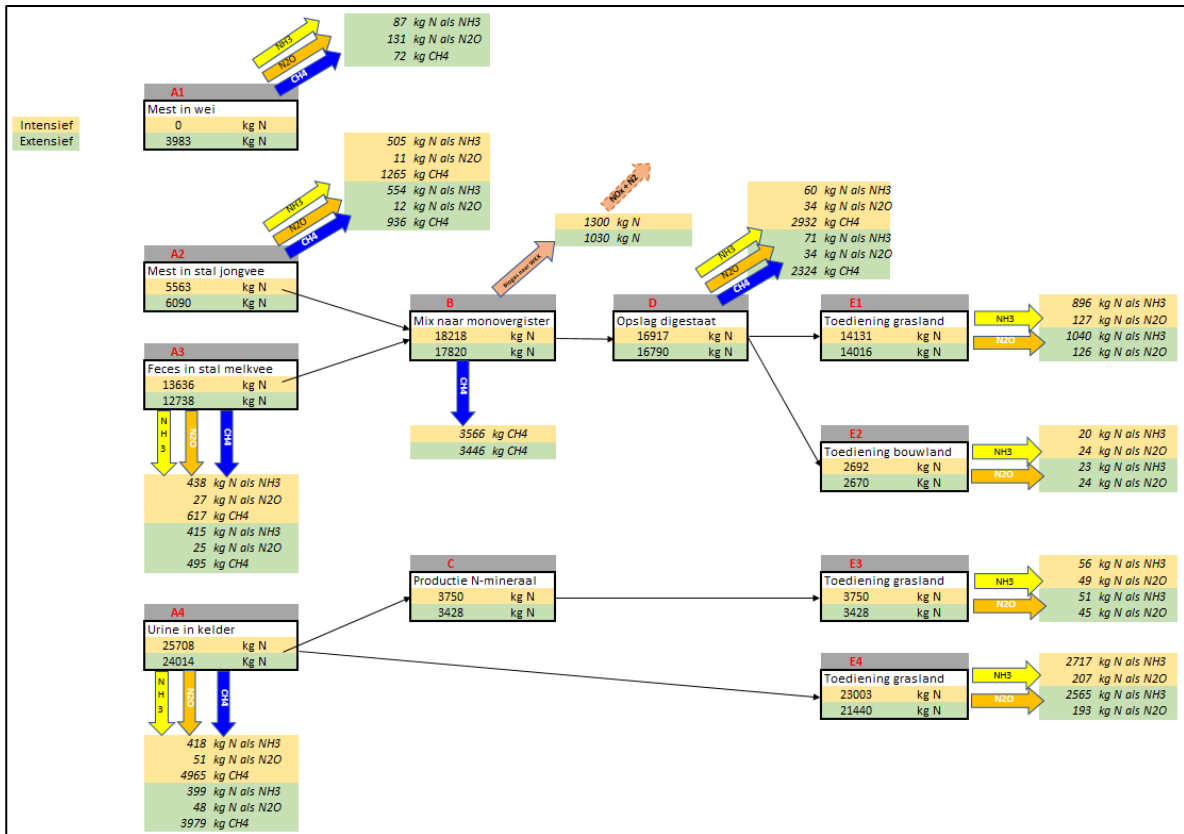
Figuur B3.8 Scenario 7: Dagontmesting + monovergisting + strippen



Figuur B3.9 Scenario 8: Scheiden urine en feces



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



Figuur B3.11 Scenario 9.2: Semi-dichte vloer + onder afzuiging + 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	38,7	8,3			47,0
2	40,3	22,2		3,7	1,2	27,0
3	40,3	22,2		3,7	2,4	28,2
4.1	40,3	25,8	4,1			29,9
4.2	40,3	22,2		3,7	2,2	28,1
5	40,3	6,4	41,3			47,7
6	40,3	2,0		4,6	1,1	7,7
7	40,3	2,0		4,6	1,1	7,7
8	40,3	11,3	36,3			47,6
9.1	40,3	11,3	36,3			47,6
9.2	40,3	6,8		3,7	2,8	13,4

Tabel B4.2 Lachgasemissies voor intensieve bedrijfssystemen (ton N₂O/jaar)

Scenario	Stal	Opslag op bedrijf	Opslag na bewerking	Aanwending	Totaal
1	0,14	0,02		0,62	0,79
2	0,14		0,05	0,53	0,72
3	0,14		0,07	0,62	0,83
4.1	0,06	0,07		0,72	0,85
4.2	0,06		0,07	0,70	0,84
5	0,08	0,12		0,87	1,07
6	0,08		0,04	0,82	0,95
7	0,08		0,02	0,73	0,83
8	0,09	0,04		0,60	0,73
9.1	0,14	0,04		0,63	0,81
9.2	0,14		0,05	0,61	0,80

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	30,7	0,1	6,6			37,4
2	40,3	17,7	0,1		2,9	0,9	21,6
4.1	40,3	20,3	0,1	3,3			23,7
4.2	40,3	17,7	0,1		3,0	1,8	22,5
4	40,3	4,8	0,1	33,1			37,9
5	40,3	1,5	0,1		3,7	0,9	6,2
6	40,3	8,7	0,1	29,1			37,9
9.1	40,3	8,7	0,1	29,1			37,9
9.2	40,3	5,4	0,1		2,9	2,3	10,7

Tabel B4.4 Lachgasemissies voor intensieve bedrijfssystemen (ton N₂O/jaar)

Scenario	Stal	Wei	Opslag op bedrijf	Opslag centrale verwerking	Aanwending	Totaal
1	0,13	0,23	0,02		0,55	0,9
2	0,13	0,23	0,02	0,05	0,54	0,9
4.1	0,06	0,23	0,06		0,68	1,0
4.2	0,06	0,23		0,07	0,67	1,0
4	0,08	0,23	0,11		0,57	1,0
5	0,08	0,23		0,04	0,55	0,9
6	0,09	0,23	0,04		0,78	1,1
9.1	0,13	0,23	0,04		0,60	1,0
9.2	0,13	0,23		0,05	0,58	1,0

Bijlage 5 Processchema's mestverwerkingsroutes en massabalansen

Scenario 1: Regulier
 Input vergister: Nvt
 Bedrijfs grootte: 250 melkkoeien

Intensief bedrijf

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:

Stof	Eenheid	In		Uit		Bewerking	Aanwending	
		Excretie Stal	Weide	Mest uit stal Drijfmest	Emissie		Bodem	Emissie
Stikstof N	ton/jaar	44,9		41,0	3,9		37,2	3,8
Fosfaat P ₂ O ₅	ton/jaar	14,9		14,9	0,0		14,9	0,0

Scenario 1:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Regulier
 Nvt
 250 melkkoeien

Extensief bedrijf

Processchema:



Drijfmest		g/kg
Drogestof	DS	75,0
Org. Stof	OS	55,0
Stikstof	N	4,8
Ammonium	N	2,7
Fosfaat	P2O5	1,8
Kalium	K2O	5,4

Massabalans:

