



Verkenning kosteneffectiviteit van potentiële technische innovaties voor de reductie van de ammoniakemissie

Katrin Oltmer, Harry Luesink en Tanja de Koeijer



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Verkenning kosteneffectiviteit van potentiële technische innovaties voor de reductie van de ammoniakemissie

KBG NL Mest WP4 organisatie keten

Katrin Oltmer, Harry Luesink en Tanja de Koeijer

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Economic Research 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 Economic Research
Wageningen, september 2023

RAPPORT
2023-089
ISBN 978-94-6447-842-6

Oltmer, K., H. Luesink, T. Koeijer, 2023. *Verkenning kosteneffectiviteit van potentiële technische innovaties voor de reductie van de ammoniakemissie; KBG NL Mest WP4 organisatie keten*. Wageningen, Wageningen Economic Research, Rapport 2023-089. 66 blz.; 3 fig.; 28 tab.; 26 ref.

Innovatieve technieken voor mestbewerking, -verwerking en -aanwending kunnen een bijdrage leveren aan de reductie van de ammoniakemissie uit de landbouw. Voor een aantal technieken in de sectoren melkveehouderij, varkenshouderij en vleeskalverhouderij zijn de investeringsbedragen en de jaarkosten op een rij gezet en is de reductie van de ammoniakemissie in kaart gebracht. De kosteneffectiviteit van de reductie van de ammoniakemissie per maatregel is berekend als euro per kg NH₃ per jaar. Vervolgens is gekeken in hoeverre met de besproken technieken de kabinetsdoelstellingen voor de reductie van de ammoniakemissie kunnen worden bereikt.

Innovative techniques for manure processing and application can contribute to the reduction of ammonia emission from agriculture. For a number of techniques that are applied in dairy farming, pig production and veal calf farming the amounts of investment money, the annual costs and the reduction of the ammonia emission that can be achieved with the technique are assessed. The cost effectiveness is calculated as euro per kg NH₃ per year. Furthermore, it is evaluated to what extent the techniques discussed are able to reach the targets concerning the ammonia emission reduction set by the Dutch government.

Trefwoorden: Mestverwerking, mestverwaarding, ammoniakemissie, methaanemissie, kosteneffectiviteit

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/636580> of op www.wur.nl/economic-research (onder Wageningen Economic Research publicaties).

© 2023 Wageningen Economic Research
Postbus 29703, 2502 LS Den Haag, T 070 335 83 30, E communications.ssg@wur.nl,
www.wur.nl/economic-research. Wageningen Economic Research is onderdeel van Wageningen University & Research.



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

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

Wageningen Economic Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Wageningen Economic Research Rapport 2023-089 | Projectcode 2282200638

Foto omslag: Shutterstock

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	6
S.1 Kernvraag	6
S.2 Boodschap	6
S.3 Methodologie	8
Summary	9
S.1 Key issue	9
S.2 Key message	9
S.3 Methodology	11
1 Inleiding	12
1.1 Context	12
1.2 Kernvraag en deelvragen	12
1.3 Afbakening	13
1.4 Leeswijzer	13
2 Methode	15
2.1 Ammoniakemissie basissituatie	16
2.2 Berekening reductie Ammoniakemissie	17
2.3 Investerings, jaarkosten en kosteneffectiviteit	17
2.4 Methaanemissie	18
3 Melkvee: gescheiden opvang urine en feces	20
3.1 Gescheiden opvang urine en feces in de stal	20
3.2 Aanwending met zodenbemester	21
3.3 Aanwending urine met spaakwielbemesting	21
3.4 Gescheiden opvang urine en feces met emissiearme vloer	22
3.5 Gescheiden opvang urine en feces + spaakwielbemesting en emissiearme vloer	22
4 Melkvee: Dagontmesting-monovergisten-strippen	24
4.1 Reductie ammoniakemissie	24
4.2 Kosten en baten	25
4.3 Plus korrelen vaste fractie	28
5 Melkvee: Semidichte vloer – onderafzuiging – luchtwasser	29
5.1 Reductie van de emissies uit de stal	29
5.2 Investerings en kosten	29
5.3 Mestproducten en ammoniakemissie	30
5.4 Inclusief monovergisten	31
6 Varkens: Dagontmesting + mestverwerking	33
6.1 Procesbeschrijving	33
6.2 Reductie ammoniakemissie	34
6.3 Producten bij verwerking van varkensmest	34
6.4 Investerings en jaarkosten	35
6.5 Invloed van energietarieven op resultaten 125 kton-installatie	37
7 Vleeskalverhouderij: Dagontmesting + verwerking met groengas (variant HBE)	39

7.1	Referentiescenario	39
7.2	Emissiereductie	40
7.3	Investeringen, kosten en producten	40
7.4	Jaarkosten en kosteneffectiviteit	42
8	Kalverhouderij: Scheiding urine en feces	43
8.1	Referentiescenario	43
8.2	Emissiereductie	43
8.3	Investeringen, kosten en producten	44
8.4	Jaarkosten en kosteneffectiviteit	45
9	Vergelijking kosteneffectiviteit	46
10	Conclusies en discussie	51
Bronnen en literatuur		54
Bijlage 1	Ammoniakemissie bij traditionele situatie en met dagontmesting-monovergisting-strippen, in kg NH₃ enNH₃-N per dierplaats per jaar.	56
Bijlage 2	Notitie: Update scenario verwaarding varkensmest 125 kton	57

Woord vooraf

De Nederlandse agrarische sector staat wereldwijd bekend om zijn vooruitstrevendheid en innovatievermogen. Deze eigenschappen stellen een relatief klein land in staat grote hoeveelheden kwalitatief hoogwaardige agrarische producten te produceren. Dit systeem is het resultaat van het na de Tweede Wereldoorlog ingezette beleid om Nederland en Europa zelfvoorzienend te maken. Een keerzijde hiervan zijn de mest- en mineralenoverschotten in de veehouderijsectoren, die eind jaren tachtig steeds in beeld kwamen en die de gemoederen inmiddels hoog op kunnen laten lopen. Voor de een is mest een waardevol productiemiddel, voor de ander wordt mest gezien als een gevaar voor natuur en milieu. De volgende stap in de evolutie van de Nederlandse landbouw is nu om met behulp van dezelfde vooruitstrevendheid en hetzelfde innovatievermogen systemen te ontwikkelen waarmee dierlijk mest niet langer als probleem wordt gezien, maar de status van waardevol bijproduct uit de veehouderij terugverdiend en zelfs essentieel is voor het sluiten van lokale en regionale kringlopen.

In de Publiek Private Samenwerking NL Next Level Mest Verwaarden hebben zes bedrijven uit de agrarische sector (Agrifirm, Darling Ingredients International, ForFarmers, Royal Friesland Campina, Van Drie Groep en De Heus), Wageningen Universiteit & Research en het ministerie van LNV de handen ineen geslagen om gezamenlijke stappen te zetten richting de herwaardering van dierlijke mest. Het speerpunt is hierbij gericht op het verwerken en verwaarden van mest tot marktrijpe organische en anorganische bemestingsproducten voor de afzet naar de Nederlandse land- en tuinbouw en daarbuiten. Essentiële voorwaarde is hierbij dat de mestverwaarding bijdraagt aan de reductie van de ammoniak- en broeikasgasemissie uit de Nederlandse veehouderijsector.

Deze studie is uitgevoerd door Wageningen Economic Research. De auteurs danken alle leden van de PPS NL Next Level Mest Verwaarden voor hun deskundige bijdragen aan dit onderzoek en in het bijzonder de financiers voor het mogelijk maken van deze studie. Verder bedanken de auteurs alle geconsulteerde personen in het veld die door hun kennis van de praktijk bij hebben gedragen aan de inhoud van dit onderzoek.



Ir. O. (Olaf) Hietbrink
Business Unit Manager Wageningen Economic Research
Wageningen University & Research

Samenvatting

S.1 Kernvraag

In hoeverre dragen technische maatregelen bij aan de reductie van de ammoniakemissie uit de veehouderij en hoeveel kost dat per eenheid gereduceerde emissie?

Antwoorden op deze vraag kunnen ondersteuning bieden aan beleidsmakers op verschillende bestuursniveaus bij het kiezen van de meest geschikte maatregel of bij het samenstellen van de juiste maatregelmix als het gaat over de invulling van het nationale stikstofbeleid in de regio. De volgende deelvragen zijn onderzocht:

- Welke innovatieve technieken voor mestbewerking en -verwerking en aanwending kunnen worden geïdentificeerd en zijn voldoende gedocumenteerd om de kosteneffectiviteit inzichtelijk te maken?
- Wat zijn investeringen, kosten en totale ammoniakreductie van de geïdentificeerde technieken?
- Met welke techniek kan de ammoniakemissie het meest kosteneffectief omlaag worden gebracht?
- Is het mogelijk om de doelstelling voor de reductie van de ammoniakemissie van gemiddeld 40% in 2030 te realiseren op basis van technische innovaties?
- In welke mate wordt met de gekozen maatregelen naast een reductie van de ammoniakemissie ook een reductie van de broeikasgasemissie, en dan met name de methaanemissie, bereikt?

S.2 Boodschap

Welke innovatieve technieken voor mestbewerking en -verwerking en aanwending kunnen worden geïdentificeerd en zijn voldoende gedocumenteerd om de kosteneffectiviteit inzichtelijk te maken?

De volgende technische maatregelen konden worden geïdentificeerd:

Maatregel	Sector
Gescheiden opvang urine en feces + zodenbemester	Melkvee
Gescheiden opvang urine en feces + spaakwielbemesting	Melkvee
Gescheiden opvang urine en feces + emissiearme vloer	Melkvee
Gescheiden opvang urine en feces + spaakwielbemesting en emissiearme vloer	Melkvee
Dagontmesting-monovergisten-strippen	Melkvee
Dagontmesting-monovergisten-strippen plus korrelen vaste fractie	Melkvee
Semidichte vloer – onderafzuiging – luchtwasser	Melkvee
Semidichte vloer – onderafzuiging – luchtwasser plus monovergisten	Melkvee
Dagontmesting + mestverwerking 125 kton	Varkenshouderij
Dagontmesting + mestverwerking 250 kton	Varkenshouderij
Dagontmesting + mestverwerking 750 kton	Varkenshouderij
Dagontmesting + mestverwerking 250 kton en 750 kton	Kalverhouderij (blankvlees en rosé)
Scheiding urine en feces	Kalverhouderij (blankvlees en rosé)

Wat zijn investeringen, kosten en totale ammoniakreductie van de geïdentificeerde technieken?

Jaarkosten, reductie van de NH₃-emissie bij 100% adoptie en kosteneffectiviteit van de verschillende maatregelen zijn samengevat in onderstaande tabel.

HS		Reductie NH ₃ -emissie (mln. kg)	Jaarkosten (mln. euro)	Kosteneffectiviteit (euro/kg NH ₃)
Melkveehouderij				
3	Gescheiden opvang van urine en feces, zodenbemester	8,7	102,6	12
3	Gescheiden opvang van urine en feces, indikken en spaakwielbemester	11,2	175,7	16
3	Gescheiden opvang van urine en feces, emissiearme vloer, zodenbemester	13,1	158	12
3	Gescheiden opvang van urine en feces, emissiearme vloer, indikken en spaakwielbemester	15,6	286,4	18
4	Dagontmesting-monovergisten-strippen	13,6	376	28
4	Dagontmesting-monovergisten-strippen plus korrelen vaste fractie	24,3	575	24
5	Semidichte vloer-onderafzuiging-luchtwater	17,4	407,5	23
5	Semidichte vloer-onderafzuiging-luchtwater plus monovergisten	11,8	407,5	35
Varkenshouderij				
6	Dagontmesting + verwerking 125 kton	9,5	185,6	20
6	Dagontmesting + verwerking 250 kton	9,5	98	10
6	Dagontmesting + verwerking 750 kton	9,5	19,6	2
Vleeskalverhouderij				
Dagontmesting en verwerking				
7	Blankvlees: 250 kton, laag HBE	1,7	39,4	25
7	Blankvlees: 250 kton, verwacht HBE	1,7	28,8	18
7	Blankvlees: 750 kton, laag HBE	1,7	27	17
7	Blankvlees: 750 kton, verwacht HBE	1,7	16,4	10
7	Rosé: 250 kton, laag HBE	1,3	31,3	24
7	Rosé: 250 kton, verwacht HBE	1,3	12,8	10
7	Rosé: 750 kton, laag HBE	1,3	16,1	12
7	Rosé: 750 kton, verwacht HBE	1,3	-0,7	-0,5
Scheiden van urine en feces en verwerking				
8	Blankvlees: 250 kton	2	59,0	30
8	Blankvlees: 750 kton	2	46,6	23
8	Rosé: 250 kton	1,2	47,6	24
8	Rosé: 750 kton	1,2	35,8	15

Met welke techniek kan de ammoniakemissie het meest kosteneffectief omlaag worden gebracht?

