



Berekeningen over emissies, massabalansen en economie bij gezamenlijke monomestvergisting

Scenariostudie voor energiecoöperatie Wijnjewoude

Nico Verdoes, Flavia Casu, Jos van Gastel, Gijs Hekkert

Rapport 1449



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Berekeningen over emissies, massabalansen en economie bij gezamenlijke monomestvergisting

Scenariostudie voor energiecoöperatie Wijnjewoude

Nico Verdoes¹, Flavia Casu², Jos van Gastel³, Gijs Hekkert¹

1 Wageningen Livestock Research

2 Terra Nova

3 Promillicon

Dit onderzoek is in opdracht van coöperatie Wijnjewoude Energie Neutraal (WEN) uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, Terra Nova en Promillicon

Wageningen, november 2023

Rapport 1449

Samenvatting NL Deze studie richt zich op het modelmatig doorrekenen van verschillende scenario's van mestbewerking voor energiecoöperatie Wijnjewoude. Hierbij is gekeken naar de mogelijkheid voor gezamenlijke monomestvergisting van 26 melkveehouderijbedrijven en in hoeverre ammoniak- en broeikasgasemissies kunnen worden gereduceerd. Wanneer drijfmest dagelijks wordt verwijderd uit de stal, na een korte opslagtijd wordt vergist en het digestaat gestript, kan er een ammoniak emissiereductie van 46% worden gehaald over de gehele keten, als ook een broeikasgas emissiereductie van 78% (enterische emissie uitgesloten). Echter is dit sterk afhankelijk van het gekozen emissiearme stalsysteem en hoe snel drijfmest wordt verwijderd uit de stal en verder verwerkt. Verder kan, bij de aanname dat RENURE meststoffen ingezet mogen worden als kunstmest, een kunstmestbesparing van 160 ton per jaar worden behaald (gelijk aan ca. € 700.000) en kan met het centraal vergisten van mest en opwerken naar groengas een equivalent van 1.786 ton CO₂-emissie worden voorkomen.

Summary UK This study focuses on model-based calculations of various manure processing scenarios for the Energy Cooperative in Wijnjewouden. The study concerns the possibility of teamwise mono-manure fermentation of 26 dairy farms and the effect on the reduction of ammonia and greenhouse gas emissions was examined. If slurry is removed daily from the cattle barn, fermented after a short storage time and the digestate is stripped, an ammonia emission reduction of 46% can be achieved over the entire chain, as well as a greenhouse gas emission reduction of 78% (enteric emissions excluded). However, this is highly dependent on the chosen low-emission housing system and how quickly liquid manure is removed from the barn and further processed. Furthermore, assuming that RENURE fertilizers may be used as fertilizer, a saving of 160 tons artificial fertilizer per year can be achieved (equal to approximately € 700,000) and with the central fermentation of manure and upgrading to green gas an equivalent of 1,786 tons of CO₂ emissions can be prevented.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/640987> 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, 2023

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.

Inhoud

Woord vooraf	5
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Doel	7
2 Methode	8
2.1 Bedrijfsgegevens	8
2.2 Berekening emissies	8
2.3 Scenario's en uitgangspunten	9
2.4 Besparing mestafzetkosten	10
3 Resultaten	11
3.1 Emissies	11
3.1.1 Ammoniakemissie in de mestketen	11
3.1.2 Broeikasgasemissie in de mestketen	12
3.1.3 Bandbreedte emissies	12
3.1.4 CO ₂ -emissie vergistingslocatie	13
3.2 Landbouwkundige waarde mestbewerkingsproducten	14
3.3 Mest en kunstmestbesparing	15
3.3.1 Mestbalans	15
3.3.2 Economische besparing op kunstmest	16
3.3.3 Kosten waszuren	17
3.4 Ouderdom mest in relatie tot groengasproductie	18
3.5 Invloed zeer snelle ontmesting	19
4 Discussie en conclusie	20
4.1 Discussie	20
4.2 Conclusie	20
Literatuur	21
Bijlage 1 Bedrijfsgegevens	22
Bijlage 2 Uitgangspunten modelstudie	23
Bijlage 3 RAV Stalsystemen	24
Bijlage 4 Ammoniak- en broeikasgasemissies per bedrijf in huidige situatie (scenario 0)	25
Bijlage 5 Methaan- en lachgasemissies scenariostudie	27
Bijlage 6 Berekening CO₂-emissie vergistingsplant Wijnjewoude	28
Bijlage 7 Berekening bemestingskosten groep melkveehouders	29

Woord vooraf

Deze rapportage is tot stand gekomen naar aanleiding van vragen van de energiecoöperatie Wijnjewoude Energie Neutraal (WEN), die het pilot project De Friese Drieslag hebben opgestart. Hiermee wil men drie doelen dienen: klimaat, stikstof en energie. Tegen die achtergrond zijn er modelberekeningen uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, Terra Nova en Promillicon naar de mogelijkheden om met een groep van 26 melkveehouders centraal te vergisten, waardoor inderdaad die drie doelen gediend kunnen worden. Deze modelberekeningen waren een logisch vervolg op het project NL Next Level Mestverwaarden.

De auteurs danken de opdrachtgever voor de constructieve begeleiding van het onderzoek.

Namens het onderzoeksteam,
Nico Verdoes (projectleider)

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Aanleiding voor dit onderzoeksrapport is het in beeld brengen van de potentie van groengasopwekking vanuit rundveemest in Wijnjewoude. In een ontwikkeld plan voor Coöperatieve Circulaire Lokale Mestvergisting (CLCM) wordt er beoogd om 1 miljoen m³ groengas te produceren waarmee het dorp Wijnjewoude volledig kan overstappen van aardgas naar groengas. Door middel van het transporteren van verse mest, afkomstig van 26 rundveebedrijven, naar een centrale locatie, kan er via vergisting biogas worden geproduceerd en kunnen er tegelijkertijd reducties worden behaald in ammoniak- en methaanemissies over de gehele mestketen. Vervolgens wordt het biogas opgewerkt naar groengas dat in het aardgasnet kan worden gepompt. Dit rapport geeft inzicht in het productiepotentieel en de emissiereducties die te behalen zijn voor de situatie van Wijnjewoude.

1.2 Doel

De doelstelling van dit rapport is het berekenen van emissies van ammoniak en broeikasgassen in de mestketen voor verschillende scenario's van centraal vergisten van rundveemest afkomstig van 26 bedrijven in en rondom het dorp Wijnjewoude. Deze resultaten worden vergeleken met de huidige emissies van deze bedrijven. Hiervoor is gebruik gemaakt van wetenschappelijke modellen aangaande massabalansen en ammoniak- en broeikasgasemissies in de mestketen. Met dit rapport wordt in kaart gebracht in hoeverre er emissiereducties te behalen zijn en welke optimalisaties hierin mogelijk zijn.

2 Methode

2.1 Bedrijfsgegevens

De emissies van ammoniak en broeikasgassen in deze scenariostudie zijn berekend op basis van bedrijfsgegevens van 26 melkveehouderijbedrijven rondom Wijnjewoude, Friesland, welke zijn opgevraagd bij de betreffende bedrijven. De bedrijfsdata is gebruikt om tot een gemiddeld bedrijf te komen (zie tabel 1), welke als uitgangspunt voor de berekeningen is gebruikt. De bedrijfsgegevens zijn weergegeven in bijlage 1. Naast de scenariostudie voor dit gemiddelde bedrijf zijn ook de emissies per bedrijf berekend voor de huidige situatie, waarin drijfmest niet verder wordt verwerkt.

Tabel 1 *Uitgangspunten modelstudie – gemiddelde op basis van 26 melkveehouderijbedrijven*

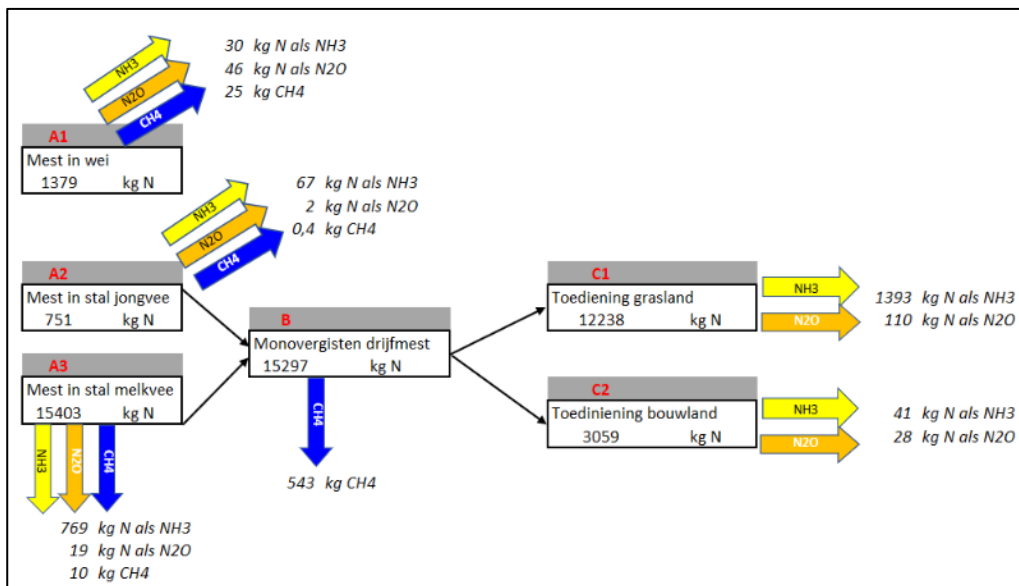
Bedrijf	Koeien (aantal)	Jongvee (aantal)	Mestopslag kelder (m ³)	Externe mestopslag	Weide- gang	Areaal (ha)	Mestproductie (m ³)	Mestoverschot ¹ (m ³)
Gemiddeld	103,5	18,4	1.615,2	750,4	120d / 6u	61,6	3.231,8	1.092,4

¹ Berekend zonder derogatie

2.2 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 1). Het model is opgebouwd uit verschillende blokken, waarbij elk blok een (verwerkings-)stap representeert. Het model start bij de uitscheiding van mest in de weide en 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 berekend. Emissies die ontstaan door enterische fermentatie, het gebruik van fossiele brandstoffen, elektriciteit of grondstoffen zijn niet meegenomen.