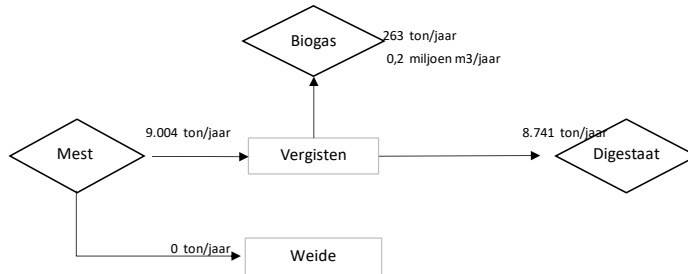
Stof	Eenheid	In		Uit			Aanwending		
		Excretie		Mest uit stal	Bewerking		Emissie	Bodem	Emissie
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie	Digestaat			
Stikstof N	ton/jaar	42,8	4,0	39,8	3,0	38,5	1,4	34,9	3,6
Fosfaat P ₂ O ₅	ton/jaar	14,6	1,4	14,6	0,0	14,6	0,0	14,6	0,0

Scenario 2:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Regulier + monovergisting
 Mest van melkveestal en jongveestal
 250 melkkoeien

Intensief bedrijf

Processchema:



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

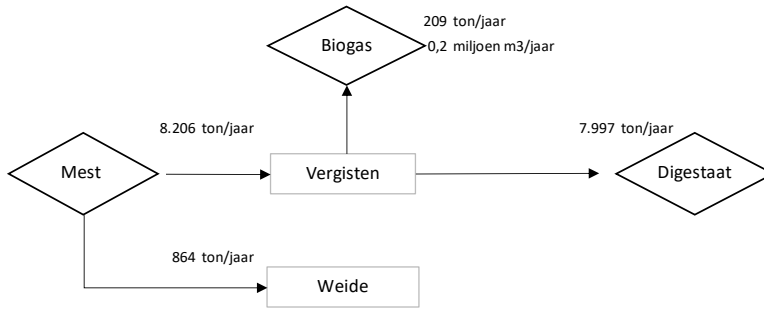
Massabalans:

Onderwerp	Eenheid	IN		UIT		Bewerking	Digestaat	Emissie	Aanwending	
		Excretie	Weide	Mest uit stal en opslag	Drijfmest				Emissie	Bodem
Stikstof	ton N/jaar	44,9		41,2	3,8	39,5		1,7	35,6	3,9
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,9		14,9	0,0	14,9		0,0	14,9	0,0

Scenario 2:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Regulier + monovergisting
 Mest van melkveestal en jongveestal
 250 melkkoeien

Extensief bedrijf



Digestaat		g/kg
Drogestof	DS	54,4
Org. Stof	OS	33,9
Stikstof	N	4,6
Ammonium	N	3,0
Fosfaat	P2O5	1,8
Kalium	K2O	5,5

Massabalans:

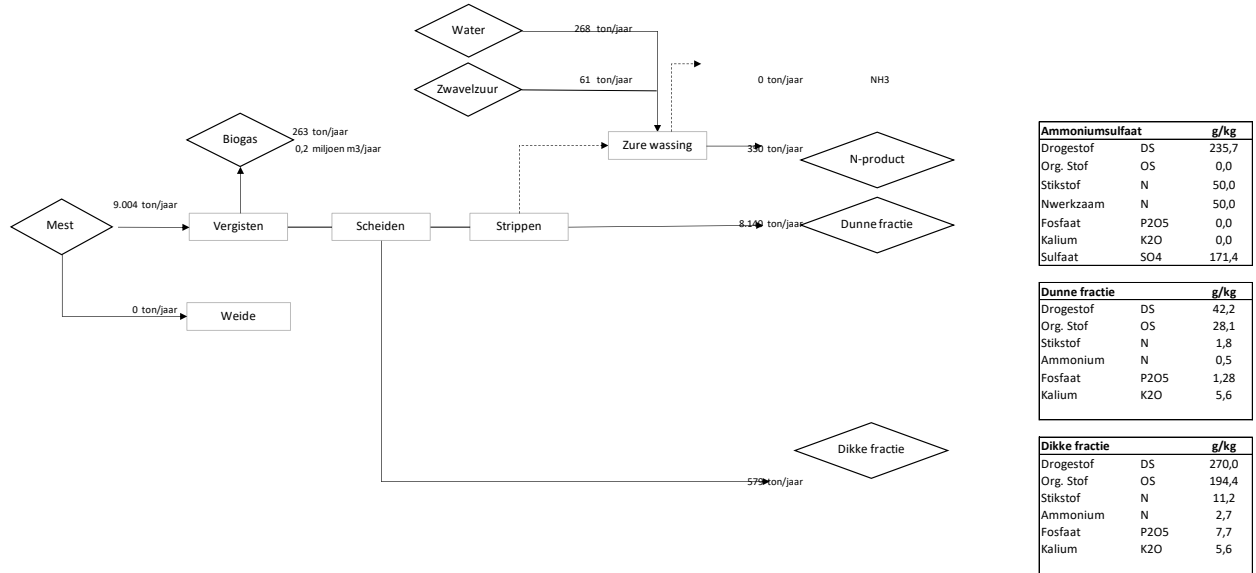
		IN				UIT					
Onderwerp	Eenheid	Excretie		Mest uit stal en opslag		Bewerking				Aanwending	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie	Digestaat			Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof	ton N/jaar	42,8	4,0	39,2	3,6	37,8			1,4	33,7	4,1
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,6	1,4	14,6	0,0	14,6			0,0	14,6	0,0

Scenario 3:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Regulier + monovergisting + strippen
 Mest van melkveestal en jongveestal
 250 melkkoeien

Intensief bedrijf

Processchema:



Massabalans:

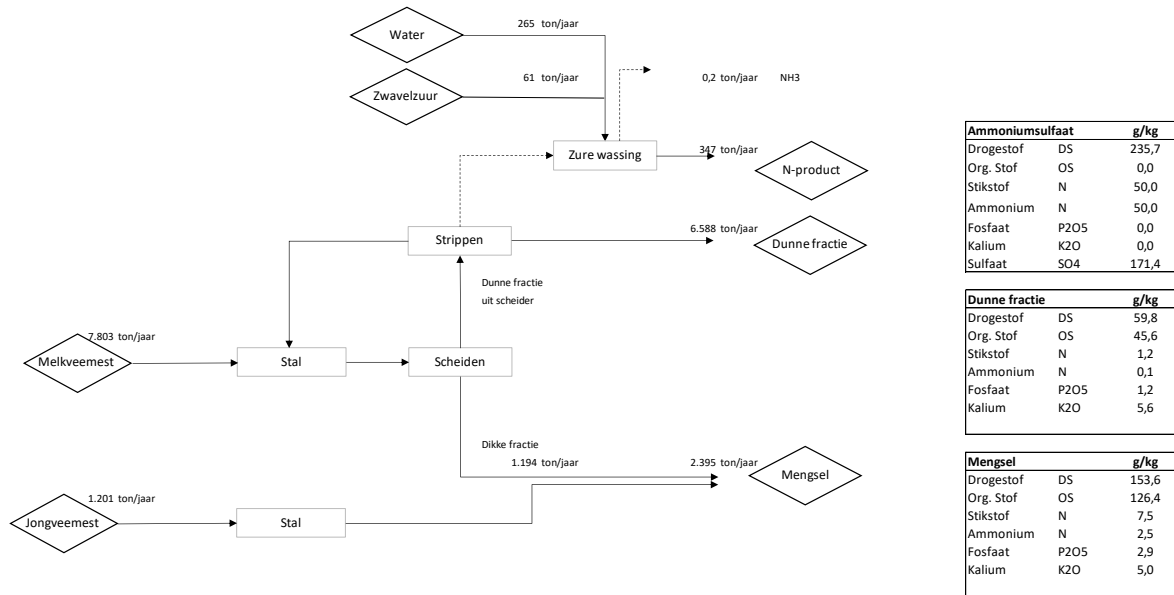
		IN		UIT							
Onderwerp	Eenheid	Excretie		Mest uit stal en opslag		Bewerking				Aanwending	
				Drijfmest	Emissie	Dunne fractie	Dikke fractie	Ammonium sulfaat	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof	ton N/jaar	44,9		41,8	3,1	14,8	6,7	18,1	2,3	37,3	2,2
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,9		14,9	0,0	10,4	4,5	0,0	0,0	14,9	0,0