De maatregel dagontmesting met grootschalige verwerking (750 kton) komt zowel in de varkenshouderij als ook in de kalverhouderij als de meest kosteneffectieve maatregel uit de bus. Binnen de melkveehouderij laten de twee varianten van gescheiden opvang van urine en feces de laagste kosteneffectiviteit zien.

Is het mogelijk om de doelstelling voor de reductie van de ammoniakemissie van gemiddeld 40% in 2030 te realiseren op basis van technische innovaties?

Volgens de kabinetsdoelstellingen moet er tot 2030 39 mln. kg NH₃ uit de landbouw worden gereduceerd. De volgende uitspraken gelden voor de veronderstelling dat 100% van de bedrijven de maatregelen toepassen. Als alleen de meest kosteneffectieve maatregelen zou worden ingezet, dan kan in totaal 25,1 mln. kg NH₃ worden gereduceerd, oftewel 65% van de kabinetsdoelstelling. Dit kan worden bereikt met totale jaarkosten van 200 mln. euro. Als alleen de maatregelen met de hoogste potentiële emissiereductie worden ingezet, kan in totaal 37,1 mln. kg NH₃ worden gereduceerd, wat 95% is van de kabinetsdoelstelling. De totale jaarkosten hiervan liggen tussen de 440 en 600 mln. euro.

Technische maatregelen zijn dus potentieel in staat om de kabinetsdoelstelling voor de reductie van de ammoniakemissie voor 95% te halen. De resterende 5% kan worden aangevuld met bijvoorbeeld technische maatregelen in de jong- en vleesveestallen. Ook blijft opkopen van productierechten een mogelijkheid om te worden toegepast binnen de mix van maatregelen voor emissiereductie door de landbouw.

In welke mate wordt met de gekozen maatregelen naast een reductie van de ammoniakemissie ook een reductie van de broeikasgasemissie, en dan met name de methaanemissie, bereikt?

De mogelijke reductie van broeikasgassen door de verschillende maatregelen is in deze studie semi-kwantitatief beoordeeld. Er zijn geen harde cijfers aan gekoppeld. Feit is dat de technieken met regelmatige ontmesting (bijvoorbeeld dagontmesting) en monovergisten de grootste bijdrage aan de reductie van de broeikasgasemissie (en dan met name methaan) kunnen geven. Hiermee moet bij de vergelijking van de kosteneffectiviteit van de technische maatregelen, die zich alle richten op de ammoniakemissie, rekening worden gehouden. Volgens het klimaatplan moet de landbouw tot 2030 1 megaton CO₂-equivalent hebben gereduceerd. Om die reden wordt dit beleidsterrein steeds belangrijker worden en daarom moeten de effecten van innovaties op de methaanemissie zeker in beschouwing worden genomen.

S.3 Methodologie

De kosteneffectiviteit van ammoniakemissie reducerende maatregelen is uitgedrukt in euro per kg NH₃, het bedrag dat nodig is om 1 kg ammoniak te kunnen verlagen. De kosteneffectiviteit een maatregel is bepaald op basis van informatie over 1) de kosten (en opbrengsten) die de invoering van de technische maatregelen met zich meebrengt, 2) de reductie van de ammoniakemissie die met de technische maatregel kan worden bereikt en 3) de ammoniakemissie uit de veehouderij zonder interventie (de basissituatie). Informatie over de kosten en emissiereductie van de maatregelen stamt uit verschillende casestudies, andere rapporten (die binnen de PPS Next Level Mestverwaarden zijn verschenen) en interviews met deskundigen. Informatie over de ammoniakemissie in het basisjaar 2019 is afkomstig van Bruggen (2021).

Om de informatie vergelijkbaar te maken zijn alle gegevens doorgerekend naar nationaal niveau. Dat houdt in dat verondersteld wordt dat alle bedrijven in Nederland met de betreffende diercategorie deze maatregel toepassen. Er wordt dus gekeken naar de maximaal mogelijke emissiereductie bij een toepassing van 100%. Naast het vergelijkbaar maken kan hiermee ook inzichtelijk worden gemaakt in hoeverre de maatregel een bijdrage levert aan de door het beleid beoogde emissiereductie. Vanuit de resultaten op landelijk niveau zijn de gegevens teruggerekend naar dierplaats per jaar, omdat dit voor toepassingen in de praktijk een goed werkbaar eenheid is.

Summary

S.1 Key issue

To what extent do technical measures contribute to the reduction of ammonia emissions from livestock farming and what do these measures cost per unit of emissions reductions?

The answers to these questions could help policy makers at various levels of government to choose the most appropriate measure – or mix of measures – needed to meet the requirements of the national nitrogen policy at the regional level. Answers were sought for the following sub-questions:

- Which innovative manure processing and application measures have been identified and sufficiently documented such that their cost-effectiveness can be calculated?
- What investments and costs do the identified measures involve and what is their total contribution to ammonia reduction?
- Which measure is the most cost-effective for reducing ammonia emissions?
- Is it possible to achieve the ammonia reduction target of 40% (on average) by 2030 with only technical innovations?
- To what extent do the measures selected achieve a reduction in greenhouse gas emissions (particularly methane emissions), in addition to reducing ammonia emissions?

S.2 Key message

Which innovative manure processing and application measures have been identified and sufficiently documented such that their cost-effectiveness can be calculated?

The following technical measures were identified:

Measure	Sector
Separate collection of urine and faeces + slurry injection	Dairy farming
Separate collection of urine and faeces + spoke wheel injection	Dairy farming
Separate collection of urine and faeces + low emission floor	Dairy farming
Separate collection of urine and faeces + spoke wheel injection + low emission floor	Dairy farming
Daily slurry removal + mono-fermentation + stripping	Dairy farming
Daily slurry removal + mono-fermentation + stripping + solid fraction granulation	Dairy farming
Semi-closed floor + floor extraction + air scrubber	Dairy farming
Semi-closed floor + floor extraction + air scrubber + mono-fermentation	Dairy farming
Daily slurry removal + manure processing, 125 kt	Pig farming
Daily slurry removal + manure processing, 250 kt	Pig farming
Daily slurry removal + manure processing, 750 kt	Pig farming
Daily slurry removal + manure processing, 250 kt and 750 kt	Calf farming (white and pink veal)
Separation of urine and faeces	Calf farming (white and pink veal)

What investments and costs do the identified measures involve and what is their total contribution to ammonia reduction?

The annual costs, NH₃ emissions reductions (based on 100% adoption) and cost effectiveness of the various measures are summarised in the table below.

HS		Reduction of NH ₃ emissions (million kg)	Annual costs (€ millions)	Cost effectiveness (euro/kg of NH ₃)
Dairy farming				
3	Separate collection of urine and faeces + slurry injection	8.7	102.6	12
3	Separate collection of urine and faeces + thickening + spoke wheel injection	11.2	175.7	16
3	Separate collection of urine and faeces + low emission floor + slurry injection	13.1	158	12
3	Separate collection of urine and faeces + low emission floor + thickening + spoke wheel injection	15.6	286.4	18
4	Daily slurry removal + mono-fermentation + stripping	13.6	376	28
4	Daily slurry removal + mono-fermentation + stripping + solid fraction granulation	24.3	575	24
5	Semi-closed floor + floor extraction + air scrubber	17.4	407.5	23
5	Semi-closed floor + floor extraction + air scrubber + mono-fermentation	11.8	407.5	35
Pig farming				
6	Daily slurry removal + manure processing, 125 kt	9.5	185.6	20
6	Daily slurry removal + manure processing, 250 kt	9.5	98	10
6	Daily slurry removal + manure processing, 750 kt	9.5	19.6	2
Calf farming				
Daily slurry removal + processing				
7	White veal: 250 kt, low HBE	1.7	39.4	25
7	White veal: 250 kt, expected HBE	1.7	28.8	18
7	White veal: 750 kt, low HBE	1.7	27	17
7	White veal: 750 kt, expected HBE	1.7	16.4	10
7	Pink veal: 250 kt, low HBE	1.3	31.3	24
7	Pink veal: 250 kt, expected HBE	1.3	12.8	10
7	Pink veal: 750 kt, low HBE	1.3	16.1	12
7	Pink veal: 750 kt, expected HBE	1.3	-0.7	-0.5
Separate collection of urine and faeces + processing				
8	White veal: 250 kt	2	59.0	30
8	White veal: 750 kt	2	46.6	23
8	Pink veal: 250 kt	1.2	47.6	24
8	Pink veal: 750 kt	1.2	35.8	15

Which measure is the most cost-effective for reducing ammonia emissions?

The measure involving daily slurry removal and large-scale processing (750 kt) proves to be the most cost-effective measure in both pig and calf farming. The two measures involving separate collection of urine and faeces are the least cost-effective for dairy farming.

Is it possible to achieve the ammonia reduction target of 40% (on average) by 2030 with only technical innovations?

The government has set a target for agricultural emissions reductions of 39 million kg of NH₃ by 2030. The following statements apply based on the assumption that 100% of farms adopt the measures. If only the most cost-effective measures are applied, a total of 25.1 million kg of NH₃ emissions reductions is achievable, i.e. 65% of the government's target. The total annual cost would be €200 million. If only the measures with the highest potential emissions reductions are applied, a total of 37.1 million kg of NH₃ emissions reductions is achievable, i.e. 95% of the government's target. The total annual costs of these measures are between €440 and 600 million.

Technical measures could thus potentially enable the sector to meet the government's target of 95% ammonia emissions reductions. The remaining 5% could be met by implementing technical measures in young stock and beef cattle barns, for example. Buying up production rights also remains an option as part of the mix of agricultural emissions reduction measures.

To what extent do the measures selected achieve a reduction in greenhouse gas emissions (particularly methane emissions), in addition to reducing ammonia emissions?

The potential greenhouse gas reductions achievable through the various measures was semi-quantitatively assessed in this study. No hard figures were produced. However, it is known that the measures involving regular removal of slurry (e.g. daily removal) and mono-fermentation make the biggest contribution to reducing greenhouse gas emissions (particularly methane). This should be taken into account when comparing the cost-effectiveness of the technical measures, which all target ammonia emissions. According to the climate plan, the agriculture sector must achieve a reduction of 1 megaton of CO₂ equivalents by 2030. This policy target is thus becoming increasingly important, and so the effects of innovations on methane emissions definitely have to be taken into account.

S.3 Methodology

The cost-effectiveness of measures to reduce ammonia emissions is expressed in euros per kg of NH₃; this is the amount needed to achieve 1 kg of ammonia reductions. The cost-effectiveness of a measure was determined based on the following data: 1) the costs (and revenues) of introducing the technical measures; 2) the ammonia emissions reductions that could be achieved with the technical measure; and 3) the ammonia emissions produced by livestock farming without adopting the intervention (the baseline situation). The information on the costs and emissions reductions of the measures was obtained from various case studies, other reports (published as part of the Next Level Manure Valorization PPP), and interviews with experts. Information on ammonia emissions in the baseline year 2019 was obtained from Van Bruggen (2021).