Het startpunt van het model is de samenstelling van drijfmest 'onder de staart': de vrachten stikstof, fosfor fosfaat), koolstof en organische stof (respectievelijk N, P (P₂O₅), C en OS) en de methaan (CH₄) en gasvormige stikstofhoudende emissies ammoniak (NH₃) en lachgas (N₂O) die hierbij vrijkomen. In bijlage 2 zijn de uitgangspunten voor de modelstudie per scenario beschreven. Voor alle scenario's zijn per stap in het mestverwerkingsproces de ammoniak en lachgas emissies berekend middels emissiefactoren (van Bruggen et al. 2022). De ammoniakemissies voor aanwenden die in dit rapport worden gepresenteerd geven de totale emissies, inclusief aanwending op land van derden (zie bijlage 2 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., 2022).



Figuur 1 Voorbeeld schematische weergave voor berekening emissies.

De methaanemissie is berekend op basis van het OS-gehalte dat afhangt van de ouderdom van de mest. Om de totale uitstoot van broeikasgasemissies per scenario in kaart te brengen, zijn de methaan- en lachgasemissies omgerekend naar CO₂-equivalenten¹ met de volgende rekenregels (Myhre et al., 2013):

- 1 kg methaan = 28 CO₂-equivalenten
- 1 kg lachgas = 265 CO₂-equivalenten

Voor de berekening van de CO₂ emissies die gerelateerd zijn aan het centraal vergisten is de bijdrage van de emissie onderzocht van:

- Het energieverbruik van de vergistingsplant. Hierbij is gebruikgemaakt van informatie van de opdrachtgever op basis van het ontwerp van de installatie.
- De aanvoer van mest naar de installatie en de afvoer van digestaat naar de melkveebedrijven. De gemiddelde transportafstand van de melkveebedrijven en de vergister is aangeleverd door de opdrachtgever.
- De methaanverliezen bij productie en opwerking van biogas. Hierbij is gebruikgemaakt van de emissiefactoren uit het onderzoek van Wechselberger et al. (2023).
- Het verbruik van zwavelzuur bij het strippen van stikstof. Hierbij is uitgegaan van het zwavelzuurverbruik voor de situatie waarbij precies zoveel stikstof uit het digestaat wordt verwijderd zodat het volledige volume geplaatst kan worden binnen de gebruikruimte van de melkveehouders zonder derogatie.

Daarnaast zijn de vermeden emissies van de productie van groengas en besparing van kunstmestgebruik in de balans meegenomen.

Voor de omrekening van verbruiken en stofvrachten naar CO₂ emissie-equivalenten is gebruikgemaakt van de omrekeningsfactoren van co2emissiefactoren.nl².

2.3 Scenario's en uitgangspunten

De emissies van ammoniak en broeikasgassen over de gehele mestverwerkingsketen zijn voor verschillende scenario's in kaart gebracht. Een overzicht en beschrijving van deze scenario's zijn uitgewerkt in tabel 2. Om de emissies voor deze scenario's uit te rekenen is voor scenario 1 en 2 uitgegaan van het stalsysteem met dichte vloer, waarbij drijfmest dagelijks wordt verwijderd met een mestschuif. Er bestaan verschillende

¹ Eén CO₂-equivalent staat gelijk aan het effect dat de uitstoot van 1 kg CO₂ heeft.

² www.co2emissiefactoren.nl/lijst-emissiefactoren

stalsystemen met een dichte vloer, waarbij mest dagelijks kan worden afgevoerd met een mestschuif of robot. Een overzicht van stalsystemen, met bijbehorende emissiefactor, die voldoen aan deze criteria zijn weergegeven in bijlage 3. Op basis van deze stalsystemen is voor de modelstudie gekozen voor een gemiddelde ammoniakreductie in de (emissiearme) stal van 38% voor scenario 1 en 2.

Tabel 2 Beschrijving scenario's voor modelberekening

Scenario	Beschrijving
Scenario 0	Regulier stalsysteem, langdurige opslag drijfmest in kelder, toediening drijfmest
Scenario 1	Stalsysteem met dichte vloer en mestschuif, dagelijkse verwijdering van mest, afgedekte opslag, centrale vergisting drijfmest, toediening digestaat
Scenario 2a	Stalsysteem met dichte vloer en mestschuif, dagelijkse verwijdering van mest, afgedekte opslag, centrale vergisting drijfmest, strippen digestaat, toediening gestripte digestaat fractie en ammoniumsulfaat
Scenario 2b	Stalsysteem met dichte vloer en mestschuif, dagelijkse verwijdering van mest, afgedekte opslag, centrale vergisting drijfmest, strippen digestaat, toediening ammoniumsulfaat en gestripte digestaat verdund met water
Scenario 2c	Stalsysteem met dichte vloer en mestschuif, dagelijkse verwijdering van mest, afgedekte opslag, centrale vergisting drijfmest, strippen digestaat, toediening ammoniumsulfaat en gestripte digestaat aangezuurd met zwavelzuur

Onder scenario 2 wordt de mest centraal vergist en wordt het digestaat ontdaan van een deel van de stikstof met behulp van een stripproces. Het digestaat wordt niet gescheiden voorafgaand aan het stripproces. Op deze wijze ontstaan twee eindproducten, namelijk een vloeibaar digestaat met een verlaagd stikstofgehalte en een ammoniumsulfaat-oplossing dat vrijkomt bij de zure wassing van de striplucht. De opwerking van biogas naar groengas vindt plaats met behulp van membraantechnologie.

2.4 Besparing mestafzetkosten

Vergeleken zijn de kosten voor aanwending van dierlijke mest zonder derogatie voor de situatie zonder behandeling van de mest en de situatie met vergisten en strippen van de mest, waarbij de stikstofvacht van het digestaat precies geplaatst kan worden binnen de gebruiksruimte van de groep melkveehouders.

De berekening is uitgevoerd voor de groep van melkveehouders als geheel. Uitgegaan is van een beschikbaar areaal van de groep melkveehouders van 1.300 hectare grasland en 300 ha bouwland en een stikstofgebruiksnorm van 170 kg per hectare voor zowel grasland als bouwland. Voor de fosfaatgebruiksnorm is uitgegaan van respectievelijk 90 en 60 kg per hectare voor grasland en bouwland.

Voor de samenstellingen van de stalmest, weidemest, digestaat en ammoniumsulfaat is gebruikgemaakt van de berekende waarden in het emissiemodel.

Bij de vergelijking van kosten is gerekend met een prijs van 20 euro per ton voor mest die van de bedrijven moet worden afgevoerd en kosten voor aanwending van de mest van 3 euro per ton. Voor de besparing van stikstofkunstmest is gerekend met een prijs van 1 euro per kg N. Er is geen rekening gehouden met eventuele besparingen voor aankoop van fosfaat- en kaliummeststoffen.

3 Resultaten

3.1 Emissies

In de volgende paragrafen worden de resultaten van de modelstudies gepresenteerd, welke de emissies van ammoniak en broeikasgassen over de gehele mestbewerkingketen weergeven.

3.1.1 Ammoniakemissie in de mestketen

In tabel 3 zijn de totale ammoniakemissies in de mestketen weergegeven voor alle scenario's en varianten.