Scenario 4.1:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Regulier + verdunnen + strippen
 Nvt
 250 melkkoeien

Intensief bedrijf

Processchema:



Massabalans:

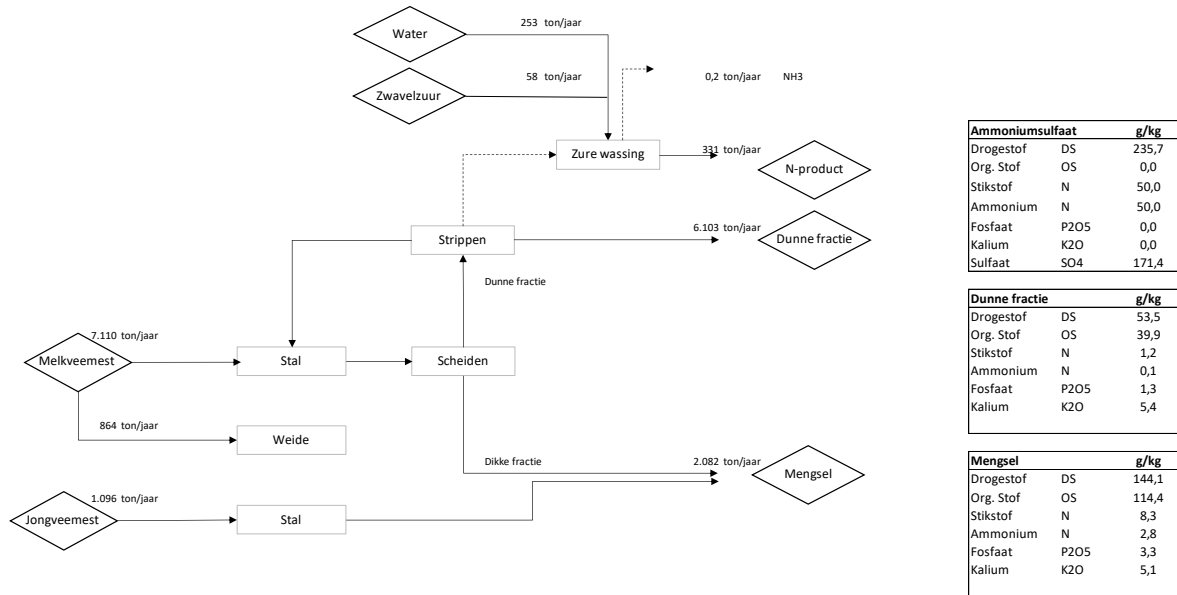
		IN		UIT							
Onderwerp	Eenheid	Excretie		Mest uit stal en opslag		Bewerking				Aanwending	
				Drijfmest	Emissie	Dunne fractie	Mengsel	Ammonium sulfaat	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof	ton N/jaar	44,9		43,1	1,8	7,8	17,9	17,3	0,1	41,2	1,8
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,9		14,9	0,0	8,0	7,1	0,0	0,0	14,9	0,0

Scenario 4.1:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Regulier + verdunnen + strippen
 Nvt
 250 melkkoeien

Extensief bedrijf

Processchema:



Massabalans:

Onderwerp	Eenheid	IN		UIT					Aanwending		
		Excretie		Mest uit stal en opslag		Bewerking			Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof	ton N/jaar	42,8	4,0	41,1	1,8	7,0	17,2	16,5	0,3	38,9	1,9
Fosfaat	ton P2O5/jaar	14,6	1,4	14,6	0,0	6,8	7,7	0,0	0,0	14,6	0,0

Scenario 4.2:

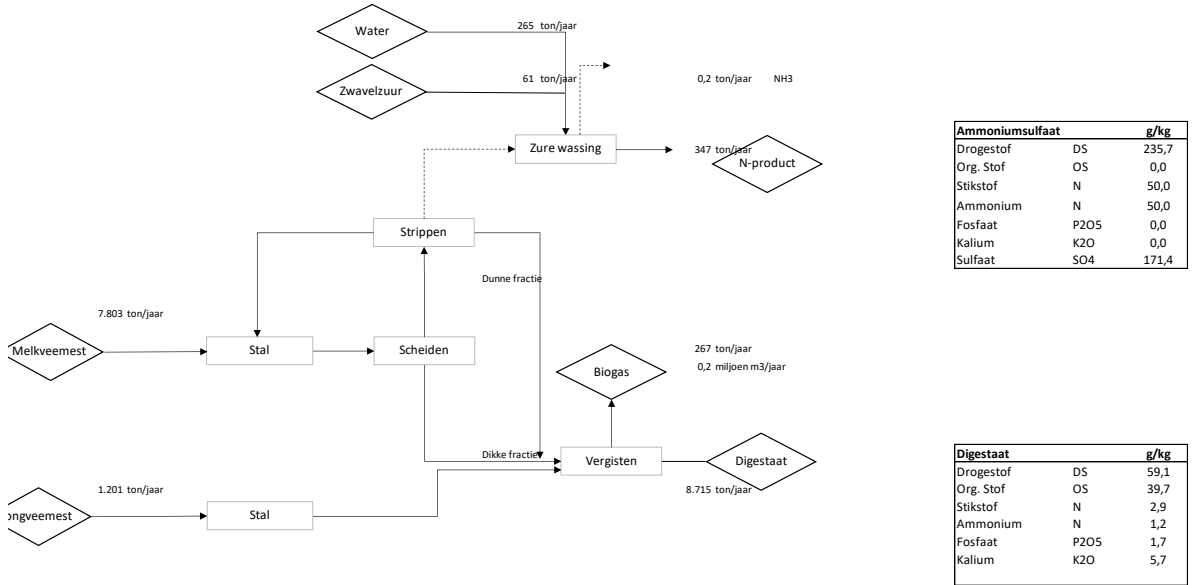
Regulier + verdunnen + strippen + vergisten

Intensief bedrijf

Input vergister:
Bedrijfs grootte:

Mengsel jongveemest + dikke en dunne fractie melkveemest
250 melkkoeien

Processchema:



Massabalans:

		IN				UIT					
Onderwerp	Eenheid	Excretie		Mest uit stal en opslag		Bewerking				Aanwending	
				Drijfmest	Emissie	Digestaat		Ammonium sulfaat	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof	ton N/jaar	44,9		43,2	1,7	24,3		17,4	1,5	39,5	2,1
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,9		14,9	0,0	15,0		0,0	0,0	15,0	0,0

Scenario 4.2:

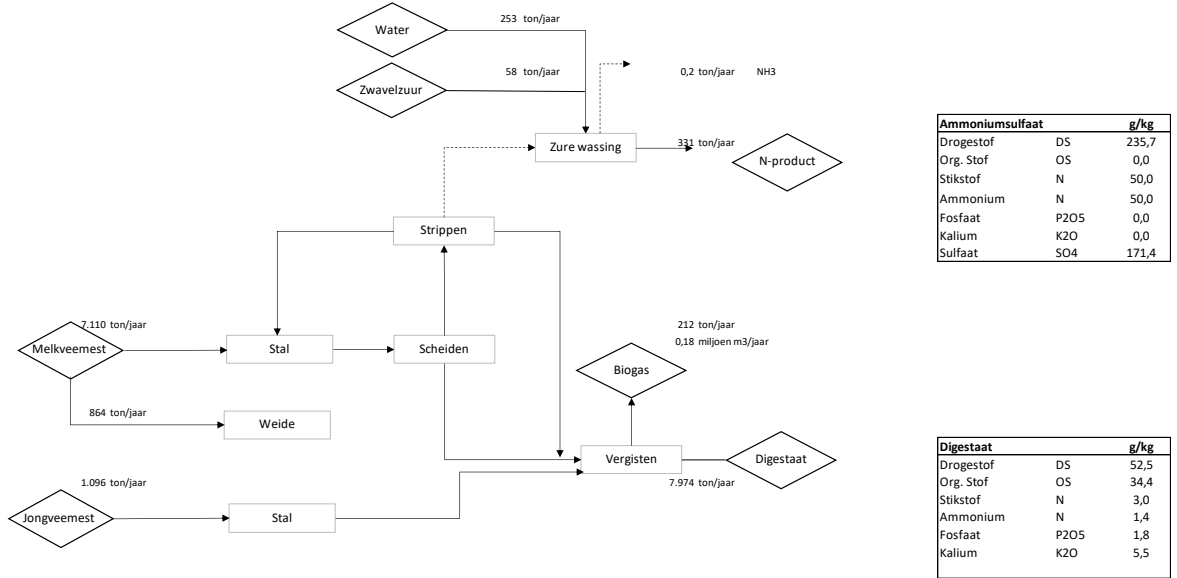
Regulier + verdunnen + strippen + vergisten

Extensief bedrijf

Input vergister:
Bedrijfs grootte:

Mengsel jongveemest + dikke en dunne fractie melkveemest
250 melkkoeien

Processchema:



Massabalans:

		IN		UIT							
Onderwerp	Eenheid	Excretie		Mest uit stal en opslag		Bewerking				Aanwending	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie	Digestaat		Ammonium sulfaat	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof	ton N/jaar	42,8	4,0	41,1	1,8	23,2		16,5	1,4	37,4	2,3
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,6	1,4	14,6	0,0	14,6		0,0	0,0	14,6	0,0

Scenario 5:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Dagontmesting, geen verwerking
 Nvt
 250 melkkoeien

Intensief bedrijf

Processchema:



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

Massabalans:

		IN		UIT					
Onderwerp	Eenheid	Excretie		Mest uit stal en opslag		Bewerking		Aanwending	
				Drijfmest	Emissie			Bodem	Emissie
Stikstof	ton N/jaar	44,9		42,4	2,5			38,3	4,1
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,9		14,9	0,0			14,9	0,0

Scenario 5:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Dagontmesting, geen verwerking
 Nvt
 250 melkkoeien

Extensief bedrijf

Processchema:



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

Massabalans:

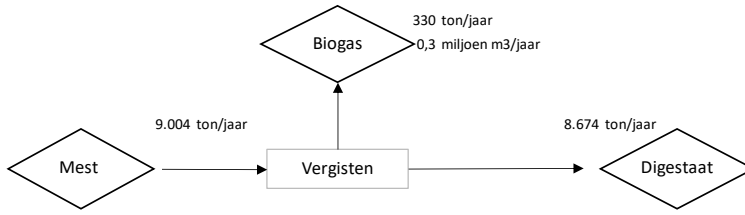
		IN		UIT							
Onderwerp	Eenheid	Excretie		Mest uit stal en opslag		Bewerking				Aanwending	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie					Bodem	Emissie
Stikstof	ton N/jaar	42,8	4,0	40,4	2,5					36,4	4,0
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,6	1,4	14,6	0,0					14,6	0,0

Scenario 6:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Dagontmesting+vergisten
 Mengel mest jongvee en melkkoeien
 250 melkkoeien

Intensief bedrijf

Processchema:



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

Massabalans:

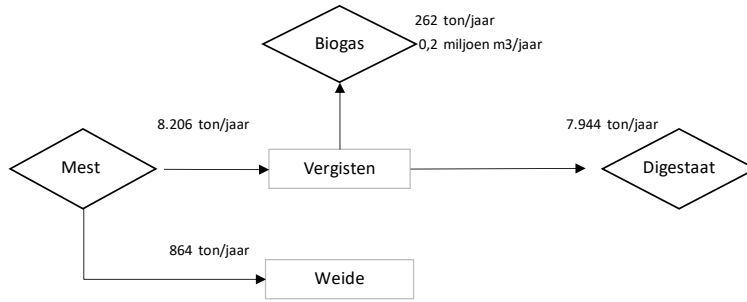
		IN		UIT							
Onderwerp	Eenheid	Excretie		Mest uit stal en opslag		Bewerking				Aanwending	
				Drijfmest	Emissie	Digestaat			Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof	ton N/jaar	44,9		42,7	2,2	40,7			2,0	36,4	4,3
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,9		14,9	0,0	14,9			0,0	14,9	0,0

Scenario 6:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Dagontmesting+vergisten
 Mengel mest jongvee en melkkoeien
 250 melkkoeien

Extensief bedrijf

Processchema:



Digestaat		g/kg
Drogestof	DS	51,1
Org. Stof	OS	30,4
Stikstof	N	4,7
Ammonium	N	3,1
Fosfaat	P2O5	1,8
Kalium	K2O	5,6

Massabalans:

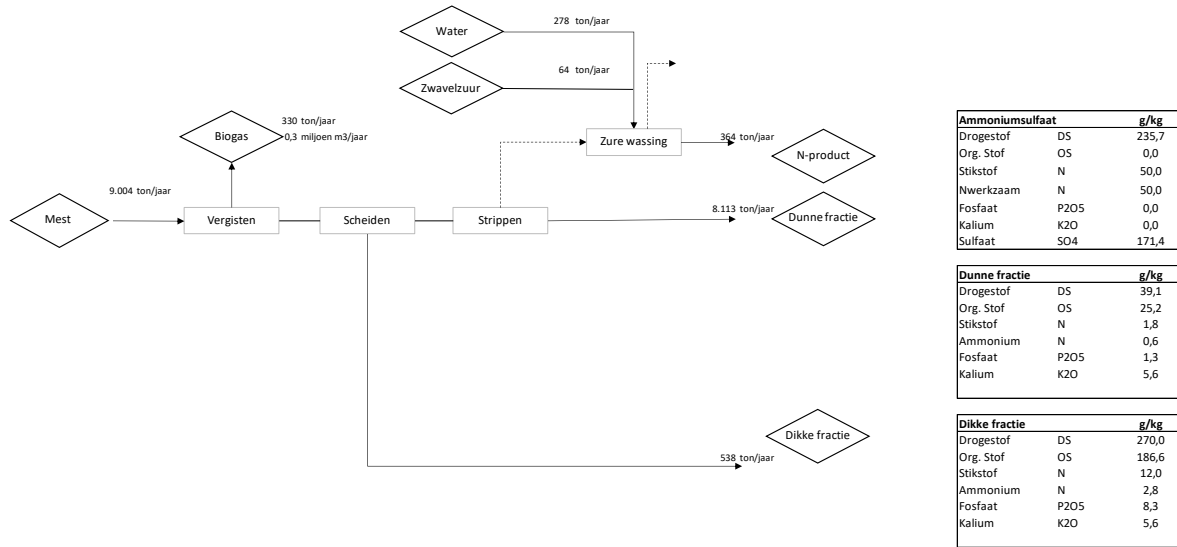
		IN		UIT							
Onderwerp	Eenheid	Excretie		Mest uit stal en opslag		Bewerking				Aanwending	
		Stal	Weide	Drijfmest	Emissie	Digestaat			Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof	ton N/jaar	42,8	4,0	40,4	2,5	39,0			1,4	34,7	4,3
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,6	1,4	14,6	0,0	14,6			0,0	14,6	0,0

Scenario 7:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Dagontmesting+vergisten+strippen
 Mengel mest jongvee en melkkoeien
 250 melkkoeien

Intensief bedrijf

Processchema:



Massabalans mestbehandeling:

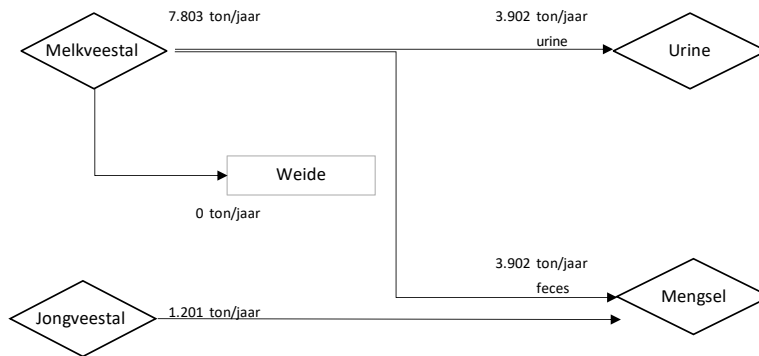
		IN			UIT						
Onderwerp	Eenheid	Excretie		Mest uit stal en opslag		Bewerking				Aanwending	
				Drijfmest	Emissie	Dunne fractie	Dikke fractie	Ammonium sulfaat	Emissie	Bodem	Emissie
Stikstof	ton N/jaar	44,9		42,7	2,2	15,2	6,6	18,5	2,4	38,0	2,2
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,9		14,9	0,0	10,4	4,5	0,0	0,0	14,9	0,0

Scenario 8:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Scheiding urine/feces
 Nvt
 250 melkkoeien

Intensief bedrijf

Processchema:



Urine		g/kg
Drogestof	DS	46,6
Org. Stof	OS	26,6
Stikstof	N	6,2
Ammonium	N	4,4
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:

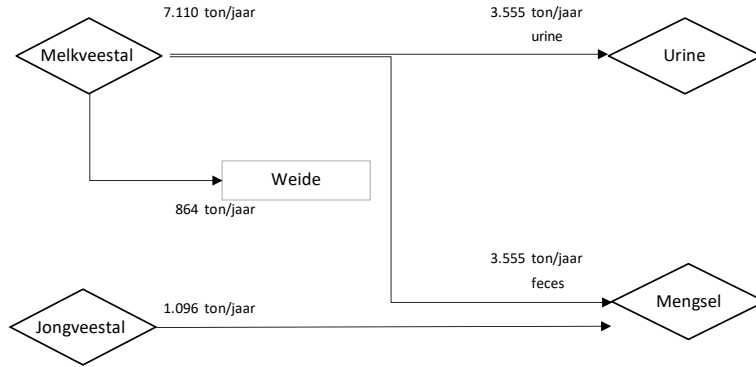
Onderwerp	Eenheid	IN		UIT		Bewerking			Aanwending	
		Excretie		Mest uit stal en opslag	Emissie					
Stikstof	ton N/jaar	44,9		42,3	2,6				38,0	4,3
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,9		14,9	0,0				14,9	0,0

Scenario 8:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Scheiding urine/feces
 Nvt
 250 melkkoeien

Extensief bedrijf

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:

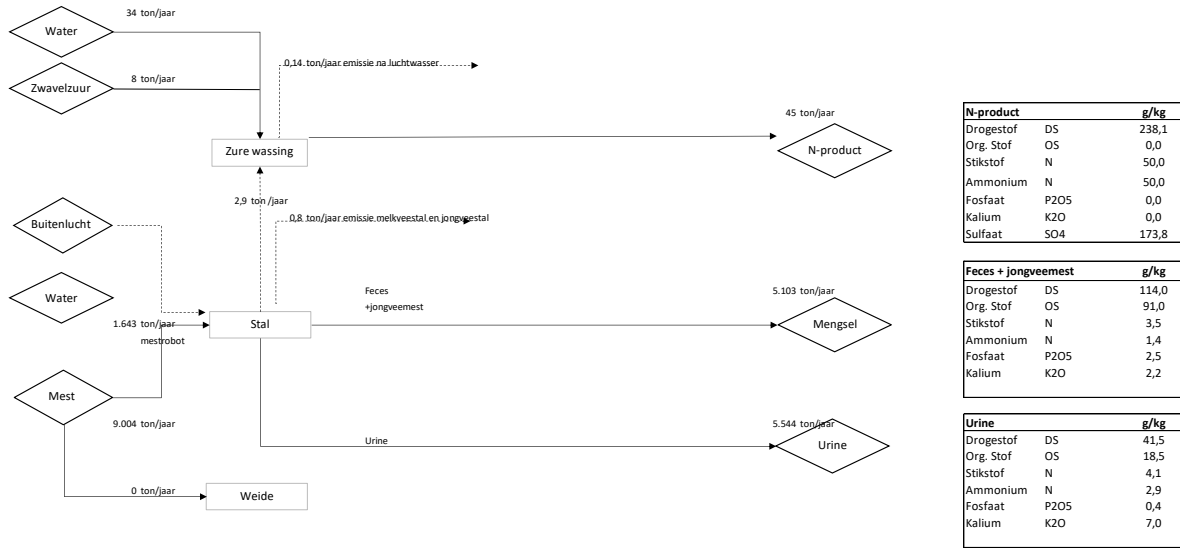
Onderwerp	Eenheid	IN		UIT		Bewerking				Aanwending	
		Excretie		Mest uit stal en opslag							
		Stal	Weide	Feces, urine, jongveemest	Emissie					Bodem	Emissie
Stikstof	ton N/jaar	42,8	4,0	40,3	2,5					35,7	4,6
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,6	1,4	14,6	0,0					14,6	0,0