The data were extrapolated to the national level for comparison. This means that it was assumed that all farms in the Netherlands within the relevant animal category would adopt the measure, with the maximum possible emissions reduction based on this 100% adoption. In addition to rendering the data comparable, this can also provide insight into the extent to which a measure could contribute to the emissions reductions envisaged in the policy. The data for the national level were then converted back to 'animal place per year', as this is a workable unit for practical application.

1 Inleiding

1.1 Context

Volgens de actuele Startnotitie Nationaal Programma Landelijk Gebied heeft de rijksoverheid de doelstelling dat in 2030 ten minste 74% van het areaal met stikstofgevoelige natuur in Natura 2000-gebieden onder de zogenaamde kritische depositiewaarde moet worden gebracht (LNV, 2022). Vertaald naar de ammoniakemissie uit de landbouw betekent dat een nodige reductie van naar verwachting 39 kton NH₃ op landelijk niveau (LNV, 2022).

In 2019 lag de bijdrage van de landbouw aan de ammoniakemissie bij 105,6 mln. kg (Van Bruggen, 2021). Een reductie van 39 kton NH₃ komt dan erop neer dat de ammoniakemissie tot 2030 met gemiddeld circa 40% naar beneden moet worden gebracht.¹ In de gebiedsgerichte uitwerkingen van het actuele stikstofbeleid kan dit percentage afhankelijk lokale en regionale omstandigheden variëren.

Een veelbesproken maatregel in het huidige stikstofbeleid is het opkopen van productierechten en landbouwgrond. Hierbij gaat het in veel gevallen om gedwongen uitkoop van piekbelasters en dat zorgt voor de nodige discussie in de agrarische gemeenschap en de maatschappij in het algemeen. Alternatief voor of aanvullend op het opkopen van bedrijven kunnen technische innovaties op het gebied van mestverwerking en -bewerking ingezet worden om de stikstofemissie, en dan met name de ammoniakemissie, verder te reduceren. Daarnaast leveren veel technische maatregelen een bijdrage aan de reductie van de methaanemissie uit stallen en opslag. In de praktijk zal uiteindelijk een mix van maatregelen gerealiseerd moeten worden om aan de doelstellingen voor emissiereductie te kunnen voldoen. Afhankelijk van de lokale omstandigheden wat betreft bedrijfsstructuur en natuurkwaliteit kunnen afwegingen worden gemaakt hoe deze mix van maatregelen precies kan worden vorm gegeven. Er kan worden gekeken of technische oplossingen bij kunnen dragen aan het bereiken van de doelstellingen voor emissiereductie, en zo ja in welke mate.

Voor de overheid en andere betrokken partijen geeft dit rapport inzicht in de kosteneffectiviteit van de verschillende technische maatregelen voor ammoniakreductie. Daarnaast geeft dit rapport aan in welke mate de doelstelling voor de emissiereductie kan worden behaald met de besproken maatregelen. Op basis van deze informatie kunnen afwegingen worden gemaakt welke manier het beschikbare budget voor emissiereductie ingezet kan worden.

1.2 Kernvraag en deelvragen

De centrale onderzoeksvraag voor deze studie is:

Welke emissiereducties zijn mogelijk door het toepassen van innovatieve maatregelen voor mestverwaarding?

Voor de beantwoording van de centrale onderzoeksvraag, zijn de volgende deelvragen geformuleerd:

- Welke innovatieve technieken voor mestbewerking en -verwerking en aanwending kunnen worden geïdentificeerd en zijn voldoende gedocumenteerd om de kosteneffectiviteit inzichtelijk te maken?
- Wat zijn investeringen, kosten en totale ammoniakreductie van de geïdentificeerde technieken?
- Met welke techniek kan de ammoniakemissie het meest kosteneffectief omlaag worden gebracht?
- Is het mogelijk om de doelstelling voor de reductie van de ammoniakemissie van gemiddeld 40% in 2030 te realiseren op basis van technische innovaties?

¹ In de Startnotitie Nationaal Programma Landelijk Gebied is het ijkjaar voor de reductie van de ammoniakemissie 2018. In het vervolg van het rapport wordt 2019 als referentiejaar aangehouden.

- In welke mate wordt met de gekozen maatregelen naast een reductie van de ammoniakemissie ook een reductie van de broeikasgasemissie, en dan met name de methaanemissie, bereikt?

1.3 Afbakening

Geanalyseerde maatregelen

Aan het begin van deze studie zijn meerdere verschillende technische innovaties en systemen bekeken die deel uit zouden kunnen maken van deze studie. Een aantal van deze opties viel bij nader inzien af omdat er nog onvoldoende onderzoeksgegevens beschikbaar waren of omdat zij niet aan de RAV-criteria die vanaf het jaar 2025 van toepassing zijn voldeden. Vanaf 2025 wordt via aangescherpte normen voor de ammoniakemissie afgedwongen dat bij vervanging alleen nog maar geïnvesteerd mag worden in de nieuwste technieken voor ammoniakemissiereductie. Hoewel niet verplicht, is het wel het streven om bij vervanging ook rekening te houden met de reductie van broeikasgassen en fijnstof. Zo moet bijvoorbeeld een minimale reductie van de methaanemissie gerealiseerd worden om in aanmerkingen te komen voor subsidie (PBL, 2021).

Verder moet bij de intensieve veehouderij het reductiepercentage voor ammoniak meer dan 50% zijn. Bij de varkenshouderij vielen daardoor twee systemen af. Maatregelen als het verlagen van ruw eiwit in het rantsoen of het verdund uitrijden van mest (zoals beschreven in Reijs et al., 2021) zijn niet meegenomen in deze studie omdat het bij deze maatregelen om management maatregelen gaat. De focus ligt in deze studie op technische maatregelen. Uiteindelijk konden vier innovaties in verschillende varianten worden aangewezen die geschikt zijn voor deze studie (zie tabel 1.1).

Tabel 1.1 *Overzicht van geanalyseerde maatregelen.*

Hoofdstuk	Maatregel	Sector
3	Gescheiden opvang urine en feces + zodenbemester	Melkvee
3	Gescheiden opvang urine en feces + spaakwielbemesting	Melkvee
3	Gescheiden opvang urine en feces + emissiearme vloer	Melkvee
3	Gescheiden opvang urine en feces + spaakwielbemesting en emissiearme vloer	Melkvee
4	Dagontmesting-monovergisten-strippen	Melkvee
4	Dagontmesting-monovergisten-strippen plus korrelen vaste fractie	Melkvee
5	Semidichte vloer – onderafzuiging – luchtwasser	Melkvee
5	Semidichte vloer – onderafzuiging – luchtwasser plus monovergisten	Melkvee
6	Dagontmesting + mestverwerking 125 kton	Varkenshouderij
6	Dagontmesting + mestverwerking 250 kton	Varkenshouderij
6	Dagontmesting + mestverwerking 750 kton	Varkenshouderij
7	Dagontmesting + mestverwerking 250 kton en 750 kton	Kalverhouderij (blankvlees en rosé)
8	Scheiding urine en feces	Kalverhouderij (blankvlees en rosé)

Sectoren

De technische innovaties richten zich op de melkveehouderij, de varkenshouderij en de vleeskalverhouderij. Tenzij anders aangegeven, wordt verondersteld dat de technische innovaties op melkveebedrijven worden toegepast in de loopstalen voor de melkkoeien en niet in de stallen voor het jongvee. Gebruikte gegevens in de melkveehouderij hebben dus alleen betrekking op de melk- en kalfkoeien. De pluimveehouderij blijft buiten beschouwing omdat er geen innovatieve systemen geïdentificeerd konden worden.

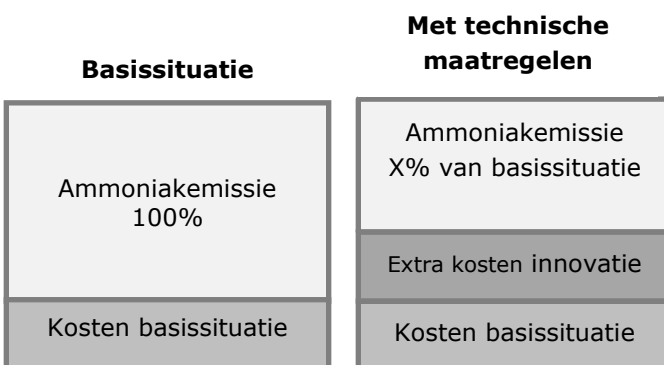
1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op de methode van de berekening van de ammoniakemissie en de berekening van de kosteneffectiviteit. In hoofdstukken 3, 4 en 5 worden de technieken voor de melkveehouderij besproken. In hoofdstuk 3 komt de gescheiden opvang van urine en feces aan bod. Daarna volgt hoofdstuk 4 over dagontmesting – monovergisten – strippen en hoofdstuk 5 over de semidichte vloer – onderafzuiging –

luchtwater. De technische maatregel voor de varkenshouderij, dagontmesting met mestverwerking met drie verschillende varianten in capaciteit wordt beschreven in hoofdstuk 6. De technieken voor de vleeskalverhouderij komen in de hoofdstukken 7 en 8 aan bod, met dagontmesting en verwerking in hoofdstuk 7 en het scheiden van urine en feces in hoofdstuk 8. Aansluitend aan de beschrijving van de maatregelen per sector wordt in hoofdstuk 9 de kosteneffectiviteit van alle besproken technieken naast elkaar gezet en met elkaar vergeleken. Hoofdstuk 10 sluit af met conclusies en discussie.

2 Methode

Bij deze studie is nagegaan hoe kosteneffectief verschillende technische innovaties op het gebied van mestverwaarden de ammoniakemissie uit de veehouderij terug weten te dringen. Met andere woorden, wat zijn de kosten van de emissiereductie van 1 kg ammoniak door maatregel A tegenover die van andere maatregelen. Om hierover uitspraken te kunnen doen, is informatie nodig over 1) de kosten (en opbrengsten) die de invoering van de technische maatregelen met zich meebrengt, 2) de reductie van de ammoniakemissie die met de technische maatregel kan worden bereikt en 3) de ammoniakemissie uit de veehouderij zonder interventie (de basissituatie). Dit principe is schematisch weergegeven in Figuur 2.1.



Figuur 2.1 Principe vergelijking ammoniakemissie en kosten in de situatie zonder (basis) en met technische maatregelen.

Uitgangspunt landelijk niveau

Een belangrijk uitgangspunt in deze studie is de potentiële reductie van de ammoniakemissie die door een technische maatregel kan worden bereikt. Dit wordt berekend met de hypothetische veronderstelling dat alle bedrijven in Nederland met de betreffende diercategorie deze maatregel toepassen tot 2030, het jaar waarin de kabinetsdoelstelling omtrent de reductie van de ammoniakemissie bereikt moet zijn.

Er wordt dus gekeken naar de maximaal mogelijke emissiereductie bij een toepassing van 100%. Dit is gedaan om twee redenen: ten eerste wordt daarmee de informatie uit de diverse casestudies vergelijkbaar gemaakt, en ten tweede kan inzichtelijk gemaakt worden in hoeverre de maatregel een bijdrage levert aan de door het beleid beoogde emissiereductie.

De basissituatie is de landelijke ammoniakemissie van de betreffende diercategorie. Vanuit de resultaten op landelijk niveau zijn de gegevens teruggerekend naar dierplaats per jaar, omdat dit voor toepassingen in de praktijk een goed werkbaar eenheid is.

De ammoniakemissie in de basissituatie komt in Paragraaf 2.1 aan de orde. In Paragraaf 2.2 wordt uitgelegd hoe de bepaling van de reductie van de ammoniakemissie die met de technische maatregelen kan worden bereikt tot stand is gekomen. Paragraaf 2.3 doet dit voor de kosten en gaat daarnaast in op de berekening van de kosteneffectiviteit. Naast ammoniakemissie, wordt in deze studie ook ingegaan op de emissie van broeikasgassen, met name methaan. Dit is beschreven in Paragraaf 2.4.