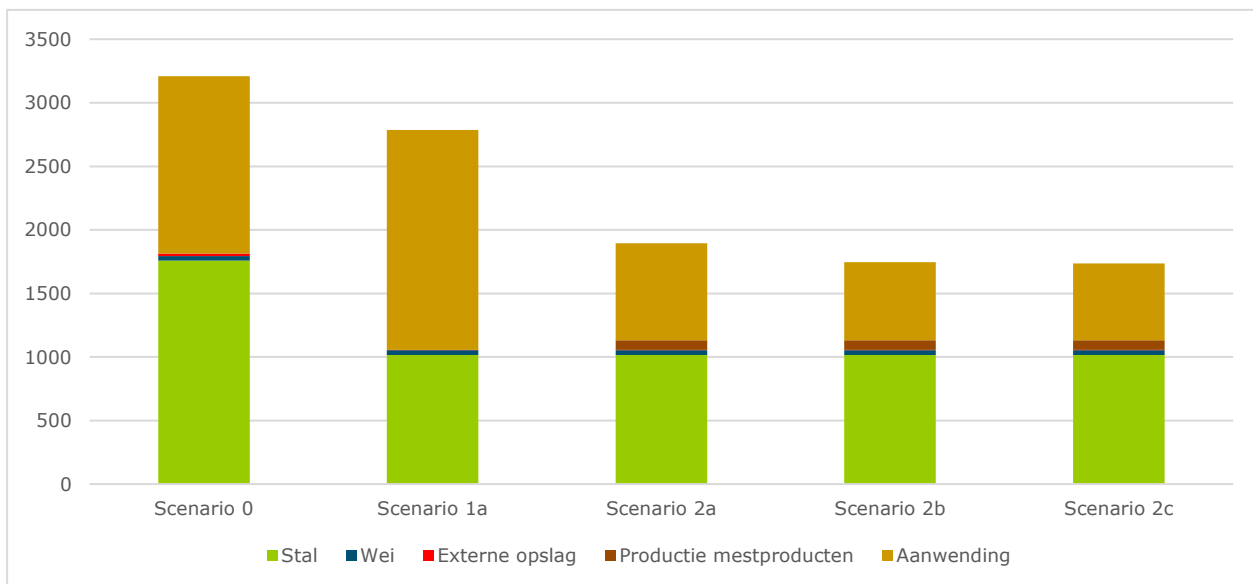
Tabel 3 Ammoniakemissie (kg/jaar) in de gehele mestketen van verschillende scenario's met mestverwerking voor één gemiddeld bedrijf.

Nr.	Scenario	Stal	Wei	Externe opslag	Productie mest-producten	Aanwending	Totaal	Emissiereductie in totale keten (%) ¹
0	Huidig	1.758	37	19		1.395	3.209	
1a	Dagverse drijfmest	1.016	37	3		1.730	2.786	13
2a	Dagvers + strippen	1.016	37	3	75	765	1.895	41
2b	Scenario 2a + verdunnen	1.016	37	3	75	615	1.746	46
2c	Scenario 2a + aanzuren	1.016	37	3	75	606	1.737	46

¹ Ten opzichte van Scenario 0

In het huidige scenario bedraagt de totale ammoniakemissie voor het gemiddelde melkveehouderijbedrijf 3.209 kg NH₃ per jaar. Scenario 1, waar drijfmest dagelijks wordt verwijderd uit de stal en vergist, levert een emissie van 2.787 kg NH₃ per jaar op. De stalemissies nemen in dit scenario met 42% af ten opzichte van het huidige scenario (door snelle mestverwijdering), maar deze reductie wordt voor een groot deel teniet gedaan door de hogere emissie tijdens aanwending (de bespaarde ammoniak komt er deels nog uit). Hierdoor reduceren de emissies over de gehele keten met 13%. Wanneer dagverse mest na vergisten wordt gestript, reduceert de ammoniakemissie over de gehele keten met gemiddeld 44% (41% bij scenario 2a en 46% bij scenario 2b en 2c). Het stikstofconcentraat en de gestripte mestfractie welke ontstaan na het strippen van het digestaat zorgen voor een forse afname in emissie bij aanwending: ten opzichte van drijfmest daalt de emissie met 45%. Wanneer de gestripte fractie wordt verdund of aangezuurd, zoals in scenario 2a en 2b, reduceert de emissie tijdens aanwending met respectievelijk 56 en 57%. Figuur 2 geeft de resultaten van de ammoniakemissie over de gehele keten voor elk van de scenario's weer.

De emissies in scenario 0, welke de huidige situatie voor de deelnemende bedrijven weergeeft, zijn ook uitgerekend voor elk van de 26 bedrijven apart. De resultaten hiervan zijn weergegeven in bijlage 4.



Figuur 2 Totale ammoniakemissie in de mestketen van verschillende scenario's van mestbewerking (kg NH₃/jaar voor één gemiddeld bedrijf).

3.1.2 Broeikasgasemissie in de mestketen

In tabel 4 zijn de broeikasgasemissies weergegeven, welke een opsomming zijn van de methaan- en lachgasemissies uitgedrukt in ton CO₂-equivalenten in de gehele mestketen voor één gemiddeld bedrijf. De emissies van methaan en lachgas apart zijn weergegeven in bijlage 5.

Tabel 4 Broeikasgasemissies uit de mestketen (ton CO₂-equivalenten/jaar) van verschillende scenario's met mestverwerking voor één gemiddeld bedrijf.

Nr.	Scenario	Stal	Wei	Externe opslag	Vergisting	Aanwending	Totaal	Emissiereductie in totale keten (%) ¹
0	Huidig	416	20	12		55	503	
1a	Dagverse drijfmest	9	20	1	15	57	101	80
2a	Dagvers + strippen	9	20	1	15	67	111	78
2b	Scenario 2a + verdunnen	9	20	1	15	67	111	78
2c	Scenario 2a + aanzuren	9	20	1	15	67	111	78

¹ Ten opzichte van Scenario 0

In het huidige scenario bedraagt de totale broeikasgasemissie 503 ton CO₂-equivalenten per jaar. Zowel voor scenario 1 als scenario's 2a, b en c nemen de emissies significant af met een totale reductie van 80% voor scenario 1 en 78% voor scenario 2. Met name in de stal nemen de emissies van broeikasgassen (vooral methaan) sterk af doordat mest korter dan een dag in de stal aanwezig is, en hier nagenoeg geen methaanemissie vanuit de mest plaatsvindt. Het vergisten van de mest zorgt ervoor dat het proces van afbraak van organische stof in de vergister plaatsvindt, waarbij het gevormde biogas wordt opgevangen en verder bewerkt. De lichte verhoging van de broeikasgasemissie bij de aanwending van mest in scenario 2 (als er wordt vergist) betreft vooral de emissie van lachgas. De combinatie van zeer snelle verwijdering uit de stal en het vergisten van de mest zorgt daarom voor deze aanzienlijke reducties in broeikasgasemissies.

3.1.3 Bandbreedte emissies

De emissiereducties van ammoniak en broeikasgassen zoals beschreven in 3.1.1 en 3.1.2 zijn op basis van specifieke uitgangspunten. De emissies zijn met name afhankelijk van (1) aantal uren weidegang, (2) stalsysteem en de daarbij horende emissiereductie, (3) de mate van stikstofverwijdering tijdens het bewerkingsproces en (4) de variatie in emissiereductie bij verdund aanwenden welke in de praktijk is gemeten. Om de invloed van deze uitgangspunten weer te geven, is voor scenario 2b (vergisten, strippen en verdunnen dagverse mest) berekend wat de emissiereductie in de keten is bij variaties van deze

uitgangspunten. Hierbij is gerekend met een intensief scenario, waarbij wordt uitgegaan van minimale ammoniak emissiereductie in de stal en geen weidegang, en een extensief scenario, met een verdubbeling van de uren weidegang ten opzichte van het basisscenario 2b en een maximale ammoniak emissiereductie in de stal. Verder is de mate van stikstofverwijdering aangepast en de emissiereductie tijdens aanwenden van verdunde mest.

Voor het verdund aanwenden van mest, waarbij een verhouding van 2 mest : 1 water wordt gebruikt, is de gemiddelde gemeten emissiefactor bij het gebruik van een sleepvoetmachine 13% van TAN (totaal ammoniaktaal stikstof). Hierbij wordt dus 13% van de aanwezige TAN als ammoniak geëmitteerd. Echter is de variatie in gemeten emissie tijdens aanwending van verdunde mest in de praktijk groot, met gemeten emissies tussen de 4% en 24% van TAN. Voor het basisscenario is gekozen voor de gemiddelde emissiefactor, echter kan het in de praktijk voorkomen dat de emissiefactor hoger of lager uitvalt dan 13% van TAN, welke afhankelijk is van verschillende factoren (e.g. weersomstandigheden, bodemgesteldheid, mestverdeling, en -samenstelling en toedieningstechniek (Huijsmans et al., 2015)).

Op basis van de variatie in uitgangspunten tussen het pessimistische en optimistische scenario, kan de emissiereductie van ammoniak voor scenario 2b variëren tussen de 30% en 62% reductie ten opzichte van scenario 0 (gangbare stal en geen verdere bewerking van drijfmest), zie tabel 5. In hoeverre deze reducties te behalen zijn op een melkveebedrijf is sterk afhankelijk van het stalsysteem, management, rantsoen en verdere bewerking van de mest.

Tabel 5 Bandbreedte emissiereductie van ammoniak bij variaties op scenario 2b.

	Intensief	Basis	Extensief	
1. Weidegang	0	720	1440	uur/jaar
2. Reductie stalsysteem	30%	38%	52%	% t.o.v. A1.100 in de RAV
3. Stikstofverwijdering bij strippen	35%	35%	50%	% van excretie
4. Emissiereductie bij verdund aanwenden	24	13	4	% van TAN
Emissiereductie keten	30%	46%	62%	

3.1.4 CO₂-emissie vergistingslocatie

Naast de besparingen van CO₂-emissies door het vervangen van fossiel aardgas door groengas en het vervangen van kunstmeststikstof door uit mest gewonnen stikstof uit dierlijke mest zijn er ook bronnen die leiden tot een toename van de CO₂-emissie. Het energieverbruik van de centrale locatie, het transport van de aanvoer van mest naar de centrale locatie en de afvoer van digestaat terug naar de veehouders, het verbruik van zwavelzuur bij het strippen van digestaat en de methaanverliezen die optreden op die locatie veroorzaken dragen bij aan broeikasgasemissies. Tabel 6 toont de berekende CO₂-emissies van de centrale vergistingslocatie. De berekening van de emissie per onderdeel is weergegeven in bijlage 6.