Scenario 9.1:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Semi dichte vloer + onderafzuiging
 Nvt
 250 melkkoeien

Intensief bedrijf

Processchema:



Massabalans:

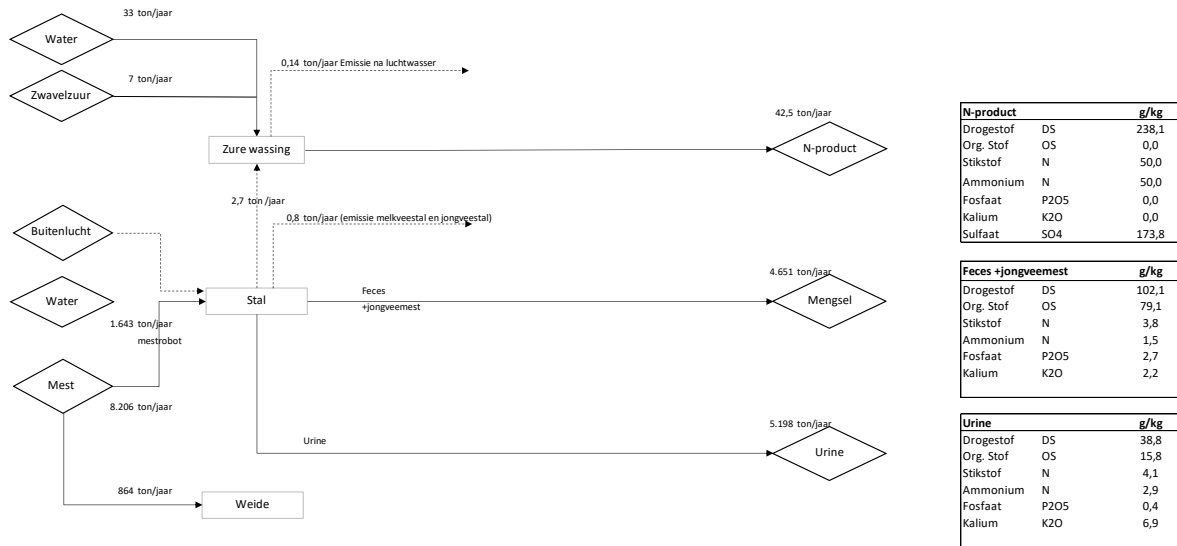
Onderwerp	Eenheid	IN	UIT	Bewerking	Aanwending	Emissie
		Excretie	Mest uit stal en opslag			
			Feces, urine jongveemest	Ammonium sulfaat		Bodem
Stikstof	ton N/jaar	44,9	41,1	2,2	1,6	39,2
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,9	14,9	0	0,0	14,9

Scenario 9.1:
 Input vergister:
 Bedrijfs grootte:

Semi dichte vloer + onderafzuiging
 Nvt
 250 melkkoeien

Extensief bedrijf

Processchema:



Massabalans:

Onderwerp	Eenheid	IN		UIT			Bewerking	Aanwending	Emissie
		Excretie		Mest uit stal en opslag					
		Stal	Weide	Feces, urine jongveemest	Ammonium sulfaat	Emissie			
Stikstof	ton N/jaar	42,8	4,0	39,2	2,1	1,6		37,1	4,2
Fosfaat	ton P2O5/jaar	14,6	1,4	14,6	0,0	0,0		14,6	0,0

Scenario 9.2:

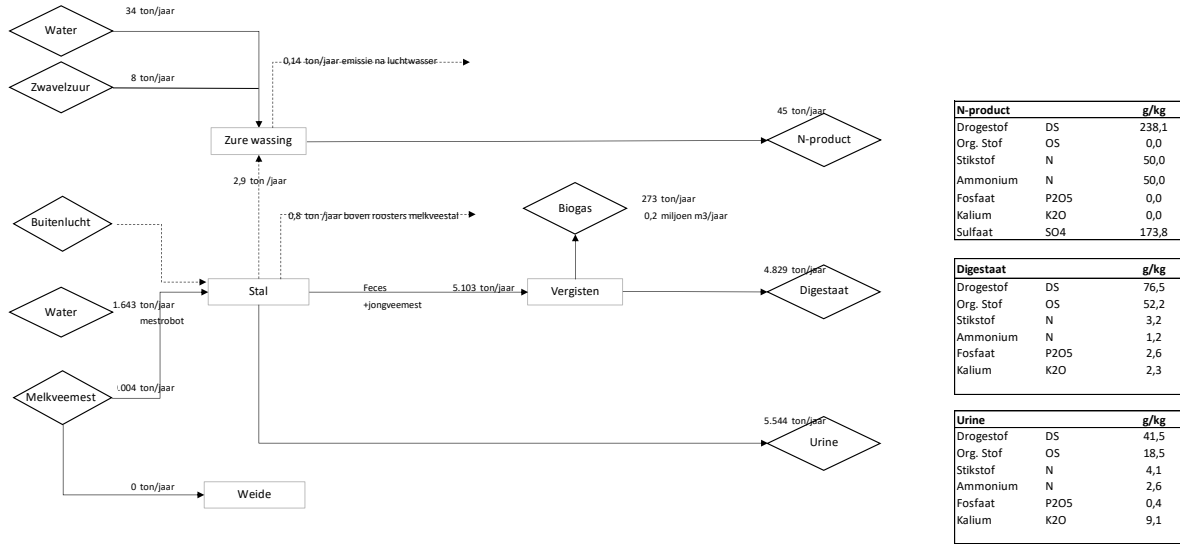
Semi dichte vloer + onderafzuiging + vergisten

Intensief bedrijf

Input vergister:
Bedrijfsgrootte:

Mengsel feces melkvee + jongveemest
250 melkkoeien

Processchema:



Massabalans:

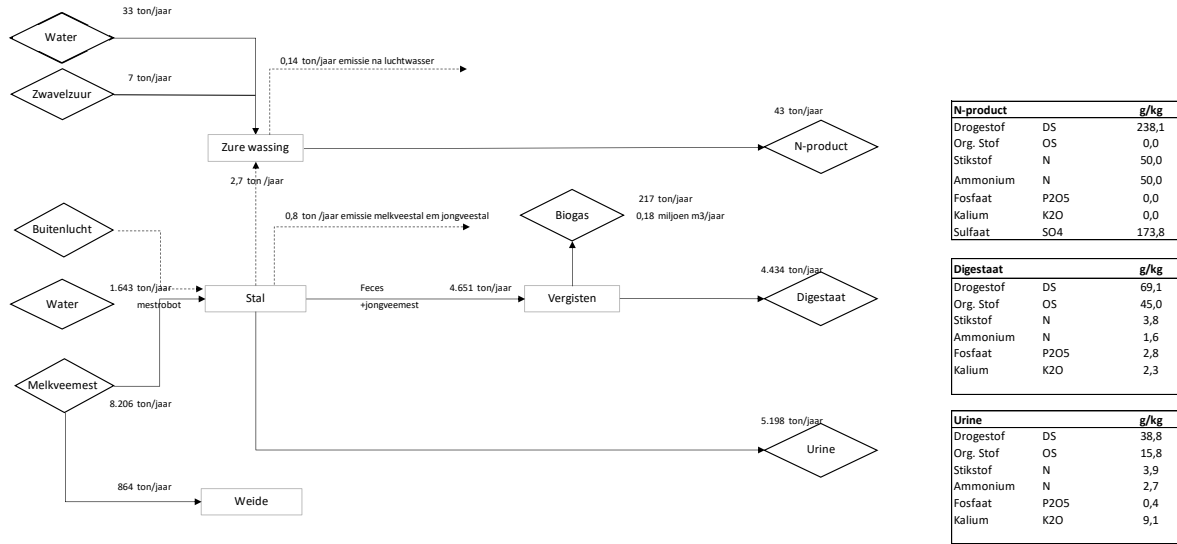
Onderwerp	Eenheid	IN	UIT	Bewerking	Aanwending
		Excretie	Mest uit stal en opslag		
			Feces, urine jongveemest	Ammonium sulfaat	
Stikstof	ton N/jaar	44,9	41,2	2,3	1,4
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,9	14,9	0	0,0

Scenario 9.2: Semi dichte vloer + onderafzuiging + vergisten

Extensief bedrijf

Input vergister: Mengsel feces melkvee + jongveemest
 Bedrijfs grootte: 250 melkkoeien

Processchema:



Massabalans:

Onderwerp	Eenheid	IN		UIT			Bewerking		Aanwending		
		Excretie		Mest uit stal en opslag					Emissie	Bodem	Emissie
		Stal	Weide	Feces, urine jongveemest	Ammonium sulfaat	Emissie	Digestaat	Urine			
Stikstof	ton N/jaar	42,8	4,0	39,3	2,1	1,5	16,7	21,4	1,2	36,0	4,3
Fosfaat	ton P ₂ O ₅ /jaar	14,6	1,4	14,6	0,0	0,0	12,4	2,1	0,0	14,6	0,0

Bijlage 6 Detaillering kostenramingen

2. Scenario Regulier + monovergisten

Bedrijfs grootte: 250 melkkoeien

Tabel. Investerings scenario Regulier + monovergisten.

Investerings	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.

		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	63,17	65,66
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	171,23	177,99
Totaal kosten		346,37	362,93
Opbrengsten			
Vermeden inkoop warmte + levering	€/Melkkoe	120,39	146,94
Vermeden inkoop stroom	€/Melkkoe	16,82	18,45
Levering stroom + groen certificaat	€/Melkkoe	95,98	122,64
SDE++ (fase 1)	€/Melkkoe	100,68	131,93
Vermeden inkoop kunstmest	€/Melkkoe	0,00	0,00
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	10,16	13,78
Totaal opbrengsten	€/Melkkoe	344,03	433,73
Opbrengsten minus kosten	€/Melkkoe	-2	71

3. Scenario Regulier + monovergisten + scheiden digestaat + strippen

Bedrijfs grootte: 250 melkkoeien

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

Investerings	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.

Investerings		Intensief
Totaal investering	k€	622
Kosten		
Energie	€/Melkkoe	239,59
Hulpstoffen	€/Melkkoe	37,95
Arbeid	€/Melkkoe	36,80
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/Melkkoe	96,94
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	262,97
Totaal kosten		674,25
Opbrengsten		
Vermeden inkoop warmte + levering	€/Melkkoe	241,86
Vermeden inkoop stroom	€/Melkkoe	32,30
Levering stroom + groen certificaat	€/Melkkoe	113,99
SDE++ (fase 1)	€/Melkkoe	127,90
Vermeden inkoop kunstmest	€/Melkkoe	28,54
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	53,08
Totaal opbrengsten	€/Melkkoe	597,67
Opbrengsten minus kosten	€/Melkkoe	-77

4.1 Scenario Regulier + verdunnen + strippen

Tabel. Investerings scenario Regulier + verdunnen + strippen.

Investerings	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.

Investerings		Extensief	Intensief
Totaal investering	k€	303	303
Kosten			
Energie	€/Melkkoe	39,10	42,91
Hulpstoffen	€/Melkkoe	107,31	115,86
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		333,92	346,27
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	12,28	16,38
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	6,76	40,23
Totaal opbrengsten	€/Melkkoe	19,04	56,61
Opbrengsten minus kosten	€/Melkkoe	-315	-290

4.2 Scenario Regulier + verdunnen + strippen + monovergisten

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

Investerings	Extensief	Intensief
Stalaanpassingen	€ 60.000	€ 60.000
Vergisten	€ 211.500	€ 211.500
Behandeling digestaat	€ 355.205	€ 369.516
Overige gerelateerde investeringen	€ 85.006	€ 87.152
Totaal investeringen	€ 711.710	€ 728.169

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

Investerings		Extensief	Intensief
Totaal investering	k€	712	728
Kosten			
Energie	€/Melkkoe	97,45	106,93
Hulpstoffen	€/Melkkoe	107,32	115,87
Arbeid	€/Melkkoe	36,80	36,80
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/Melkkoe	111,03	113,59
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	300,90	307,86
Totaal kosten		653,50	681,05
Opbrengsten			
Vermeden inkoop warmte + levering	€/Melkkoe	58,35	64,02
Levering warmte	€/Melkkoe	63,12	84,55
Vermeden inkoop stroom	€/Melkkoe	39,10	42,91
Levering stroom + groen certificaat	€/Melkkoe	83,32	109,27
SDE++ (fase 1)	€/Melkkoe	95,75	127,16
Vermeden inkoop kunstmest	€/Melkkoe	8,25	32,57
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	10,57	13,26
Totaal opbrengsten	€/Melkkoe	358,47	473,74
Opbrengsten minus kosten	€/Melkkoe	-295	-207

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. Investerings scenario Dagontmesting + monovergisten.

Investerings	Extensief	Intensief
Stalaanpassingen	€ 25.000	€ 25.000
Vergisten	€ 365.000	€ 381.000
Behandeling digestaat	€ 0	€ 0
Overige gerelateerde investeringen	€ 55.000	€ 57.000
Totaal investeringen	€ 445.000	€ 463.000

Tabel. Overzicht kosten en opbrengsten scenario Dagontmesting + monovergisten.

Investerings		Extensief	Intensief
Totaal investering	k€	445	463
Kosten			
Energie	€/Melkkoe	75,17	82,48
Hulpstoffen	€/Melkkoe	0,00	0,00
Arbeid	€/Melkkoe	36,80	36,80
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/Melkkoe	67,89	70,72
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	184,54	192,21
Totaal kosten		364,40	382,21
Opbrengsten			
Vermeden inkoop warmte + levering	€/Melkkoe	143,58	176,10
Vermeden inkoop stroom	€/Melkkoe	16,82	18,45
Levering stroom + groen certificaat	€/Melkkoe	123,05	156,67
SDE++ (fase 1)	€/Melkkoe	134,21	174,08
Vermeden inkoop kunstmest	€/Melkkoe	0,00	0,00
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	3,72	8,99
Totaal opbrengsten	€/Melkkoe	421,38	534,28
Opbrengsten minus kosten	€/Melkkoe	57	152

7 Scenario Dagontmesting + monovergisting + strippen

Tabel. Investerings scenario Dagontmesting + monovergisten + strippen.