2.1 Ammoniakemissie basissituatie

Basisjaar 2019

De basissituatie in deze studie is de ammoniakemissie in 2019,² zoals per sector beschreven in Van Bruggen (2021). De rundveehouderij stoot met 57,2 mln. kg NH₃ de meeste ammoniak uit, gevolgd door de varkenshouderij met 18,4 mln. kg, de leghennenhouderij met 7,4 mln. kg en de vleeskuikenhouderij met 1,8 mln. kg (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Ammoniakemissie (mln. kg NH₃/jaar) van vier sectoren, 2019.

Sector	Ammoniakemissie (mln. kg)
Rundveehouderij totaal	57,2
• Rundveehouderij stal en opslag	31,8
• Rundveehouderij toediening	24,2
Varkenshouderij totaal	18,4
• Varkenshouderij stal en opslag	13,1
• Varkenshouderij toediening	4,3
Leghennenhouderij totaal	7,4
Vleeskuikenhouderij totaal	1,8

Bron: Van Bruggen (2021).

Voor deze studie is het noodzakelijk om de emissie van de afzonderlijke diercategorieën binnen de veehouderijsectoren te weten. Dit geldt met name voor de rundveehouderij, waarbij de technieken alleen worden toegepast in melkveestallen. Ook voor de berekening van de emissie in de vleeskalversector is kennis over de emissie per diercategorie noodzakelijk. Tabel 2.2 toont de ammoniakemissie per diercategorie in de rundveehouderij voor het jaar 2019.

Tabel 2.2 Ammoniakemissie per diercategorie in de rundveehouderij, totaal, uit stal en opslag en bij toediening, 2019, in kg NH₃ en %.

	Totaal		Uit stal en opslag		Toediening	
	mln. kg	%	mln. kg	%	mln. kg	%
Melkveehouderij totaal	50,2	86	26,6	84	22,5	89
• Melk- en kalfkoeien	40,4	69	22,0	69	17,6	70
• Jongvee incl. fokstieren	9,8	17	4,7	15	4,9	19
Vleeskalveren	5,3	9	4,1	13	1,2	5
• Blankvleeskalveren a)	3,2	5,4				
• Rosékalveren a)	2,1	3,6				
Overig	2,8	5	1,1	3	1,6	6
Rundveehouderij totaal	58,3	100	31,8	100	28,74	100

a) De opsplitsing naar emissie uit stal en opslag en toediening is niet beschikbaar in Van Bruggen. Bij de bespreking van de maatregelen in de kalverhouderij wordt gebruikgemaakt van scenario's uit Gollenbeek et al. (2021).

Bron: Van Bruggen (persoonlijke communicatie 2022).

De ammoniakemissie uit stal en opslag wordt als basissituatie gebruikt als de technische maatregelen betrekking hebben op een reductie van de ammoniakemissie uit de stal en opslag, en de emissie bij toediening wordt als basissituatie gebruikt als de technische maatregel betrekking heeft op de reductie van de ammoniakemissie als de mest wordt toegediend. Dit laatste is het gevolg van het gebruik van een andere aanwendtechniek en/of doordat de aanwending van een mestproduct dat na verwerking is ontstaan tot een andere ammoniakemissie leidt. De volgende paragraaf gaat in op de berekening van de reductie van de ammoniakemissie door de technische maatregelen.

² De Startnotitie Nationaal Programma Landelijk Gebied gaat uit van 2018 als referentiejaar. Aan het begin van de onderhavige studie is hier geen rekening mee gehouden. Referentiejaar hier is daarom 2019.

2.2 Berekening reductie Ammoniakemissie

De technische gegevens die in dit onderzoek zijn gebruikt voor de berekening van de reductie van de ammoniakemissie stammen uit drie soorten van bronnen:

1. Individuele casestudies over de betreffende technische maatregel;
2. Persoonlijke communicatie met deskundigen; en
3. Rapporten van Wageningen Universiteit & Research die binnen de PPS Next Level Mestverwaarden zijn gepubliceerd, en dat zijn:
 - Verdoes et al. (2021), Overzicht en beoordeling van technologie voor verwaarden van mest;
 - Gollenbeek et al. (2021), Emissies en kosten van verschillende scenario's voor verwaarding van varkensmest;
 - Gollenbeek et al. (2022), Berekeningen emissies en economie voor verschillende scenario's voor verwaarding van rundveemest;
 - Gollenbeek et al. (2021), Emissie van kosten van verschillende scenario's voor de verwaarding van kalvermest.

In de melkveehouderij kan de technische informatie uit de casestudies die in deze studie zijn gebruikt afwijken van de gegevens in het rundveerapport van Gollenbeek et al. (2022). Dit komt doordat de analyses in de onderhavige studie plaats hebben gevonden in de periode dat de resultaten in Gollenbeek et al. (2022) nog niet beschikbaar waren.



Figuur 2.2 Principe van berekening reductie van de ammoniakemissie op landelijk niveau en per dier per jaar.

2.3 Investerings, jaarkosten en kosteneffectiviteit

Informatie over investeringen en jaarkosten van het toepassen van technische maatregelen komen uit dezelfde bronnen als aangegeven in Paragraaf 2.2.

Jaarkosten

De jaarkosten voor technische maatregelen zijn over het algemeen kosten voor afschrijving en rentekosten, verzekering, onderhoud en reparatie, benodigde input en dergelijke. In theorie zijn deze kosten bij gelijkblijvend prijsniveau oneindig omdat na einde van de economische levensduur, als de techniek volledig is afgeschreven is, opnieuw moet worden geïnvesteerd, waardoor er weer dezelfde jaarkosten ontstaan.

In de praktijk worden de kosten van technische maatregelen ter vergelijking soms naast die van een maatregel als opkopen gezet. Bij een maatregel als opkopen ontstaan ook jaarkosten. Dat zijn de rentekosten die moeten worden betaald over het totale (geleende) bedrag dat nodig is voor het opkopen van grond en/of productierechten. Ook deze kosten zijn bij gelijkblijvend renteniveau in theorie oneindig, ervan uitgaande dat er niet wordt afgelost op het geleende bedrag. Bij een vergelijking tussen de kosten voor

technische maatregelen en kosten van opkopen moeten dan ook altijd de jaarkosten worden gebruikt omdat beide in theorie altijd doorlopen.

Gegevens per sector

In de melkveehouderij is de informatie in de gebruikte bronnen doorgaans aangegeven in euro per dier per jaar. Net als bij de emissiereductie worden investeringen en kosten doorberekend naar landelijk niveau. Dit is gedaan door de investeringen en kosten per dierplaats te vermenigvuldigen met het totaal aantal melk- en kalfkoeien in Nederland in het basisjaar 2019. Dat waren er volgens de CBS-Landbouwteiling 1,58 miljoen. In de melkveehouderij is alleen rekening gehouden met de melk- en kalfkoeien omdat de technische maatregelen doorgaans alleen in de loopstal van de melk- en kalfkoeien worden toegepast. Er wordt in deze studie aangenomen dat het aantal dierplaatsen gelijk is aan het aantal dieren.

In de varkenshouderij is de benodigde info over investeringen en kosten van de maatregelen weergegeven in euro per ton mest. Voor het doorrekenen naar nationaal niveau is hier gebruikgemaakt van informatie over de totale productie van varkensmest in Nederland in 2019. Dat was 9,8 mln. ton (WUM, 2020). De kosten en investeringen per ton zijn vermenigvuldigd met 9,8 mln. ton mest.

Ook in de vleeskalverhouderij is informatie over investeringen en kosten van de technische maatregelen uitgedrukt in euro per ton mest. Deze gegevens zijn vermenigvuldigd met de jaarproductie van mest in 2019. Bij de blankvleeskalveren was dat circa 1,75 en bij de rosékalveren circa 1,7 miljoen ton.

Lineaire effecten

Bij het doorrekenen van de kosten naar nationaal niveau wordt aangenomen dat alle investeringen en kosten lineair zijn. Dit houdt in dat het eerste bedrijf dat een bepaalde techniek toepast dezelfde kosten heeft qua eenheid (dier of ton mest) dan het laatste bedrijf dat de techniek toepast.

Opbrengsten en besparingen

Bij een aantal maatregelen ontstaan na implementatie opbrengsten en/of besparingen, zoals de opbrengsten uit biogas bij monovergisting of de besparingen op boxenstrooisel als de dikke fractie van het digestaat hiervoor wordt gebruikt. Omdat in deze studie uit wordt gegaan van nationaal niveau, wordt bij de berekening van de (netto)kosten alleen rekening gehouden met besparingen en opbrengsten die op nationale niveau tot stand komen. Dat betekent dat een aantal posten die voor de agrariër op bedrijfsniveau wel van belang zijn voor de economische berekeningen, hier buiten beschouwing worden gehouden. Voorbeelden hiervan zijn subsidies of toeslagen, die op bedrijfsniveau opbrengsten zijn, maar voor de overheid kostenposten. Een ander voorbeeld is een verandering in de mestafzetkosten. Zo betekenen lagere mestafzetkosten besparingen voor het bedrijf met een mestoverschot, maar gedeerde opbrengsten of kosten voor het bedrijf dat de mest afneemt. In de volgende hoofdstukken, waarin de maatregelen in detail zijn beschreven, wordt aangegeven welke posten wel en niet zijn meegenomen in de berekeningen.

Kosteneffectiviteit

De kosteneffectiviteit is berekend door de jaarkosten die voor een bepaalde technische innovatie zijn berekend te delen door vermeden uitstoot van de ammoniakemissie die met deze innovatie kan worden bereikt. Het resultaat geeft de kosten in euro voor het terugdringen van 1 kg ammoniak.

2.4 Methaanemissie

Methaan (CH₄) is naast koolstofdioxide (CO₂) en lachgas (N₂O) één van de belangrijkste broeikasgassen die bijdragen aan de klimaatverandering. De methaanconcentratie in de atmosfeer is in de laatste decennia sterk gestegen. Hoewel koolstofdioxide het grootste deel van de opwarming van het klimaat veroorzaakt (circa 50%), volgt methaan met circa 20% op de tweede plaats. Ook is methaan een veel sterker broeikasgas dan koolstofdioxide (IPCC, 2021). Het is daarom van groot belang om ook aandacht te schenken aan de reductie van de methaanemissie uit de landbouw.

In de veehouderij vindt methaanemissie plaats door pens- en darmfermentatie en door mestmanagement (opslag of be- en verwerking). In de rundveehouderij emitteert het grootste deel van het methaan, circa

80%, door pensfermentatie en 20% uit mestopslag. In de varkenshouderij zijn de verhoudingen precies andersom. Hier emitteert circa 24% van het methaan door darmfermentatie en 76% door mestopslag (Van Bruggen et al., 2022).

Technische innovaties voor stallen en opslag kunnen naast aan de reductie van de ammoniakemissie ook bijdragen aan de reductie van de methaanemissie. Methaan ontstaat bij de afbraak van organisch materiaal, dus ook bij de afbraak van organisch materiaal in mest. Hoe langer de mest in stal en opslag aanwezig is, des te langer hebben micro-organismen de tijd om de organische stof af te breken en om te zetten in methaan. Met andere woorden, technieken die ervoor zorgen dat de mest snel uit de stal wordt verwijderd en wordt verwerkt, hebben grote potentie om de methaanemissie te reduceren.

De prestaties van de in deze studie geïdentificeerde technische innovaties op het gebied van methaanemissiereductie worden op een kwalitatieve manier beoordeeld. Dit is weergegeven in het milieuscorebord in hoofdstuk 9.