In totaal kan door het centraal vergisten van de mest bij de uitgangspunten van scenario 2a circa 1.786 ton CO₂-emissie worden voorkomen³. Het belangrijkste deel van de besparing van de broeikasgasemissie kan worden toegeschreven aan de vervanging van aardgas door groengas. De vervanging van aardgas voorkomt emissies bij winning en transport en bij verbruik van aardgas. De CO₂ emissie bij verbruik van groengas wordt niet toegerekend, omdat het groengas is gewonnen uit duurzame bronnen (korte keten CO₂-emissie en vastlegging).

³ Deze berekening is niet gebaseerd op een Life Cycle Assessment, maar is gebaseerd op de emissies die vrijkomen bij de onderdelen genoemd in Tabel 6.

Tabel 6 CO₂-emissie vergistingslocatie in ton CO₂ per jaar bij scenario 2a.

Onderdeel	Emissie ton CO ₂ /jaar
Energieverbruik locatie	912
Aanvullend transport	70
Methaanverliezen centrale locatie (CO ₂ equivalenten)	382
Zwavelzuurverbruik	78
Besparing aardgas	-2.878
Besparing productie stikstofkunstmest	-350
Totaal	-1.786

In tabel 4 in paragraaf 3.1.2 is de emissie van CO₂ weergegeven per gemiddeld melkveebedrijf in de keten van de productie van mest in de stal tot en met het gebruik van mest op het land. Uit tabel 4 kan worden afgeleid dat ten opzichte van de huidige situatie in scenario 2 (met dagontmesting, centraal vergisten en strippen) circa 392 ton CO₂-eq emissie wordt bespaard per gemiddeld melkveebedrijf (503 – 111 ton CO₂-eq per jaar). Dit betreft de reductie van de broeikasgasemissie uit mest. Hierbij zijn ook de methaanverliezen meegenomen die optreden bij het centraal vergisten van de mest.

In tabel 6 is de CO₂-emissie van de vergistingslocatie weergegeven. Hierbij zijn ook weer de methaanverliezen van het vergistingsproces opgenomen. Wanneer de besparing van de broeikasgasemissie van de 26 melkveebedrijven wordt opgeteld bij de besparing op de centrale vergistingslocatie, dient gecorrigeerd te worden voor de methaanverliezen uit het vergistingsproces, omdat deze verliezen in beide cijfers zijn meegenomen.

De totale besparing van de broeikasgasemissie van de 26 melkveebedrijven zonder de methaanverliezen op de vergistingslocatie bedraagt 10.582 ton CO₂-eq per jaar (26 x (503-(111-15) ton CO₂-eq per jaar). De reductie van de broeikasemissie van de centrale vergistingslocatie (inclusief de methaanverliezen bij het vergisten) bedraagt 1.786 ton CO₂-eq per jaar. De optelling van de besparing van broeikasgasemissie uit mest van de 26 melkveebedrijven en het centraal vergisten bedraagt daarmee ruim 12.000 ton CO₂-eq per jaar.

3.2 Landbouwkundige waarde mestbewerkingsproducten

Samenstelling

In Tabel 7 is de samenstelling weergegeven van de dunne producten die ontstaan bij de mestbewerking (scenario 2a): gestript digestaat en ammoniumsulfaat. De ammoniumsulfaat is een volledig minerale meststof. Het gestripte digestaat heeft, als gevolg van het strippen, een relatief lage NH₄-N/N_{totaal}-verhouding (42%).

Tabel 7 Samenstelling mestproducten.

Mest-producten	OS g/kg	N- totaal g/kg	NH ₄ -N g/kg	N _{org} g/kg	P ₂ O ₅ g/kg	K ₂ O g/kg	EOS g/kg	NH ₄ -N/ N- totaal	TOC ¹ /N	N/ P ₂ O ₅	N/ K ₂ O	EOS ² / P ₂ O ₅
Gestript digestaat	34	3,2	1,3	1,9	1,7	5,4	27,2	0,4	7,3	1,9	0,6	16,4
Ammonium-sulfaat	0	50,0	50,0	0,0	0,0	0,0		1,00				

¹ TOC = totale organische C

² EOS = effectieve organische stof

Bemestende waarde

In Tabel 8 is het percentage werkzame N weergegeven bij gebruik van de producten op zowel grasland als bij mais. Deze N werking van de producten is berekend via schatting van de N-werking van het minerale N en die van de organische N.

De ammoniumsulfaat heeft een hoge N-werking vergelijkbaar met die van een gangbare kunstmeststof als kalkammonsalpeter. Hierbij is er wel vanuit gegaan dat het een zuur product betreft. Ervaringen uit de PPS⁴ "Betere stal, betere mest, betere oogst" laten zien dat de pH van ammoniumsulfaat geproduceerd uit een stripinstallatie veel hoger kan zijn (Van Dijk, 2023). In dat geval zal er met name op grasland een hoger risico zijn van ammoniakemissie.

Het gestripte digestaat heeft een relatief lage eerstejaars N-werking, circa 45% op zowel gras- als maisland. Dat komt door het hoge aandeel organische N (58%) en de lage werking van de organische N in het jaar van toediening (17% bij gras en 10% bij mais). Dat de eerstejaars N-werking toch vergelijkbaar is bij gras en mais, komt doordat er bij toediening op grasland meer NH₃-N-emissie plaats vindt (17% bij gras en 2% bij mais). Op de langere termijn komt de organische N wel beschikbaar en stijgt de N-werking van de organische N naar 80% voor grasland en 60% voor maisland. De hogere werking op grasland komt door het langere groeiseizoen. Dit leidt op de lange termijn tot een totale N-werking van circa 80% op grasland en circa 75% op maisland. Dit laatste getal kan nog iets verhoogd worden door een vanggewas te zaaien (vooral op zandgronden).

Tabel 8 Werkzame N (% van N-totaal) bij toediening op grasland en maisland.

	Werkzame N (% van N-totaal)			
	Grasland		Mais	
	Zodebemesting		Diepe injectie	
	Eerstejaars	Lange termijn	Eerstejaars	Lange termijn
Gestripte dunne fractie	44	81	46	75
Ammoniumsulfaat	98	98	98	98

3.3 Mest en kunstmestbesparing

3.3.1 Mestbalans

In de huidige situatie is de hoeveelheid stikstof die in de mest aanwezig is bepalend voor de hoeveelheid mest die op het beschikbare bouwland en maisland kan worden aangewend. Als gevolg van de afbouw van de derogatie neemt de hoeveelheid stikstof uit dierlijke mest die op de beschikbare arealen kan worden benut in de komende jaren af. De gewasbehoefte aan stikstof blijft echter ongewijzigd. De gedachte achter het strippen van de stikstof uit het digestaat is dat het stikstofgehalte precies zover wordt teruggebracht dat het totale volume digestaat binnen de gebruiksruijme dierlijke mest kan worden ingezet. In deze studie is er vanuit gegaan dat de stikstof die bij het stripproces wordt gewonnen en vastgelegd in ammoniumsulfaat kan worden ingezet in de gebruiksruijme voor kunstmest als RENURE.

Tabel 9 toont de vrachten mest, stikstof en fosfaat die beschikbaar zijn en welk deel daarvan op het beschikbare land kan worden aangewend voor de huidige situatie uitgaande van geen derogatie en voor de situatie waarbij de mest vergist en gestript wordt. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de groep melkveehouders als geheel. Daarbij is er vanuit gegaan dat de mest en digestaat van de groep veehouders wordt aangewend op het beschikbare land van de groep. Met andere woorden: het gebruik van mest wordt binnen de groep geoptimaliseerd. De berekeningen zijn opgenomen in bijlage 7.

Uit tabel 9 kan worden opgemaakt dat bij het wegvallen van de derogatie in de situatie zonder toepassing vergisting en strippen van het digestaat circa 31 kton mest per jaar door de groep melkveehouders zal

⁴ Een PPS is een Publiek Private Samenwerking (een onderzoeksproject betaald door overheid en bedrijfsleven)

moeten worden afgevoerd. De fosfaatgebruiksruimte wordt in deze situatie slechts voor een beperkt deel ingevuld, namelijk circa 64%.

Opgemerkt wordt dat bij toepassing van emissiearme stallen er meer stikstof in de mest achterblijft. Voor de gehele groep is ruim 14 ton stikstof extra beschikbaar bij de uitgangspunten van scenario 2a. Door stikstof te strippen uit het digestaat kan het totale volume digestaat worden benut binnen de gebruiksruimte dierlijke mest van de groep. Alle fosfaat kan binnen de gebruiksruimte van de groep worden benut. De hoeveelheid stikstof die dient te worden gestript en opgevangen bedraagt circa 160 ton per jaar. Dit is de hoeveelheid kunstmeststikstof die de groep veehouders niet hoeft in te kopen.

Tabel 9 Beschikbare mest en gebruik van mest in vrachten mest, stikstof en fosfaat in de huidige situatie zonder derogatie en in de situatie zonder derogatie met toepassing van vergisten en strippen volgens scenario 2a. Weergegeven zijn totalen van de hele groep melkveehouders.