Investerings	Intensief
Stalaanpassingen	€ 25.000
Vergisten	€ 381.000
Behandeling digestaat	€ 172.000
Overige gerelateerde investeringen	€ 83.000
Totaal investeringen	€ 661.000

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

Investerings		Intensief
Totaal investering	k€	661
Kosten		
Energie	€/Melkkoe	237,69
Hulpstoffen	€/Melkkoe	40,10
Arbeid	€/Melkkoe	36,80
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/Melkkoe	105,38
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	286,14
Totaal kosten		706,12
Opbrengsten		
Vermeden inkoop warmte + levering	€/Melkkoe	246,78
Vermeden inkoop stroom	€/Melkkoe	32,30
Levering stroom + groen certificaat	€/Melkkoe	148,03
SDE++ (fase 1)	€/Melkkoe	170,05
Vermeden inkoop kunstmest	€/Melkkoe	33,16
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	55,29
Totaal opbrengsten	€/Melkkoe	685,60
Opbrengsten minus kosten	€/Melkkoe	-21

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

Tabel. Investerings scenario Semi dichte vloer + onder afzuiging.

Investerings	Extensief	Intensief
Stalaanpassingen	€ 300.000	€ 300.000
Totaal investeringen	€ 300.000	€ 300.000

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

Investerings		Extensief	Intensief
Totaal investering	k€	300	300
Kosten			
Energie	€/Melkkoe	17,83	17,83
Hulpstoffen	€/Melkkoe	4,47	4,73
Arbeid	€/Melkkoe	12,00	12,00
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/Melkkoe	54,49	54,49
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	126,84	126,84
Totaal kosten		215,62	215,88
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	13,72	8,55
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	-23,17	-54,36
Totaal opbrengsten	€/Melkkoe	-9,45	-45,81
Opbrengsten minus kosten	€/Melkkoe	-225	-262

9.2 Scenario Semi dichte vloer + onder afzuiging + monovergisting

Tabel. Investerings scenario Semi dichte vloer + onder afzuiging + monovergisting.

Investerings	Extensief	Intensief
Stalaanpassingen	€ 300.000	€ 300.000
Vergisten	€ 407.000	€ 424.000
Totaal investeringen	€ 707.000	€ 724.000

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

Investerings		Extensief	Intensief
Totaal investering	k€	707	724
Kosten			
Energie	€/Melkkoe	93,00	100,31
Hulpstoffen	€/Melkkoe	4,47	4,73
Arbeid	€/Melkkoe	36,80	36,80
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/Melkkoe	118,03	120,56
Afschrijving en financiering	€/Melkkoe	298,91	306,10
Totaal kosten		551,20	568,49
Opbrengsten			
Vermeden inkoop warmte + levering	€/Melkkoe	119,22	145,63
Vermeden inkoop stroom	€/Melkkoe	34,65	36,29
Levering stroom + groen certificaat	€/Melkkoe	83,47	109,97
SDE++ (fase 1)	€/Melkkoe	93,79	124,84
Vermeden inkoop kunstmest	€/Melkkoe	10,06	9,36
Vermeden mestafzetkosten	€/Melkkoe	-19,45	-31,90
Totaal opbrengsten	€/Melkkoe	321,75	394,20
Opbrengsten minus kosten	€/Melkkoe	-229	-174

Bijlage 7 Uitgangspunten kostenramingen

Onderdeel	Toelichting	Waarde	Eenheid	Referentie / opmerking	
Investeringskosten	Biogasinstallatie	254.000	€	BioElectric (14 kton/jaar)	
	WKK 40 KWe	60.000	€	Biogas-E	
	Vijzelpers	31.500	€	Fabitan	
	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:			JOZ	
	Mestrobot	20.000	€/ 120 melkkoeien		
	Scheiden (vijzelpers + trommelzeef)	61.500	€/ max 350 melkkoeien		
	Stripper + luchtwasser	150.000	€/ max 350 melkkoeien		
	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 ₂ SO ₄ / kg NH ₃ -N	Berekende waarde
	Natronloog (50%)	0,35	€/kg	Opgave JOZ
	Natronloog verbruik	1,5	kg/ m ³ 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 8.1 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
CH₄, 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 8.2 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
<u>Stal en opslag</u>								
CH₄, max	m ³ /kgOS	0,29*	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	1)
CH₄ gevormd	m ³ /kgOS	0,00	0,02	0,04	0,08	0,10	0,15	
% tov CH₄, max	%	0%	6%	15%	26%	35%	52%	2)
<u>Vergisting</u>								
	50 dagen							
CH₄ rest potentieel	m ³ /kgOS	0,29	0,28	0,25	0,22	0,19	0,14	
CH₄ gevormd	m ³ /kgOS	0,26	0,24	0,22	0,19	0,17	0,12	3)
% tov restpotentieel	%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	
<u>Org. stof</u>								
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	
<u>Biogas</u>								
CH₄	m ³ /ton	19,9	18,3	15,7	12,9	10,9	7,4	
biogas	m ³ /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 8.3 Toetsing van de resultaten van de methaanproductie volgens het emissiemodel aan praktijkreferenties.

Toetsing	Onderwerp	Toelichting	Bron
----------	-----------	-------------	------

1	Waarde maximale methaanproductie	De iteratief bepaalde waarde van 0,29 m ³ 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 m ³ CH ₄ / kg OS). De iteratief bepaalde waarde ligt enigszins hoger dan geschatte waarde van het Biochemisch Methaan Potentieel (BMP) Groenestein et al. (2016) van 0,22 m ³ /kg OS, maar ligt wel binnen de bandbreedte van 0,13-0,32 m ³ /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 m ³ 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 Agrartchnik 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 m ³ /kg OS, ofwel 88% van het maximale methaanpotentieel. Bij een OS gehalte van 76,5 kg/ton komt dit neer op een <u>biogas</u> productie van circa 33 m ³ /ton mest. Dit komt goed overeen met de opgave van Jumpstart voor vergisting van dagverse mest. (31 m ³ 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				
	Tonnage	Gehalte		Vracht	
<u>Beschikbaar</u>	ton/jaar	N kg/ton	P2O5 kg/ton	N kg/jaar	P2O5 kg/jaar
Drijfmest	9.004	4,6	1,7	41.662	14.877
Totaal beschikbaar				41.662	14.877
<u>Gebruiksruimte</u>	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
<u>Invulling ruimte dierlijke mest</u>	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	
	ton/jaar	N kg/ton	P205 kg/ton	N kg/jaar	P205 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	P205	N	P205
	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	ton/jaar	N	P205
		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		N	P205
Dunne mest	1.105	1.976	1.414
Dikke mestfractie	580	6.548	4.463

Vervanging kunstmest	Tonnage	N	P205
	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.