3 Melkvee: gescheiden opvang urine en feces

Bij de gescheiden opvang van urine en feces wordt tijdens de krachtvoeropname bij de voerautomaat het plasreflex opgewekt en de urine direct opgevangen. Hierdoor komt die urine niet in de mestkelder terecht en worden emissies die normaalgesproken door het mengen van mest en urine ontstaan, in de opgevangen urine vermeden. De urine wordt direct afgevoerd en buiten de stal in een mestzak opgeslagen.

Door het apart opvangen van de urine kan de ammoniakemissie uit de stal gereduceerd worden. Een voordeel van dit systeem tegenover andere systemen van mestscheiding is dat er geen vaste fractie ontstaat maar drijfmest en urine. Bij vaste mest zijn de gasvormige stikstofemissies bij mestopslag en aanwenden namelijk aanzienlijk hoger dan bij drijfmest (Van Bruggen et al., 2020).

Paragraaf 3.1. beschrijft de effecten van de gescheiden opvang van urine en feces in de stal. Naast de effecten in de stal, zijn er ook effecten op de ammoniakemissie bij aanwenden doordat de urine apart van de mest wordt aangewend. Door verschillende vormen van aanwenden kan er meer of minder emissiereductie gerealiseerd worden. In deze studie komt de aanwending met een zodenbemester (3.2) en een spaakwielbemester (3.3) aan de orde en de emissiereductie van gescheiden opvang in combinatie met een emissiearme vloer (3.4) en de combinatie emissiearme vloer plus aanwending met spaakwielbemester (3.5).

3.1 Gescheiden opvang urine en feces in de stal

Reductie ammoniakemissie

De gescheiden opvang van urine en feces zonder verdere stalaanpassingen kan resulteren in een emissiereductie uit stallen van circa 30% ten opzichte van een reguliere stal (Gollenbeek, 2021). In 2019 was de ammoniakemissie uit stal en opslag van de hele rundveehouderij 32 mln. kg NH₃ (Van Bruggen 2021) en die voor de hele melkveehouderij (inclusief jongvee en fokstieren) 27 mln. kg NH₃. De aanname hier is dat bij het systeem gescheiden opvang van urine en feces in de stal alleen van toepassing is bij de melk- en kalfkoeien en niet bij jongvee en fokstieren. Daarom is hier alleen rekening gehouden met de emissie van melk- en kalfkoeien. Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 is dat in 2019 22 mln. kg uit stal en opslag. Een reductie van de ammoniakemissie van 30% komt dan neer op 7 mln. kg, als dit systeem voor alle melk- en kalfkoeien ingezet zou worden.

Investeringsen

De investeringen voor de gescheiden opvang van urine en feces bedragen circa 225 euro per dierplaats. Daarnaast moet extra geïnvesteerd worden in een mestzak voor de opslag van de urine. De extra investeringen hiervan bedragen circa 200 euro per dierplaats. De totale extra investering van gescheiden opvang worden daarmee geschat op 425 euro per dierplaats (Gollenbeek, 2020 en Verstegen, 2021). In deze studie gaan we uit van het totaal aantal melk- en kalfkoeien in 2019, dat zijn er 1,58 miljoen (CBS Landbouwtelling). De investeringen voor het toepassen van gescheiden opvang van urine en feces op de gehele melkveehouderij komt dan neer op 672 mln. euro.

Jaarkosten

De jaarkosten van alleen gescheiden opvang worden geschat op 30 euro per dierplaats en die van een mestzak voor de opslag van de urine op 35 euro per dierplaats. De totale jaarkosten komen dan uit op 65 euro per dierplaats (Gollenbeek, 2020). Voor de totale melkveehouderij met 1,58 miljoen melk- en kalfkoeien komt dat neer op jaarlijkse kosten van 103 miljoen euro.

3.2 Aanwending met zodenbemester

Reductie ammoniakemissie

Een koe produceert 21.000 kg drijfmest en 4.000 kg urine per jaar (Verstegen, 2021). Drijfmest en urine kunnen met een zodenbemester worden aangewend. De emissiefactor (EF) van het aanwenden van urine is lager dan die van drijfmest doordat urine makkelijker in de bodem dringt. Er is geen onderzoek gedaan naar de EF van het toedienen van urine op grasland met een zodenbemester, maar experts van WUR schatten deze op 10% van de NTan.³ De emissiefactor van de aanwending van gewone drijfmest met een zodenbemester is 17%. De totale ammoniakemissie bij aanwending per 100 kg geproduceerde stikstof neemt dan af van 9 naar 8 Kg N, een reductie van 12%. In 2019 was de ammoniakemissie bij aanwending van mest van melk- en kalfkoeien 17,6 mln. kg NH₃. Een emissiereductie van 12% komt dan neer op een vermindering van de ammoniakemissie bij het aanwenden van 2 mln. kg NH₃ per jaar.

Investeringsen

Aanwending met zodenbemester wordt gezien als reguliere praktijk. Er wordt verondersteld dat er geen extra investeringen hoeven te worden gedaan.

3.3 Aanwending urine met spaakwielbemesting

Reductie ammoniakemissie

Als de urine wordt aangewend met een spaakwielbemester, kan een grotere reductie van de ammoniakemissie worden gerealiseerd. Een spaakwielbemester heeft een lagere EF dan een zodenbemester. De stikstofconcentratie in urine is te laag voor een spaakwielbemester, waardoor het volume van de urine met minimaal een factor 5-10 moet worden gereduceerd. De urine moet dus worden ingedikt. Bij de gescheiden opvang van urine en feces komen er van de 100 Kg N in de stal geproduceerde rundveemest 15,4 kg NTan en 3,6 kg organische N in de urine terecht en 37,6 kg NTan en 43,4 kg organische stikstof in de drijfmest (WUM, 2019 en Hanskamp, 2018). Hierbij is wel de aanname gemaakt dat een koe in het systeem van gescheiden opvang dezelfde hoeveelheid stikstof produceert als de koe met gemiddeld rantsoen en gemiddelde retentie en excretie (op basis van WUM-gegevens) in de regio Zuid- en Oost-Nederland. Bij het aanwenden van ingedikte urine (4.000 kg) met een spaakwielbemester (met een EF van 2% van NTan) en het aanwenden van de drijfmest (21.000 kg) met een zodenbemester (met een EF van 17% van NTan; Huijsman, 2020) neemt de totale ammoniakemissie af van 9 kg bij reguliere drijfmest naar 6,70 kg. Dit komt neer opeen emissiereductie van 26% ten opzichte van het aanwenden van reguliere drijfmest van melk- en kalfkoeien. In 2019 was dat 17,6 mln. kg NH₃, dus een reductie van 26%, wat neerkomt op 4,6 mln. kg NH₃.

Investeringsen

Voor het indikken van de urine moeten extra kosten worden gemaakt. Deze worden geschat op 20 euro per ton urine. In deze prijs zijn de transportkosten naar de fabriek al mee opgenomen, aangezien dit proces niet op het eigen bedrijf kan plaatsvinden. De totaal benodigde investeringen hiervoor worden geschat op 500 mln. euro voor het indikken (Verdoes, 2020) en 20 mln. euro voor de spaakwielbemester (expertschatting). Omdat er minder mest uitgereden hoeft te worden met een zodenbemester, kan op investeringen in zodenbesters weer bespaard worden, naar schatting is dat ongeveer 40 mln. euro. Dit resulteert in investeringen van 480 mln. euro voor het indikken en aanwenden.

Bij het indikken van de urine kunnen de extra kosten voor een mestzak omlaag. In dat geval zijn de extra kosten voor een mestzak lager omdat de opslagcapaciteit minder groot hoeft te zijn. Een mestzak van 60 à 70 m³ zou dan voldoende zijn op een bedrijf van circa 100 melkkoeien (Gollenbeek, 2021). Uitgaande van een vervangingswaarde van circa 80 euro per m³ (Gollenbeek, 2020) bedragen de investeringen dan 52 euro per dierplaats. Samen met de gescheiden opvang van urine en feces van circa 225 euro per dierplaats bedragen de extra investeringen in stallen en opslag 277 euro per dierplaats. Voor de totale melkveehouderij (1,58 mln. dieren) komt dat neer op 438 mln. euro.

³ De overgebleven urine arme mest bevat minder NTan en er zal daarom bij aanwending minder ammoniak vrijkomen. Hiermee is in deze studie echter geen rekening gehouden.

Jaarkosten

De totale jaarkosten per dierplaats voor de gescheiden opvang van urine en feces bedragen 30 euro per dierplaats. Samen met de kosten van de opslag van een kleinere mestzak van 10 euro per dierplaats (Gollenbeek, 2020) komen de kosten uit op 40 euro per dierplaats. Voor de gehele melkveehouderij met 1,58 mln. melkkoeien zijn de jaarkosten dan 64 mln. euro.

De jaarkosten voor het indikken van de urine bedragen 80 euro per koe, bij 20 euro per m³ en 4 m³ urine per koe per jaar. Met een urineproductie van 4.000 kg per koe per jaar en een indikkingsfactor van gemiddeld 7,5 daalt de urineproductie naar circa 500 kg ingedikte urine. Er hoeft dus circa 3.500 kg per koe per jaar minder urine uit te worden gereden. Door het toedienen van de ingedikte mest met een spaakwielbemester daalt de hoeveelheid toe te dienen mest met ongeveer 3,5 ton per koe per jaar. Bij transportkosten van 2,50 euro per ton (Wagenberg et al., 2019) is dat een besparing op de uitrijkosten van 8,75 euro per koe. De investeringen in de spaakwielbemester en de besparingen op de zodenbemester zijn hierin verdisconteerd. In totaal komen de jaarkosten dan op 71 euro per koe. Voor de gehele melkveehouderij met 1,58 melk en kalfkoeien zijn de jaarkosten dan 112 mln. euro.

De totale jaarkosten voor gescheiden opvang van urine en feces en indikken van de urine en aanwenden met een spaakwielbemester zijn voor de gehele melkveehouderij dan 176 mln. euro.

3.4 Gescheiden opvang urine en feces met emissiearme vloer

Reductie ammoniakemissie

Wordt er naast de gescheiden opvang ook een emissiearme vloer gerealiseerd, dan is de reductie van de ammoniakemissie ten opzichte van een reguliere stal in totaal 50% (Verdoes, 2021). Indien de gehele melkveehouderij gebruik zou maken van deze combinatie, zou de totale emissiereductie in de stal (bij 22 mln. kg NH₃-emissie van melk- en kalfkoeien) circa 11 mln. kg NH₃ bedragen.

De reductie bij het aanwenden van de mest is identiek aan die zonder emissiearme vloer: 12%. De totale reductie van de ammoniakemissie (stal + opslag en aanwending) komt dan neer op 13 mln. kg.

Investeringen

De investeringen voor de gescheiden opvang van urine en feces inclusief een mestzak voor de opslag van de urine bedragen 425 euro per dierplaats. De investering voor een emissiearme vloer bedraagt 405 euro per dierplaats (Gollenbeek, 2020). De totale investeringen bedragen dan 830 euro per dierplaats inclusief een grote mestzak voor zodenbemesten. Indien de gehele melkveehouderij gebruik zou maken van dit gecombineerde systeem en aanwenden van de urine met een zodenbemester zouden de totale investeringen voor de stalaanpassingen circa 1.311 mln. euro bedragen.

Jaarkosten

De jaarkosten voor stalaanpassingen en urine opslag bedragen 100 euro per dierplaats per jaar (Gollenbeek, 2020) wanneer de urine met een zodenbemester wordt aangewend. Voor de hele melkveehouderij is dat bij 1,58 mln. dierplaatsen 158 mln. euro.

3.5 Gescheiden opvang urine en feces + spaakwielbemesting en emissiearme vloer

Reductie ammoniakemissie

Naast de 50% reductie van de ammoniakemissie uit stal en opslag door de combinatie met een emissiearme vloer, komt er 26% reductie door de aanwending van de urine met de spaakwielbemester bij. De totale reductie van de ammoniakemissie komt dan uit op 15,6 mln. kg NH₃, oftewel 40% van de totale emissie van melk- en kalfkoeien.