	Vracht mest ton/jaar	Vracht stikstof kg/jaar	Vracht fosfaat kg/jaar
Huidige situatie (zonder derogatie)			
Beschikbaar (weidemest en mest uit opslag)	87.930	417.388	132.382
Gebruiksruimte dierlijke mest		272.000	135.000
Aanwending op eigen grond veehouders	57.066	272.000	85.901
- waarvan weidemest 6.938 ton/jaar			
- waarvan toediening uit opslag 50.128 ton/jaar			
Afvoeren	30.864	145.388	46.481
Situatie met vergisten en strippen			
Beschikbaar (weidemest en digestaat)	85.154 ¹	431.973	132.382
Gebruiksruimte dierlijke mest		272.000	135.000
Aanwending op eigen grond veehouders	85.154	272.000	132.382
- waarvan weidemest 6.938 ton/jaar			
- waarvan toediening uit opslag 78.216 ton/jaar			
Afvoeren	0	0	0
Vervanging stikstofkunstmest	3.199 ²	159.973	0

¹ De totale hoeveelheid van 85.154 m³ mest in dit onderzoek is meer dan uiteindelijk bij WEN gerealiseerd zal worden. De reden is dat WEN een langere lijst van adspirant deelnemers heeft aangelegd om over voldoende mest te kunnen beschikken als in de voorbereidingsperiode een aantal bedrijven om welke reden dan ook alsnog afhaakt.

² ton ammoniumsulfaat met 50 kg N/ton

3.3.2 Economische besparing op kunstmest

Op basis van de gegevens in tabel 9 kunnen de kosten worden berekend voor het afvoeren en aanwenden van de mest en van de besparing van kunstmestkosten voor de situatie met en zonder toepassing van vergisting en strippen. Uit de berekening in tabel 10 kan worden opgemaakt dat de besparing in bemestingskosten voor de gehele groep melkveehouders in de ordegrootte van 700.000 euro per jaar bedraagt voor de situatie waarbij de derogatie volledig is afgebouwd.

Bij de berekening is er vanuit gegaan de transportkosten voor de afvoer van mest naar de centrale plant en het terugbrengen van het digestaat naar de veehouders voor rekening van de centrale vergistingslocatie zijn.

Tabel 10 Besparing bemestingskosten van de groep melkveehouders in €/jaar met en zonder toepassing van centraal vergisten en strippen. In beide gevallen voor de situatie zonder derogatie.

	Hoeveelheid	Tarief	Jaarkosten (€/jaar)
Huidige situatie (zonder vergisten en strippen)			
Afvoeren mest	30.864 ton	20 €/ton	617.271
Toediening mest ¹	50.128 ton	3 €/ton	150.383
Totaal mestkosten			767.654
Situatie met vergisten en strippen			
Afvoeren digestaat	0 ton	20 €/ton	0
Toediening digestaat ²	78.216 ton	3 €/ton	234.647
Besparing stikstofkunstmest	159.973 kg	1 €/kg	-159.973
Totaal mestkosten			74.673
Besparing			692.981

¹ In totaal komt 57.066 ton mest op het land, waarvan 6.938 ton via weidegang en 50.128 via toediening

² In totaal komt 85.154 ton mest op het land, waarvan 6.938 ton via weidegang en 78.216 via toediening

3.3.3 Kosten waszuren

De kosten voor het afvangen van de gestripte stikstof via zure wassing van de striplucht zijn afhankelijk van het type gebruikte zuur. In deze studie is uitgegaan van het gebruik van zwavelzuur, omdat het gebruik van dit zuur het goedkoopst is. Het afvangen van ammoniak met zwavelzuur leidt tot de vorming van ammoniumsulfaat. Er is vanuit gegaan dat dit product als stikstofmeststof kan worden ingezet door de groep melkveehouders. Ammoniumsulfaat is een geschikte meststof, maar het hoge zwavelgehalte is een aandachtspunt (Schils, 2016). Een te hoge ammoniumsulfaatgift kan leiden tot uitspoeling zwavel in de vorm van sulfaat. Een te hoge zwavelgift kan ook nadelig werken voor de opname van sporenelementen door het gewas.

Ammoniumsulfaat mag ook niet gemengd worden met dierlijke mest vanwege het risico op de vorming van het giftige zwavelwaterstofgas (H₂S).

Als alternatief voor het gebruik van zwavelzuur kan gekozen worden voor het gebruik van salpeterzuur voor het afvangen van de gestripte stikstof. Hierbij ontstaat een ammoniumnitraat oplossing. Bij de inzet van salpeterzuur wordt tevens extra stikstof aangevoerd in de vorm van nitraat. Bij gebruik van ammoniumnitraat als meststof spelen de beperkingen ten aanzien van de zwavelgift uiteraard geen rol. De inzet van salpeterzuur leidt wel tot verhoging van de kosten voor de centrale vergistingsplant. Tabel 11 laat zien dat de extra kosten voor het gebruik van salpeterzuur hoger zijn dan het voordeel uit de extra aanvoer van stikstof. Bij het gebruik van zwavelzuur zijn de kosten voor het zuur lager dan de besparing op de aanvoer van kunstmeststikstof. Bij de gehanteerde prijzen is het verschil in netto opbrengsten bij gebruik van zwavelzuur en netto kosten bij gebruik van salpeterzuur aanzienlijk: ruim 2 euro per kg afgevangen stikstof. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de prijzen van zwavelzuur en salpeterzuur in absolute zin en in verhouding tot elkaar in de afgelopen jaren sterk varieerde onder invloed van onder meer de energieprijzen.

Tabel 11 Kosten zuurverbruik luchtwassing en opbrengst bij inzet van het spuiwater als meststof.

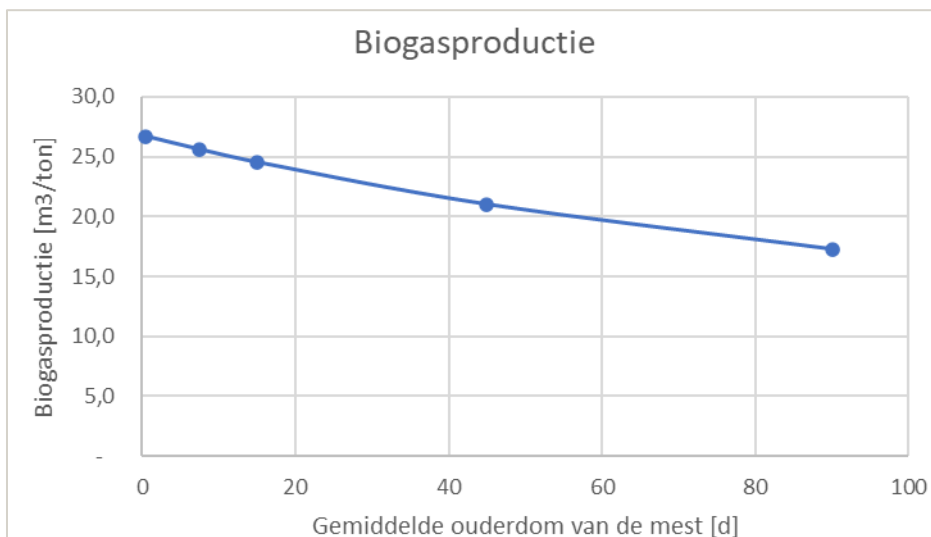
	Zwavelzuur H ₂ SO ₄	Salpeterzuur HNO ₃	Eenheid
Verbruik zuur en kosten			
Benodigde hoeveelheid zuur	0,5	1	mol zuur / mol N
Benodigde hoeveelheid zuur ¹	3,5	4,5	kg zuur (100%)/kg N
Concentratie geleverd product W/w	96%	53%	%
Benodigde hoeveelheid product	3,6	8,5	kg / kg N afgevangen
Prijs (geleverd per tankwagen) ²	100	440	€/ton
Kosten	0,36	3,74	€/kg N afgevangen
Opbrengsten stikstof			
Stikstof in eindproduct	1	2	kg N / kg N afgevangen
Prijs kunstmest stikstof	1	1	€/kg N
Opbrengst	1	2	€/kg N afgevangen
Opbrengst stikstof minus kosten zuur	0,64	-1,74	€/kg N afgevangen

1. Molmassa H₂SO₄ = 98 g/mol, HNO₃ = 63 g/mol, N = 14 g/mol

2. Bron: Prijs zwavelzuur, Van de Boomen Upcycling (2023); Prijs salpeterzuur www.chemanalyst.com

3.4 Ouderdom mest in relatie tot groengasproductie

Figuur 3 toont de berekende gemiddelde biogasproductie per ton rundveedrijfmest bij toenemende gemiddelde ouderdom van de mest van de melkveestal bij invoer in de vergister. In deze studie is uitgegaan van een opslagtermijn van 11 dagen voordat het wordt ingevoerd in de vergister: 7 dagen opslag op het bedrijf en 4 dagen op de vergistingsplant. Deze termijnen zijn bepaald door het aantal dagen wat er nodig is om een volle vracht mest op te halen op een melkveebedrijf en een aantal bufferdagen op de centrale plant alvorens het de vergister ingaat. Figuur 3 laat zien hoe snel de biogasproductie per ton mest afneemt wanneer de melkveestal minder snel ontmest wordt. De verwachte biogasproductie bij de huidige uitgangspunten met een opslagtermijn van 11 dagen is circa 26 m³/ton mest. Wanneer de opslagtermijn zou worden verhoogd naar 30 dagen neemt de biogasproductie met circa 5% af. Dit is omgerekend circa 87.000 m³ minder biogasopbrengst, wat resulteert in een verminderde productie van groengas van 58.000 m³.

**Figuur 3** Gemiddelde ouderdom mest in relatie tot biogasproductie.

3.5 Invloed zeer snelle ontmesting

Ammoniak ontstaat uit ureum die in urine aanwezig is. Dit proces wordt versneld door het enzym urease. Urease wordt geproduceerd door micro-organismen die aanwezig zijn in feces van melkvee of door met feces bevulde oppervlakten. Ureum wordt op de stalvloer en in de mestkelder door het enzym urease omgezet in ammonium. De omzetting verloopt snel. Binnen enkele uren is een groot deel van de uitgescheiden ureum omgezet in ammonium. Dit ammonium is in de vloeistoffase in evenwicht met ammoniak. Ammoniak kan vanuit de vloeistoffase overgaan naar de gasfase en vervluchtigen. De mate waarin dit gebeurt, is afhankelijk van ondermeer ammoniakconcentratie, temperatuur, pH en luchtsnelheid. (Mosquera et al. 2017).

Op bevulde betonnen stalvloeren is het enzym urease normaliter in zeer ruime mate aanwezig en is dan geen beperkende factor bij de vorming van ammonium. Op rubbervloeren kan de urease-activiteit substantieel lager zijn, de ammoniakvorming vertragen, en dan de ammoniakemissie beperken. Naast materiaaleigenschappen kunnen ook de ruwheid, vloeistofindringing en eventuele profilering van de toplaag van de vloer van invloed zijn op de urease-activiteit.

Mosquera et al. (2017), hebben een overzicht van maatregelen opgesteld om de ammoniakemissie vanuit de veehouderij te beperken. Hierbij wordt onder meer het zeer frequent en zo volledig mogelijk verwijderen van de mest uit de stal genoemd als één van de mogelijkheden, eventueel in combinatie met andere maatregelen zoals spoelen van de roosters met water en opslag van mest waarbij de uitwisseling van lucht tussen stal en opslag beperkt wordt.

Er zijn nog weinig praktijkmetingen uitgevoerd waarbij de relatie tussen het zeer snel uitmesten en de ammoniakemissie is onderzocht. In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat hoe sneller de mest uit de stal wordt verwijderd hoe meer effect verwacht wordt ten aanzien van de emissiereductie. Recent uitgevoerd onderzoek in klimaatcellen, waarbij de ammoniakemissie werd gemeten na het opbrengen van urine op een met mest bevulde vloer lijkt deze stelling te bevestigen (Nog niet gepubliceerd onderzoek, Wageningen Livestock Research). Er is echter nog te weinig praktijkonderzoek uitgevoerd om concrete percentages emissiereductie te koppelen aan de frequentie van uitmesten.

4 Discussie en conclusie

4.1 Discussie

De ammoniakemissie reductie is sterk afhankelijk van verschillende factoren, waarbij het gekozen stalsysteem een belangrijke rol speelt. In deze modelstudie is uitgegaan van een gemiddelde ammoniakemissiereductie van 38% voor emissiearme stalsystemen. Echter varieert de ammoniakreductie per stalsysteem en is gebleken dat bepaalde stalsystemen in de praktijk niet altijd de voorgeschreven emissiereductie behalen (Groenestein et al., 2023). De daadwerkelijke reductie in de stal zal daarom met zekerheid kunnen worden vastgesteld wanneer er wordt gekozen voor een specifiek stalsysteem en de emissies in de praktijk worden gemeten, waarbij bedrijfsspecifieke kenmerken worden meegenomen.

De resultaten van deze modelstudie zijn verder afhankelijk van de te verwachten emissiereductie tijdens het aanwenden van mest(producten). Hier kan worden geconcludeerd dat het strippen van het digestaat en het aanwenden van ammoniumsulfaat tot een sterke ammoniakreductie leidt ten opzichte van het aanwenden van drijfmest of digestaat. Verdere reductie tijdens aanwenden door het verdunnen (of aanzuren) van de dunne fractie is mogelijk, maar ook hier geldt dat er in de praktijk grote variatie in resultaten is gevonden (Huijsmans et al., 2015). De werkelijke reductie tijdens aanwenden zal dus vastgesteld moeten worden met praktijkmetingen. Rekening houdend met deze factoren, is het van belang om de resultaten van deze modelstudie niet als vast gegeven te interpreteren, maar als richtlijn te zien voor wat er potentieel in de praktijk behaald kan worden.

Verder is voor deze studie uitgegaan dat het geproduceerde ammoniumsulfaat kan worden ingezet als RENURE product en dus dient als kunstmestvervanger. In de praktijk is dit wettelijk echter nog niet mogelijk. De resultaten moeten daarom worden geïnterpreteerd met de mogelijke toekomstige praktijk waarin derogatie komt te vervallen en ammoniumsulfaat als RENURE kan worden ingezet.

4.2 Conclusie

Er kan worden geconcludeerd dat het implementeren van een emissiearm stalsysteem, waarbij drijfmest dagelijks wordt verwijderd, vergist en gestript tot een significante ammoniak- en broeikasgasemissiereductie kan leiden. Op basis van deze modelstudie kan worden geconcludeerd dat de 26 deelnemende bedrijven de potentie hebben om over de gehele mestverwerkingsketen een ammoniakreductie te behalen van 46% bij scenario 2b en 2c (met een bandbreedte van 30-62%). Emissies van broeikasgassen uit mest, met name methaanemissie, kunnen gereduceerd worden tot circa 78%.

Door gezamenlijke vergisting en bewerking van de mest kan de groep van 26 melkveehouders, ook zonder derogatie, grondgebonden worden: er behoeven geen nutriënten te worden afgevoerd. Dit verwerkingsscenario zorgt er verder voor dat door de productie van ammoniumsulfaat een totale besparing op de aanschaf van kunstmest van circa 160 ton per jaar kan worden behaald, wat voor de gehele groep melkveehouders een besparing van 700.000 euro per jaar bedraagt.

Tot slot kan met het centraal vergisten van mest en opwerken naar groengas 1.786 ton CO₂-emissie worden voorkomen.

Literatuur

Boomen, H. van de. Van de Boomen Upcycling (2023), mondelinge mededeling.

Bruggen, C. van, A. Bannink, A. Bleeker, D.W. Bussink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J. Kros, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, M.B.H. Ros, M.W. van Schijndel, G.L. Velthof en T. van der Zee (2022). *Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2020*. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-technical report 224.

Dijk, W. van. Persoonlijke mededeling op grond van onderzoek, Wageningen Plant Research, 2023

Haas de, M.J.G., van Dijk, T.A. 2010. *Inventarisatie klimaatvriendelijke kunstmest*. Nutriënten Management Instituut NMI, Rapport 1379.

Groenestein, C.M., P.W. Goedhart, C. van Bruggen, I. de Jonge de en N.W.M. Ogink. 2023. *Schatting van stikstofverliezen uit stallen op basis van stikstof-fosfaat verhouding in afgevoerde mest - Evaluatie van de NP-methode en effect van staltype*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1426.

Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G., H.A. van Schooten. 2015. *Ammoniakemissie bij toediening van verdunde mest met een sleepvoetenmachine op grasland*. Wageningen Plant Research International, PRI rapport 633.

Mosquera, J., Aarnink, A.J.A., Ellen, H., van Dooren, H.J.C., van Emous, R.A., van Harn, J. en N.W.M. Ogink. 2017. *Overzicht van maatregelen om de ammoniakemissie uit de veehouderij te beperken*. Geactualiseerde versie 2017. Wageningen, Wageningen Livestock Research, Rapport 645.

Myhre, G., D. Shindell, F.M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestad, J. G. 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.

Schils, R.F.M, 2016. 30 vragen en antwoorden over zwavel. Wageningen: Alterra. 68 p.
<https://edepot.wur.nl/392373>

Together for Sustainability 2022. *The Product Carbon Footprint Guideline for the Chemical Industry*. Specification for product carbon footprint and corporate scope 3.1 emission accounting and reporting. Version 2.0.

Wechselberger, V., T. Reinelt, J. Yngvesson, D. Scharfy, C. Scheutz, M. Huber-Humer and M. Hrad, 2023. Methane losses from different biogas plant technologies. Elsevier, Waste Management 157 (2023) p110-120. Par. 3 Table 2.

Bijlage 1 Bedrijfsgegevens

Tabel B1.1 Bedrijfsgegevens voor input emissiemodel.