Investeringsen

De investeringen bij de aanwending van urine met een spaakwielbemester zonder emissiearme vloer zijn berekend op 277 euro per dierplaats en 438 mln. euro voor heel Nederland. Met een emissiearme vloer komt er 405 euro per dierplaats bij op. In totaal is dat dan 682 euro per dierplaats, bij 1,58 mln. melk- en kalfkoeien 1.078 mln. euro voorheen Nederland.

Jaarkosten

Bij het systeem inclusief emissiearme vloer en spaakwielbemester komen de totale jaarkosten uit op 181 euro per dierplaats: 100 euro voor gescheiden opvang inclusief emissiearme vloer, 71 euro voor indikken urine en besparingen op uitrijden en 10 euro voor de kleinere mestzakken. Bij 1,58 mln. melkkoeien in heel Nederland komt dat neer op jaarlijks 286 mln. euro.

Tabel 3.1 laat de reductie van de ammoniakemissie en de berekeningen van de kosteneffectiviteit van de verschillende varianten zien. Het blijkt dat de varianten waarbij de urine gewoon met de zodenbemester wordt toegediend kosteneffectiever zijn dan de varianten met de spaakwielbemester. Het indikken van de urine dat nodig is voor de spaakwielbemester is relatief duur, waardoor de kosteneffectiviteit van deze varianten minder gunstig uit de bus komen.

Tabel 3.1 Ammoniakemissie melk- en kalfkoeien uit stal en opslag en bij aanwending (in mln. kg) en reductie ammoniakemissie bij verschillende varianten van de maatregel gescheiden opvang van urine en feces, 2019.

	NH ₃ -emissie melk- en kalfkoeien 2019 mln. kg	Totale reductie ammoniakemissie		Kosten per euro dierplaats/ jaar	Jaarkosten (mln. euro)	Kosten- effectiviteit Euro/kg NH ₃
		%	mln. kg			
Stal en opslag	22,0					
Systeem gescheiden opvang urine en feces		30	6,6			
a) Gescheiden opvang				30	48	
b) Regulier mestzak (groot)				35	55	
c) Indikken urine a)				71	112	
d) Kleine mestzak				10	16	
e) Gescheiden opvang inclusief emissiearme vloer		50	11	100	158	
Aanwending	17,6					
- urine met zodenbemester		12	2,1		-	
- urine met spaakwielbemester (indikken urine)		26	4,6		113	
Gescheiden opvang van urine en feces in stal PLUS b)						
- urine met zodenbemester (a+b)	39,6	22	8,7	65	102,6	12
- urine met spaakwielbemester, indikken (a+c+d)	39,6	28	11,2	111	175,7	16
- emissiearme vloer en zodenbemester (e)	39,6	33	13,1	100	158	12
- emissiearme vloer en spaakwielbemester (c+d+e)	39,6	39	15,6	181	286,4	18

a) Investeringskosten in spaakwielbemester en besparingen op zodenbemester en transportkosten zijn hierin verdisconteerd.

b) Optelling van de kosten verduidelijkt tussen haakjes.

4 Melkvee: Dagontmesting-monovergisten-strippen

De beschikbare gegevens voor de berekeningen van het systeem dagontmesting met monovergisten en strippen in dit hoofdstuk stammen van een melkveebedrijf dat de volgende werkwijze hanteert.⁴ Voor optimale biogasproductie moet de mest die naar de monovergisters gaat zo vers mogelijk zijn. Het liefst moet de mest per uur uit de stal worden verwijderd. Om dit te bereiken, wordt gewerkt met mestrobots, die de stal regelmatig over de hele dag reinigen en de mest afvoeren naar een gesloten put buiten de stal. De stalvloer is voorzien van een afdichtende laag, in dit geval een rubberen stalmat. Vanuit de mestput gaat de mest naar de monovergister. Het digestaat wordt gescheiden met een schroefpers in een dunne en dikke fractie. Een deel van de dikke fractie (75%, oftewel 540 ton) wordt als biobedding gebruikt voor de diepstrooiselboxen. Het resterende deel (25%, oftewel 175 ton) wordt van het bedrijf afgevoerd om aan de mestafzetverplichting te voldoen en wordt vervolgens op andere bedrijven als biobedding en meststof gebruikt. De dunne fractie wordt verder behandeld met een meststripper, waarbij door middel van zwavelzuur de minerale stikstof wordt omgezet naar ammoniumsulfaat (NH₄)SO₄. Het eindproduct waarin ongeveer 50% van de totale stikstofproductie zit kan worden toegepast als kunstmestvervanger. Ammoniumsulfaat uit dierlijke mest is door de overheid nog niet erkend als kunstmestvervanger. De kelders waarin de drijfmest en de vloeibare mestproducten in worden opgeslagen zijn gasdicht. Het gas uit de monovergisters (CH₄ en NH₃) wordt in een wkk-installatie verbrand (Monteny Milieu Advies, 2018).

4.1 Reductie ammoniakemissie

Ammoniakemissie uit de stal

In het door Monteny (2018) bestudeerde voorbeeld wordt bij de traditionele bedrijfsvoering een ammoniakemissie uit de stal van 13 kg NH₃ per dierplaats per jaar aangenomen en uit de buitenopslag nog eens 0,25 kg NH₃-N per dierplaats per jaar.⁵ In totaal is dat dan 13,25 kg NH₃ per dierplaats per jaar in de traditionele situatie. Met de techniek van dagontmesting-monovergisten-strippen daalt de ammoniakemissie uit de stal naar 6,9 kg NH₃ per dierplaats per jaar, bij een standaard boxvulling met stro of houtkrullen. Dikke fractie als boxvulling veroorzaakt echter een extra ammoniakemissie van 5,8 kg NH₃ per dierplaats per jaar uit stallen plus 0,25 kg NH₃ per dier per jaar voor de opslag van de dikke fractie (Monteny, 2018). In totaal komt de ammoniakemissie uit de stal inclusief boxvulling en opslagemissie van de dikke fractie met dit systeem uit op 10,7 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Dat is een netto-reductie uit stallen en opslag van 2%. De ammoniakemissie uit stal en opslag door de melkveehouderij lag in 2019 bij 22 mln. kg NH₃. Een reductie van 2% betekent dat de ammoniakemissie uit stal en opslag in heel Nederland daalt met 0,4 mln. kg NH₃.

Ammoniakemissie bij toedienen

In de traditionele situatie wordt er in het voorbeeld van Monteny (2018) gerekend met een ammoniakemissie bij toedienen van drijfmest van 18,5 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Bij het systeem van dagontmesting-monovergisten-strippen en scheiden van het digestaat ontstaan er drie mestproducten: 1) vloeibaar ammoniumsulfaat (strippen), 2) de dunne fractie zonder grootste deel van de stikstof en 3) het resterende deel van de dikke fractie die niet als boxvulling wordt gebruikt. Op het voorbeeldbedrijf wordt het resterende deel van de dikke fractie opgeslagen en niet als meststof aangewend op het land.

Bij de toediening van de dunne fractie emitteert er 3,4 kg NH₃ per dierplaats per jaar en bij de toediening van ammoniumsulfaat 0,7 kg NH₃ per dierplaats per jaar. In totaal komt dat neer op 4,1 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Ten opzichte van de traditionele situatie is dat een reductie van 11,4 kg NH₃-N, oftewel 75%. De totale ammoniakemissie bij toediening van drijfmest van melk- en kalfkoeien is in 2019 17 mln. kg. Als alle

⁴ Een voorbeeld van een bedrijf waar deze werkwijze wordt toegepast is Melkveehouderij Van Poppel, een deelnemend bedrijf in Coöperatie Jumpstart.

⁵ In de onderliggende casestudie zijn de gegevens weergegeven in stikstof in de vorm van ammoniak (NH₃-N). Voor de leesbaarheid zijn de gegevens hier omgerekend naar ammoniak (NH₃), volgens NH₃ = NH₃-N*1,21589. In Bijlage 1 is een tabel met de NH₃-N-waardes opgenomen.

melkveebedrijven in Nederland dit systeem zouden toepassen komt een reductie van 75% neer op 13 mln. kg (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Ammoniakemissie bij traditionele situatie en met dagontmesting-monovergisting-strippen, in kg NH₃ per dierplaats per jaar.

	NH ₃ (kg per dp/jaar)	
	Traditioneel	Dagontmesting-monovergisting-strippen
Stal	13	6,9
Buitenopslag	0,25	0,2
Boxenstrooisel vaste fractie		5,8
Totaal stal en opslag	13,25	12,9
Mest toedienen (gangbaar)	18,5	
Toedienen dunne fractie		3,4
Toedienen Ammoniumsulfaat		0,7
Totaal toedienen	18,5	4,1

Bron: Berekeningen Wageningen Economic Research op basis van Monteny Milieu Advies (2018).

Methaanemissie

Dagontmesting heeft ook een sterk reducerend effect op de methaanemissie uit mest (circa 20% van de totale methaanemissie uit de rundveehouderij). Dit effect wordt geschat op 80% (Ymte de Vries, 28 oktober 2020).

4.2 Kosten en baten

Kosten

De kosten van het systeem dagontmesting-monovergisting-strippen worden op basis van de hier beschreven casestudie geschat op 3,50 eurocent per kg melk (Van der Linden, 2021; persoonlijke mededeling). Het moet worden benadrukt dat het hier gaat om de specifieke gegevens van het onderzochte bedrijf en niet om het landelijke gemiddelde van Nederland. Het bedrijf in de casestudie heeft 170 koeien en een jaarlijkse melkproductie van 11.500 kg, de totale jaarkosten zijn 68.425 euro, dat is 402,50 euro per koe per jaar. Zou dit systeem in heel Nederland zou worden toegepast, dan komen de jaarkosten bij een totale melkveestapel van 1,58 mln. melk- en kalfkoeien uit op 636 mln. euro (Tabel 4.2)

Tabel 4.2 Jaarkosten van het systeem dagontmesting-monovergisting-strippen van het onderzochte bedrijf en voor de hele melkveehouderij in Nederland.

Kosten	
Bedrijf	
Jaarkosten, cent per kg melk	3,5
Aantal melkkoeien	170
Gemiddelde melkproductie per koe per jaar (liter)	11.500
Jaarkosten bedrijf totaal (euro)	68.425
Jaarkosten per koe (euro)	402,5
Nederland	
Kosten melkveehouderij NL met 1,58 mln. koeien (mln. euro)	635,95

Baten

Tegenover de kosten staan bij dit systeem een aantal opbrengsten. Deze liggen in totaal bij 5 eurocent per kg melk. In het geval dat ammoniumsulfaat erkend wordt als kunstmestvervanger kunnen de opbrengsten oplopen tot 6 eurocent per kg melk (Van de Linden, 2021; persoonlijke mededeling). Voor het onderzochte bedrijf betreft dit de volgende opbrengsten (Jumpstart, 2018):

1. Besparing op stikstof, kali, magnesium en natrium kunstmest

Bij het onderzochte voorbeeldbedrijf worden de besparing op kunstmest geschat op 9.600 euro (8.700 euro voor stikstof en 900 euro voor Kali; Jumpstart, 2018). Met 170 koeien komt dat neer op 57 euro per koe per jaar. Daarnaast zijn er voor het bedrijf besparingen op de bemestingsgiften voor Magnesium, Natrium, Selenium en Zwavel van naar schatting 6.000 euro (Van Poppel, 2021; persoonlijke mededeling). Op nationaal niveau wordt alleen rekening gehouden met de besparing op stikstof, die niet meer vervluchtigt. Bij de andere in deze studie onderzochte systemen is geen rekening gehouden met de besparing op stikstof kunstmest op nationaal niveau. Om de systemen met elkaar vergelijkbaar te houden, is dat bij dit systeem ook niet gedaan.