Bedrijf	Koeien (aantal)	Jongvee (aantal)	Mestopslag kelder (m ³)	Externe mestopslag	Weide- gang	Areaal (ha)	Mestproductie (m ³)	Mestoverschot ^{1,2} (m ³)
1	100	30	700	1.600	overdag	62	3.000	1.000
2	140	93	5.800	0	geen	77,5	5.210	2.450
3	100	0	1.400	730	overdag	79	3.674	1.175
4	83	0	1.400	0	overdag	50	2.150	600
5	125	10	2.500	0	overdag	60	4.050	1.800
6	120	0	3.000	0	dag+nacht	114	4.000	0
7	65	10	1.350	0	overdag	35	1.350	500
8	130	30	1.800	1.000	overdag	68,5	4.000	2.000
9	65	40	400	1.200	geen	37	1.250	700
10	100	20	300	2.400	overdag	48	3.000	960
11	225	0	4.500	0	overdag	120	7.000	3.000
12	150	0	500	1.300	overdag	70	3.707	2.000
13	95	24	700	2.480	overdag	56	2.687	400
14	85	0	3.100	0	overdag	67	2.320	750
15	55	0	250	400	overdag	35	1.817	400
16	130	55	2.700	0	overdag	72	4.274	1.700
17	75	50	1.400	0	overdag	45	3.500	1.120
18	57	0	600	600	geen	38	1.837	587
19	110	0	1.400	1.600	overdag	80	3.000	500
20	110	0	800	2.200	overdag	73	3.500	1.920
21	75	0	1.900	1.000	overdag	44	2.600	1.250
22	110	40	1.100	0	overdag	75	3.500	1.100
23	85	0	1.100	400	overdag	40	3.400	1.088
24	85	0	900	500	overdag	60	2.600	0
25	125	30	-	-	overdag	45	3.600	1.152
26	90	45	780	2.100	geen	50	3.000	250

¹ Berekend zonder derogatie

² Het totale mestoverschot wijkt af van het overschot waarmee is gerekend in Tabel 10. Dit komt doordat op basis van de dieraantallen het model zelf de mestproductie en -samenstelling heeft berekend, welke (licht) kan afwijken van in de praktijk gevonden volumes en samenstellingen.

Bijlage 2 Uitgangspunten modelstudie

Tabel B2.1 *Uitgangpunten modelstudie voor alle mestverwerkingsscenario's.*

Weide	
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 = 4,1% van TAN	Van Bruggen et al., 2022
N ₂ O-N = 3,3% van N-totaal	Van Bruggen et al., 2022
BMP & Afbraakconstante (Kh)	
BMP stal & opslag = 0,2942 m ³ CH ₄ /kg OS aanwezig	Massabalans
Kh stal en opslag = 0,0060	Massabalans
Kh vergisting = 0,15	Massabalans
Verhouding volume % CH ₄ -CO ₂ = 85-15	Groenestein et al., 2020
Mest in stal & opslag melkvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 0,04 dag	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 0,01%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 5,7% van TAN	EF RAV 8,1 kg NH ₃ /dierplaats/jaar
N ₂ O-N = 0,2% van N-totaal	Bruggen et al., 2022
Mest in stal & opslag jongvee	
Gemiddelde opslagtermijn mest = 0,04 dag	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 0,01%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 14,3% van TAN	Bruggen et al., 2022
N ₂ O-N = 0,2% van N-totaal	Bruggen et al., 2022
Mest in opslag op bedrijf	
Gemiddelde opslagtermijn = 7 dagen	
Omzetting N-org in N-NH ₄ = 1,2%	
<i>Emissies</i>	
NH ₃ -N = 1,0% van TAN	Bruggen et al., 2022
N ₂ O-N = 0,2% van N-totaal	Bruggen et al., 2022
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 = 17% van TAN	Van Bruggen et al., 2022 (zodenbemester grasland)
NH ₃ -N = 2% van TAN	Van Bruggen et al., 2022 (injectie bouwland)
N ₂ O-N = 0,9% van N-totaal	Van Bruggen et al., 2022
<i>Emissies N-concentraat</i>	
NH ₃ -N = 1,5% van N-totaal	Van Bruggen et al., 2022
N ₂ O-N = 1,3% van N-totaal	Van Bruggen et al., 2022

Bijlage 3 RAV Stalsystemen

In Tabel B3.1 zijn de stalsystemen weergegeven die voldoen aan de criteria (1) dichte vloer, (2) mogelijkheid tot dagontmesting en/of (3) gebruik mestschuif of robot⁵. De beschreven stalsystemen komen voor in de Regeling Ammoniak en Veehouderij (RAV)⁶ en hebben een definitieve emissiefactor voor ammoniak toegekend gekregen.

Tabel B3.1 Selectie van stalsystemen uit de RAV lijst welke voldoen aan voorgestelde criteria.

Code	Beschrijving	EF ⁷	Reductie ⁸
A 1.6	Ligboxenstal met dichte hellende vloer, met profilering, met snelle gierafvoer met mestschuif	11	15%
A 1.7	Ligboxenstal met dichte hellende vloer, met rubbertoplaag, met snelle gierafvoer met mestschuif	11	15%
A 1.21	Ligboxenstal met vlakke vloerplaten met tegelprofiel, hellende sleuven en regelmatige mestafstorten voorzien van afdichtflappen of -kleppen en mestschuif.	7	46%
A 1.23	Ligboxenstal met geprofileerde vloerplaten met sterk hellende langssleuven met urineafvoergat en hellende dwarsgroeven, aangesloten gelegd of gescheiden door mestafstorten voorzien van afdichtkleppen, met mestschuif.	6	54%
A 1.24	Ligboxenstal met vloer met sterk hellende langssleuven, de vloerplaten aaneengesloten gelegd of gescheiden door mestafstorten voorzien van afdichtflappen, met mestschuif.	7	46%
A 1.25	Ligboxenstal met vlakke vloer, voorzien van geprofileerde rubber matten met een hellend profiel naar regelmatige mestafstorten voorzien van afdichtflappen, met mestschuif.	10,3	21%
A 1.26	Ligboxenstal met hellende v-vormige vloer, voorzien van geprofileerde rubber matten, met centrale giergoot en mestschuif.	8	38%
A 1.31	Ligboxenstal met sleufvloer met dichte hellende vloer met geprofileerde rubber tegels, met mestschuif.	8,1	38%
A 1.32	Ligboxenstal met vlakke betonnen vloerplaten met sleuven, voorzien van profiel met 1% hellende groeven richting een centrale giergoot met giergaten en mestverwijdering.	9,1	30%
A 1.33	Ligboxenstal met vlakke vloer, voorzien van rubberen sleufvloer met 3% hellende langssleuven en geprofileerd rubber (hellende v-vorm) met groeven en nopjes tussen de langssleuven, met mestschuif.	7,1	45%
A 1.34	Ligboxenstal met dichte gegroefde vloer met rubber matten met een hellend profiel, aangebrachte composietnokken met vingermestschuif.	9,0	31%
A 1.35	Ligboxenstal met vlakke vloer voorzien van rubberen sleufvloer, met vlakke langssleuven en geprofileerd rubber (hellende v-vorm) met groeven en nopjes tussen de langssleuven, met vingermestschuif.	8,3	36%
A 1.38	Ligboxenstal voorzien van geprofileerde rubberen oplegmatten met ruitprofiel onder 2% afschot naar een centrale giergoot en frequente mestverwijdering met vaste mestschuif.	8,9	32%
A 1.40	Ligboxenstal met v-vormige vloer van geprofileerde vloerelementen in een helling van 3,5% in combinatie met een gierafvoerbuis en mestschuif.	6,2	52%

⁵ Voor een uitgebreide beschrijving van emissiearme stalsystemen, zie ook: https://issuu.com/agrifirm/docs/2019-01_emissiearme_stalsystemen.pp/1?ff&e=2579768/67227960&experiment=flat-plan

⁶ <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/emissiearme-stalsystemen/emissiefactoren-per/map-staltypen/hoofdcategorie/>

⁷ Emissie in kg NH₃/dierplaats/jaar

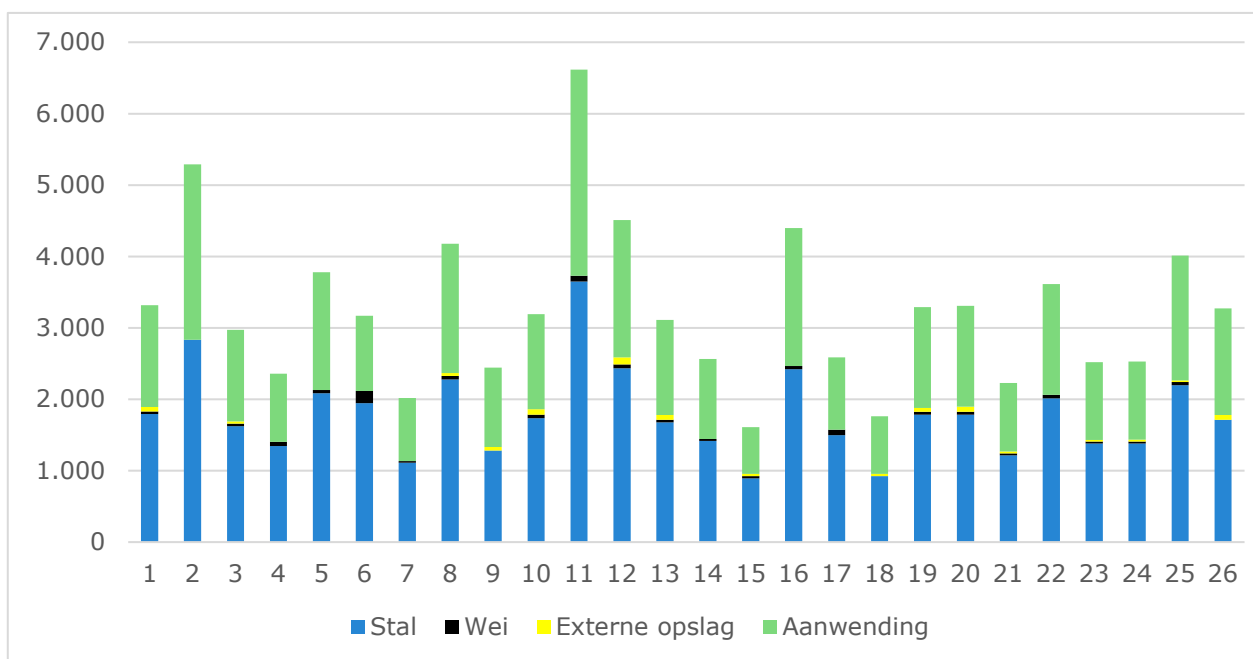
⁸ Ten opzichte van gangbaar stalsysteem (RAV A1.100) met EF = 13,0 kg NH₃/dierplaats/jaar

Bijlage 4 Ammoniak- en broeikasgasemissies per bedrijf in huidige situatie (scenario 0)

Tabel B4.1 Ammoniakemissies per bedrijf (kg NH₃/jaar).

Bedrijf	Stal	Wei	Externe opslag	Aanwending	Totaal ⁹
1	1.792	36	64	1.426	3.317
2	2.834	0	0	2.457	5.291
3	1.622	36	31	1.284	2.973
4	1.347	59	0	953	2.359
5	2.085	44	0	1.652	3.781
6	1.947	171	0	1.053	3.171
7	1.111	23	0	882	2.016
8	2.279	46	43	1.811	4.179
9	1.281	0	49	1.112	2.442
10	1.736	48	78	1.329	3.192
11	3.650	80	0	2.888	6.619
12	2.434	53	99	1.925	4.512
13	1.677	34	68	1.333	3.112
14	1.415	30	0	1.121	2.567
15	892	33	29	656	1.610
16	2.421	46	0	1.929	4.396
17	1.500	76	0	1.013	2.589
18	925	0	29	809	1.762
19	1.785	39	54	1.412	3.290
20	1.785	39	74	1.412	3.310
21	1.217	27	24	963	2.230
22	2.011	52	0	1.552	3.615
23	1.379	30	21	1.091	2.521
24	1.379	30	28	1.091	2.528
25	2.198	44	23	1.747	4.012
26	1.715	0	67	1.490	3.272

⁹ Het gemiddelde van deze totale ammoniakemissies wijkt 1,5% af van de totale ammoniakemissie van het gemiddelde bedrijf welke is gebruikt in de scenariostudie. Dit is te verklaren door afronding van dieren aantallen.



Figuur B4.1 Ammoniakemissies per bedrijf (kg NH₃/jaar).

Bijlage 5 Methaan- en lachgasemissies scenariostudie

Tabel B5.1 Lachgasemissies over de gehele mestketen (kg N₂O/jaar) voor één gemiddeld bedrijf.

Nr.	Scenario	Stal	Wei	Externe opslag	Aanwending	Totaal
0	Huidig	50,8	71,5	8,8	207,53	338,6
1a	Dagverse drijfmest	32,4	71,5	0,9	216,34	321,2
2	Dagvers + strippen	32,4	71,5	0,9	253,90	358,7
2a	Dagvers + strippen + verdunnen	32,4	71,5	48,1	253,90	405,9
2b	Dagvers+ strippen + aanzuren	32,4	71,5	48,1	253,90	405,9

Tabel B5.2 Methaanemissies over de gehele mestketen (kg/jaar) voor één gemiddeld bedrijf.

Nr.	Scenario	Stal	Wei	Externe opslag	Vergisting	Totaal
0	Huidig	14.379,9	24,8	360,6		14.765,3
1a	Dagverse drijfmest	10,2	24,8	16,2	525,0	576,2
2	Dagvers + strippen	10,2	24,8	16,2	525,2	576,5
2a	Dagvers + strippen + verdunnen	10,2	24,8	16,2	525,2	576,5
2b	Dagvers+ strippen + aanzuren	10,2	24,8	16,2	525,2	576,5

Bijlage 6 Berekening CO₂-emissie vergistingsplant Wijnjewoude

Scenario 2a:

- Aanvoer mest melkveebedrijven naar centrale plant
- Vergisten van de mest van de melkveebedrijven
- Productie van groengas uit biogas (membraantechnologie)
- Strippen van stikstof uit het digestaat (35% van N-tot excretie, 62% van NH₄-N digestaat)
- Digestaat terug naar melkveebedrijven
- Ammoniumsulfaat uit stripproces inzetten in plaats van (deel van de) kunstmest

Tabel B6.1 Berekening CO₂-emissie vergistingsplant

Onderdeel	Waarde	Eenheid	Toelichting	Bron
Emissies plant				
Energieverbruik plant	2.000.000	kWh/jaar	Inclusief verwarmen vergister	1
	0,456	Kg CO ₂ /kWh	Brandstofmix Nederland	2
	912.000	Kg CO ₂ /jaar		
	912	ton CO ₂ /jaar		
Aanvullend transport	80.991	ton/jaar	Mest naar plant	3
	78.412	ton/jaar	Digestaat naar veehouders	3
	159.403	ton/jaar	Totaal vracht	
	5	km	Enkele reis (gemiddeld)	1
	0,088	kg CO ₂ /tonkm	Bij trekker met oplegger	2
	70.137	kg CO ₂ /jaar		
	70	ton CO ₂ /jaar		
Methaanverliezen plant	13.656	kg CH ₄ /jaar		3
	28	kg CO ₂ eq/kg CH ₄		2
	382.366	kg CO ₂ eq/jaar		
	382	ton CO ₂ /jaar		
Aankoop zwavelzuur	560	ton/jaar		3
	0,14	ton CO ₂ eq/ton	Cradle to gate	5
	78	ton CO ₂ eq/jaar		
Voorkomen emissies plant				
Besparing aardgas	2,1	mIn Nm ³ /jaar	Biogas	3
	1,4	mIn Nm ³ /jaar	Groengas	3
	2,079	kg CO ₂ /Nm ³	Emissie bij productie en gebruik	2
	2.878.056	kg CO ₂ /jaar		
	2.878	ton CO ₂ /jaar		
Besparing kunstmest	159.973	kg N/jaar	Zie bijlage 7	3
	2,19	kg CO ₂ /kg N		4
	350.342	kg CO ₂ /jaar		
	350	ton CO ₂ /jaar		

Bron:

1. Opgave opdrachtgever
2. <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijst-emissiefactoren/>
3. Berekening emissiemodel deze studie
4. De Haas et al. (2010), Inventarisatie klimaatvriendelijke kunstmest.
5. Tfs (2022). The product carbon footprint guideline for the chemical industry.

Bijlage 7 Berekening bemestingskosten groep melkveehouders

Tabel B7.1 Berekening bemestingskosten voor scenario 0: Huidige situatie, zonder derogatie, zonder vergisting.

<u>Beschikbaar</u>	Tonnage	Gehalte		Vracht	
		N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
	ton/jaar	kg/ton	kg/ton	kg/jaar	kg/jaar
Weidemest	6.938	5,2	1,5	35.865	10.408
Drijfmest	80.991	4,7	1,5	381.524	121.974
Totaal beschikbaar	87.930			417.388	132.382
<u>Gebruiksruimte</u>	Oppervlakte	N		P ₂ O ₅	
		kg/ha	kg/ha	kg/jaar	kg/jaar
	ha				
Grasland	1.300	170	90	221.000	117.000
Bouwland	300	170	60	51.000	18.000
Totaal gebruiksruimte	1.600			272.000	135.000
<u>Invulling ruimte dierlijke mest</u>	Limiterend	Stikstof		N	
				kg/jaar	kg/jaar
	ton/jaar				
Weidemest	6.938			35.865	10.408
Drijfmest	50.128			236.135	75.493
Aanwending	57.066			272.000	85.901
Percentage van gebruiksruimte				100%	64%
Afvoeren	30.864			145.388	46.481

Tabel B7.2 Berekening bemestingskosten voor scenario 2: Dagverse mest, vergisting en strippen.

Aandeel stikstofverwijdering t.o.v. N-totaal digestaat	35%				
Hoeveelheid N van ammoniakale stikstof in digestaat gestript	62%				
Beschikbaar	Tonnage ton/jaar	Gehalte		Vracht	
		N kg/ton	P ₂ O ₅ kg/ton	N kg/jaar	P ₂ O ₅ kg/jaar
Weidemest	6.938	5,2	1,5	35.865	10.408
Digestaat	78.216	3,0	1,6	236.135	121.974
Ammoniumsulfaat	3.199	50	0	159.973	0
Totaal beschikbaar				431.973	132.382
Gebruiksruimte	Oppervlakte ha	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	N kg/jaar	P ₂ O ₅ kg/jaar
Grasland	1300	170	90	221.000	117.000
Bouwland	300	170	60	51.000	18.000
Totaal gebruiksruimte	1.600			272.000	135.000
Invulling ruimte dierlijke mest	Limiterend ton/jaar	stikstof		N kg/jaar	P ₂ O ₅ kg/jaar
Weidemest	6.938			35.865	10.408
Digestaat	78.216			236.135	121.974
Ammoniumsulfaat	0			0	0
Totaal aanwenden				272.000	132.382
Percentage van gebruiksruimte				100%	98%
Afvoeren					
Digestaat	0			0	0
Vervanging kunstmest	Tonnage ton/jaar			N kg/jaar	P ₂ O ₅ kg/jaar
Aanwenden ammoniumsulfaat	3.199			159.973	0
Vermeden kunstmest inkoop		1 € /kg N		159.973 € /jaar	

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.