2. Besparing op strooisel voor ligboxen

De dikke fractie van het digestaat wordt gebruikt als vulling voor de ligboxen. De besparingen op strooisel worden op het onderzochte bedrijf geschat op 7.800 euro (Jumpstart, 2018). Op een bedrijf met 170 koeien komt dat neer op 46 euro per koe per jaar.

Een opmerking die hierbij geplaatst moet worden, is dat het niet gebruiken van de vaste fractie als boxenstrooisel, los van andere maatregelen, als een relatief goedkope maatregel kan worden gezien om de ammoniakemissie te beperken. Met kosten van 46 euro per koe per jaar kan 5,8 kg NH₃ per koe per jaar worden vermeden, dat is een kosteneffectiviteit van 7,9 euro per kg NH₃. Een alternatief voor boxenstrooisel kan de vaste fractie verwerkt worden tot mestkorrels (zie Paragraaf 4.4).

3. Levering groene stroom en besparing op elektriciteitsverbruik en energiebelasting

Voor het leveren van groene stroom ontvangt het voorbeeldbedrijf in deze studie jaarlijks 7.540 euro. Besparingen op elektriciteitsverbruik en energiebelasting worden geschat op 10.460 euro. In totaal komt dat neer op 18.000 euro oftewel 106 euro per melkkoe, voor het betreffende bedrijf met 170 melkkoeien (Jumpstart, 2018). De energiebelasting is geen besparing op nationaal niveau, die wordt door Van Poppel (2021: persoonlijke mededeling) geschat op 1.800 euro.

4. SDE+ subsidie

De SDE+ subsidie is voor het voorbeeldbedrijf berekend op jaarlijks 20.000 à 25.000 euro. In 2020 heeft het bedrijf 31.700 euro aan SDE+ subsidie ontvangen (Van Poppel, 2021; persoonlijke mededeling). Dit zijn opbrengsten voor het onderzochte bedrijf en geen nationale opbrengsten.

5. CO₂ toeslag

Van de zuivelcoöperatie ontvangt het voorbeeldbedrijf gemiddeld 2.500 euro per jaar (1,75 eurocent per kWh; Guus Queisen, 27 maart 2019 en Van der Linden, 2021). Dit zijn opbrengsten voor het bedrijf en geen nationale opbrengsten.

6. Verkoop van Vervangende Verwerkingsovereenkomst (VVO)

Als gevolg van de verkoop van vervangende verwerkingsovereenkomsten ontvangt het voorbeeldbedrijf opbrengsten van circa 1.600 euro per jaar. Dit zijn opbrengsten voor het bedrijf en geen nationale opbrengsten.

7. Besparing op mestafzetkosten

Doordat er minder mestvolume moet worden afgezet als dit systeem wordt toegepast op een melkveebedrijf, worden er ook minder mestafzetkosten betaald. Er wordt minder mest over lange afstanden vervoerd en ook hoeft er geen vergoeding meer te worden betaald aan de afnemer. Alleen de besparing dat minder mest over een langere afstand hoeft te worden vervoerd heeft tot gevolg dat er nationaal gezien minder kosten worden gemaakt. Voordat het systeem van dagontmesting-monovergisten-strippen op het onderzochte bedrijf werd geïnstalleerd, werd er 1.925 ton drijfmest van het bedrijf afgevoerd. Na de invoering van het systeem is dat nog maar 275 ton dikke fractie en ammoniumsulfaat (Van Poppel, 2021; persoonlijke mededeling). Dat komt erop neer dat er ongeveer 1.650 ton mest niet meer over een langere afstand vervoerd hoeft te worden, wat 85% is van de oorspronkelijke overschotmest die niet meer over een langere afstand vervoerd hoeft te worden.

In 2018 zijn de besparingen hierop geschat op 32.116 euro (16,69 euro per ton; Jumpstart, 2018). De mestafzetkosten zijn voor het voorbeeldbedrijf in 2021 gezakt naar 11,50 euro per ton (Van Poppel, 2021; persoonlijke mededeling).

De hierboven vermelde zeven opbrengsten waren voor het bedrijf in 2018 in totaal 104.200 euro wat neer komt op ruim 5 eurocent per kg melk. Het is belangrijk om te noemen dat dit opbrengsten zijn voor het bedrijf.

Op nationaal niveau zijn het niet allemaal opbrengsten of besparingen, maar ook kosten:

- De verstrekte subsidies en de CO₂-toeslag zijn kosten voor de overheid en Friesland Campina.
- De besparing op energiebelasting zijn minder uitgaven voor het bedrijf maar lagere inkomsten voor de overheid.
- De verkoop van VVO's zijn opbrengsten voor het bedrijf maar kosten voor een ander landbouwbedrijf.
- De vergoeding voor mestafname zijn kosten die het melkveebedrijf uitspaart maar is een verlies aan opbrengsten voor een akkerbouwbedrijf dat de mest af zou nemen.

Om bovengenoemde opbrengsten te realiseren waren er voor het bedrijf investeringen nodig voor een bedrag van 550.000 euro (Van Poppel, 2021; persoonlijke mededeling). Dat is 3.235 euro per koe. Voor 1,58 mln. melkkoeien is dat 5.100 mln. euro. Alle opbrengsten voor het bedrijf zijn samengevat in Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Opbrengsten op bedrijfsniveau voor het systeem dagontmesting-monovergisten-strippen, per bedrijf en per koe.

Baten	Per bedrijf (euro)	Per koe, bij 170 koeien (euro)	Kosten bedrijfsleven en overheid
1 Besparingen op kunstmest	9.600	56	
- stikstof	8.700	51	
- kali	900	5	
2 Besparing op boxstrooisel	7.800	46	
3 Elektriciteit	18.000	106	
- levering groene stroom	7.540	44	
- besparing op elektriciteit en energiebelasting	8.670	51	
- besparing op energiebelasting	1.810	11	x
4 SDE-subsidie	31.700	186	x
5 CO ₂ -toeslag	2.500	15	x
6 Verkoop VVO's	2.500	15	x
7 Besparingen op mestafzetkosten	32.116	189	x
Totaal	104.216	613	

Lagere kosten nationaal of besparingen.

In Nederland was in 2019 de omvang van het overschot van melkveemest 8,7 mln. ton (MAMBO, 2021). Met het hier besproken systeem hoeft 85% van de geproduceerde mest niet meer over een lange afstand te worden vervoerd, omdat het grootste deel van de mestproducten worden toegepast op het bedrijf zelf, of als meststof of als boxestrooisel. Vijfentachtig procent komt meer op 7,4 mln. ton. Het verschil in transportkosten tussen lange en korte afstand bedraagt 5 euro per ton (Wagenberg et al., 2019). Bij 7,4 mln. ton levert dat op nationaal niveau besparingen op ter grootte van 37 mln. euro.

Besparing en opbrengsten van bedding strooisel en elektriciteit (exclusief energiebelasting) bedragen 141 euro per melkkoe. Bij de 1,58 mln. melkkoeien komt dat neer op ruim 220 mln. euro.

Zoals boven beschreven bedragen de jaarkosten voor dit systeem 402,50 euro per koe, oftewel 636 mln. euro voor de gehele melkveehouderij in Nederland. Deze kosten moeten verminderd worden met de baten op nationaal niveau: zijn 37 mln. euro voor de besparing op transportkosten en 223 mln. euro voor de kostenbesparing op strooisel en elektriciteit. De kosten komen na het in mindering brengen van de baten op 376 mln. euro per jaar.

Omdat dit een compleet systeem is. kunnen de kosten niet uitgesplitst worden naar minder ammoniakemissie uit de stal of minder ammoniakemissie bij het toedienen van de mest. De totale reductie van de ammoniakemissie is bij dit systeem 13,4 mln. kg ammoniak (0,4 + 13,0). Per kg ammoniakemissiereductie zijn de kosten dan 28 euro (Tabel 4.4).

4.3 Plus korrelen vaste fractie

Een mogelijke aansluitende verwerkingsstap voor de vaste fractie van het digestaat is korrelen tot mestkorrels, waarbij de ammoniakemissie verder naar beneden kan worden gebracht. Doordat de vaste fractie wordt gekorrelt, wordt deze niet meer gebruikt als boxenstrooisel.

Bij het droogproces voor het korrelen vervluchtigt alle NTan uit het digestaat. De NTan wordt dan middels een luchtwasser opgevangen en als spuiwater (ammoniumsulfaat) afgevoerd. In de mestkorrels zit dan geen NTan meer. Bij het aanwenden van de twee mestproducten vervluchtigt er dan nog maar weinig ammoniak. Door het aanwenden van het spuiwater met een spaakwielbemester kan er een reductie van de ammoniakemissie van 27% gerealiseerd worden, oftewel 11 mln. kg. Per koe worden de extra kosten voor korrelen geschat op 87 euro. Bij in totaal 1,58 mln. melkkoeien is dat op nationaal 135 mln. euro, dat is 13 euro per kg reductie van de ammoniakemissie. Door het geproduceerde spuiwater worden de kosten voor kunstmest lager. Hiermee is in deze studie echter geen rekening gehouden.

Voor het hele systeem inclusief korrelen komt de ammoniakreductie dan neer op 24 mln. kg, een reductie van 61%. Door het korrelen wordt in plaats van met dikke fractie met mestkorrels en spuiwater bemest. Het aantal kilometer langeafstandtransport reduceert dan met 95% ten opzichte van de basissituatie (zonder systeem) en van 85% naar 95% ten opzichte van de situatie zonder korrelen. De besparing op de transportkosten is dan 41 mln. euro in plaats van 37 mln. euro, wat netto 4 mln. euro is. Wel vallen de besparingen op boxenstrooisel van 46 euro per koe weg, wat 73 mln. euro is op nationaal niveau. Met de nettobesparingen op de transportkosten van 4 mln. euro, de weggevallen besparingen op het boxenstrooisel en de kosten voor het korrelen komen de totale jaarkosten van het systeem met korrelen op 580 mln. euro ($376 + 73 - 4 + 135$), komt de kosteneffectiviteit van het hele systeem inclusief korrelen neer op 24 euro per kg reductie van de ammoniakemissie.

Tabel 4.4 Reductie van de ammoniakemissie, jaarkosten en kosteneffectiviteit van systeem dagontmesting-monovergisten-strippen

	Ammoniakemissie		Jaarkosten (mln. euro)	Kosten- effectiviteit (euro/kg NH ₃)
	Traditioneel melk- en kalfkoeien (mln. kg)	Reductie % t.o.v. regulier Mln. kg		
Stal en opslag	22,0	2	0,4	
Bij aanwenden	17,6	75	13,2	
Totaal	39,6	34	376	28
Plus korrelen vaste fractie	39,6	27	135	13
Verlies besparingen boxenstrooisel			73	
Besparingen transportkosten			-4	
Totaal incl. korrelen	39,6	61	580	24

5 Melkvee: Semidichte vloer – onderafzuiging – luchtwasser

Bij een systeem met een semidichte vloer met onderafzuiging en aansluitende luchtwasser worden feces en urine direct gescheiden.⁶ Op de sleuven van de mestroosters worden separatiestrips bevestigd met gaten van 8 mm, waardoor de urine in de kelder terecht komt (Lijster, 2020). De feces worden elke 2 uur met een mestrobot opgeveegd en de vloer wordt door de mestrobot schoongespoeld met water. Ongeveer de helft van de urine komt in de kelder terecht, de andere helft wordt met de mestrobot opgeveegd en in een separate mestkelder gedeponereerd. Met een afzuigstelsysteem wordt de lucht onder de roosters afgezogen en daarna via een filter gereinigd. Voor het filteren van de lucht kan de boer kiezen tussen salpeterzuur (ruim 100 liter/koe/dag) en zwavelzuur (ruim 30 liter/koe/dag). Het systeem kan in alle bestaande melkveestallen met roostervloeren worden ingebouwd (Lijster, 2020).

5.1 Reductie van de emissies uit de stal

Ammoniak

Het stalsysteem 'semidichte vloer – onderafzuiging – luchtwasser' valt in de lijst Regeling ammoniak en veehouderij (RAV) in categorie A1.39 met een emissiefactor voor ammoniak van 3,6 kg NH₃ per dierplaats per jaar. Ten opzichte van het referentiesysteem met een emissiefactor van 13 kg NH₃ per dierplaats per jaar (categorie A1.100) is dat een reductie van 72% (Kenniscentrum InfoMil, 2022).

Methaanemissie

Of er ook reductie van methaanemissie uit de kelders plaatsvindt is niet bekend. De feces worden in een aparte silo gestort. Als het systeem wordt gecombineerd met vergisting, kan aan de silo een monovergister gekoppeld worden. Ook kan het methaan afgefakkeld worden waardoor de methaanemissie flink kan dalen.

5.2 Investeringsen en kosten

Praktijkvoorbeelden van het stalsysteem 'semidichte vloer – onderafzuiging – luchtwasser' beramen de extra investeringen in dit stalsysteem ten opzichte van een traditionele stal op 1.325 euro per koe (Vermaas, 2021). Bij een dergelijke investering wordt als vuistregel gerekend met 12% jaarkosten voor rente, afschrijving, verzekering en onderhoud (Janssen, 2021; persoonlijke mededeling). De jaarkosten per koe van de extra investeringen zijn dan 159 euro.

Voor een bedrijf met 120 melkkoeien worden kosten voor water, energie, verzekering en zuren geschat op 9.500 euro per jaar (Duinisveld, 10 oktober 2020), oftewel 79 euro per koe per jaar. De totale jaarkosten per koe per jaar komen dan uit op 238 euro. Als de totale melkveehouderij met 1,58 mln. melkkoeien dit stalsysteem zou toepassen, komt dat nationaal neer op jaarlijks 376 mln. euro aan extra kosten. Om de vloer schoon te spoelen, is er 8.000 liter water per melkkoe nodig (Gollenbeek, 2022; persoonlijke mededeling). Voor 1,58 mln. melkkoeien betekent dat dat er 12,6 mln. ton meer mest moet worden uitgereden. Bij een prijs van 2,50 euro per ton komt dat neer op jaarlijks 31,5 mln. euro aan extra uitrijkosten. Nationaal zijn de totale extra kosten dan: 376+31,5= 407,5 mln. euro.

Het moet worden benadrukt dat het hier gaat om een benadering van de kosten. Kanttekening is dat de kosten voor het uitrijden van de verdunde mest waarschijnlijk niet lineair kunnen worden doorgetrokken omdat verdunde mest makkelijker en sneller uitrijdt dan gewone drijfmest. Er zijn echter geen gegevens beschikbaar van het uitrijden van verdunde mest en daarom is er gekozen voor de lineaire benadering. Om de benadering van de kosten zit een onzekerheidsmarge van circa 25%, de kosten kunnen dus 25% hoger of

⁶ Een voorbeeld van zo een systeem is de Lely Spere.

lager uitvallen. Niet-lineaire kosten vallen binnen deze onzekerheidsmarge. Bij de berekeningen is geen rekening gehouden met de onzekerheidsmarge.

5.3 Mestproducten en ammoniakemissie

Emissie uit stal en opslag

Welke mestproducten ontstaan er per koe en in welke producten zit de minerale stikstof (NTan)? Volgens de WUM komt er 128 kg stikstof (N) van de excretie (productie onder de staart) van een gemiddelde melkkoe in stal en opslag terecht (Van Bruggen, 2020). De ammoniakemissie uit een reguliere stal is daarbij 13 kg N (Van Bruggen, 2021; NEMA-berekeningen), in de opslag (bij aanwenden) zit er dan nog 117,2 kg N in de drijfmest. Het systeem 'semidichte vloer – onderafzuiging – luchtwasser' heeft een reductie van de ammoniakemissie uit de stal van 72%. Bij een 72% reductie van 10,8 kg N vindt er dan nog 3,0 kg N aan gasvormige emissie van ammoniak uit de stal plaats.

Door de onderafzuiging emitteert er bij dit systeem meer ammoniak uit de mest. Lucht boven de mest is immers niet verzadigd met ammoniak, waardoor meer kan vervluchtigen. Hierdoor komt er 15 kg N uit de mest in het spuiwater terecht (Van den Berg, 2021; persoonlijke mededeling). Met dit systeem zit er dan 110 kg stikstof (128-(3,0+15)) in de stalmest. In een reguliere stal zit er in de stalmest 53% NTan (Van Bruggen, 2021, NEMA-berekeningen). Met 117,2 kg N in de opslag komt dat neer op 62,1 kg N. Bij het systeem met onderafzuiging vervluchtigt er meer ammoniak en komt er maar 50% van de NTan in de stalmest terecht, wat 55 kg NTan per koe is. De 15 kg N in het spuiwater is namelijk allemaal NTan die uit de mest is gekomen.

Ongeveer de helft van de NTan (27,5 kg) komt in het fecesdeel terecht en de andere helft in het urinedeel. Beide producten zijn vloeibaar en verpompbaar. Het fecesdeel heeft een hoger drogestofgehalte dan het urinedeel.

De stal- en opslagemissie van de melk- en kalfkoeien bedroeg in 2019 ongeveer 22 mln. kg NH₃. Met het hier besproken systeem kan reductie worden gerealiseerd van 72%, wat 16 mln. kg NH₃ is.

Emissie bij aanwenden

Bij het aanwenden hebben we dan per gemiddelde Nederlandse melkkoe (128 kg N):

1. 15,0 kg NTan in de vorm van spuiwater (exclusief de N uit het salpeterzuur).
2. 27,5 kg NTan in de vorm van dikke drijfmest.
3. 27,5 kg NTan in de vorm van urine meststof.

Bij het aanwenden van reguliere mest wordt er 62,1 kg NTan per koe toegediend met een zodenbemester (emissiefactor 17%): de stikstofemissie is dan 10,6 kg N in vorm van ammoniak. Bij het hier besproken systeem wordt 55 kg NTan aangewend met de zodenbemester (EF 17%) en 15 kg NTan met een spaakwielbemester (EF 2%). Dit komt neer op een ammoniakemissie bij aanwenden van (9,35 +0,3) 9,65 kg N in de vorm van ammoniak. Dus bij aanwenden wordt een ammoniakreductie gerealiseerd van 9% met het systeem van 'semidichte vloer – onderafzuiging – luchtwasser'. Zoals eerder aangegeven in dit rapport is de ammoniakemissie bij aanwenden van drijfmest van melk- en kalfkoeien in 2019 17,6 mln. kg. Hierop kan met dit systeem 9% reductie gerealiseerd worden, oftewel 1,6 mln. kg NH₃.

Kosteneffectiviteit

De reductie van de ammoniakemissie uit stal en opslag en bij aanwenden bij elkaar opgeteld komt neer 17,6 mln. kg. Dit is de reductie als alle melkveebedrijven in Nederland dit systeem toe zouden passen voor de melk- en kalfkoeien. De totale extra jaarkosten voor dit systeem bedragen 407,5 mln. euro. Bij een totale reductie van de ammoniakemissie van 17,6 mln. kg komt de kosteneffectiviteit van de ammoniakreductie van dit systeem neer op 23 euro per kg NH₃ (Tabel 5.1).

5.4 Inclusief monovergisten

Bij het scenario met monovergisten zijn de uitgangspunten dat de verse dikke fractie vergist wordt en dat deze extra stap kostenneutraal is. Kostenneutraal betekent dat de opbrengst van het methaangas voor elektriciteitopwekking gelijk is aan de kosten van monovergisten. Hier moet de opmerking worden gemaakt dat monovergisten op zich niet de doelstelling heeft om ammoniak te verlagen.

Met de extra stap van het monovergisten kan er een reductie van de methaanemissie uit mest van ongeveer 80% worden gerealiseerd (Casu en Van Gastel, 2022). Verder wordt er door deze vergistingsstap ongeveer de helft van de organische stikstof in de dikke drijfmest omgezet in minerale stikstof (NTan) (Casu, 2022, persoonlijke mededeling).

Volgens Van den Berg (2021, persoonlijke mededeling) komt 87% van de organische stikstof in de dikke drijfmest terecht. In totaal is de productie van organische stikstof in een melkveestal 58,6 kg per dier per jaar (Van Bruggen et al., 2020). Daarvan komt dan 51 kg in de dikke drijfmest terecht. Bij monovergisten wordt ongeveer de helft van de organische stikstof omgezet in NTan (Casu, 2022). Bij het aanwenden hebben we dan per gemiddelde Nederlandse melkkoe (128 kg N):

1. 15,0 kg NTan in de vorm van spuiwater (exclusief de N uit het salpeterzuur).
2. 53,0 kg NTan in de vorm van dikke drijfmest
(27,5 kg (NTan exclusief monovergisten) plus 25,5 kg (50% van N-org in dikke fractie (51 kg))).
3. 27,5 kg NTan in de vorm van urinemeststof.

Bij het aanwenden van reguliere mest wordt er 62,1 kg NTan toegediend met een zodenbemester (EF 17%). De stikstofemissie bij aanwenden is dan 10,6 kg N in de vorm van ammoniak. Bij het hier besproken systeem inclusief monovergisten wordt 80,5 kg NTan (53,0+27,5) aangewend met de zodenbemester (EF 17%) en 15 kg met een spaakwielbemester (EF 2%). Dat komt neer op een ammoniakemissie bij aanwenden van (13,7 +0,3) 14,0 kg N in de vorm van ammoniak. Ten opzichte van het aanwenden van reguliere mest (10,6 kg N) stijgt de ammoniakemissie bij aanwenden van mest uit het besproken systeem met de extra stap monovergisten met 32%.

De ammoniakemissie bij aanwending van alle melkveemest in Nederland stijgt dan van 17,6 naar 23,2 mln. kg NH₃. Bij toepassing van het systeem 'semidichte vloer – onderafzuiging – luchtwasser' zonder monovergisting wordt een reductie van de ammoniakemissie gerealiseerd van 17,4 mln. kg NH₃. Wordt er de extra stap monovergisten aan gekoppeld, dan daalt die reductie van de ammoniakemissie in totaal naar 11,8 mln. kg NH₃.

Met jaarkosten van 407,5 mln. euro bedragen de extra kosten per kg NH₃-reductie dan 12 euro. Dat is een stijging van meer van 50% ten opzichte van het systeem zonder monovergisting, van 23 euro/kg NH₃ naar 34 euro/kg NH₃ (Tabel 5.1).

Tabel 5.1 Ammoniakemissie, jaarkosten en kosteneffectiviteit van het systeem semidichte vloer - onderafzuiging – luchtwasser.

	Ammoniakemissie		Mln. kg	Jaarkosten (mln. euro)	Kosten- effectiviteit (euro/kg NH ₃)
	Regulier (mln. kg)	Reductie % t.o.v. regulier			
Stal en opslag	22,0	72	15,8	376	25
Bij aanwenden	17,6	9	1,6	31,5	20
Totaal	39,6	44	17,4	407,5	23
Aanwenden (incl. monovergisten)	17,6	+32	+5,6		
Totaal incl. monovergisten	39,6	25,4	11,8	407,5	35

Methaanemissie

Met de extra stap monovergisten wordt er minder ammoniakemissie gereduceerd dan zonder deze extra stap. Voordeel is wel dat de methaanemissie met 80% wordt gereduceerd. Hiermee moet rekening worden gehouden bij de afweging van de maatregelen.

6 Varkens: Dagontmesting + mestverwerking

Gollenbeek et al. (2021) hebben verschillende scenario's doorgerekend voor de reductie van ammoniakemissie in de varkenshouderij. Twee scenario's combineren een forse reductie van de ammoniak- en broeikasgasemissies in de stal met gelijkblijvende of lagere emissies bij mestaanwending. Dat zijn:

1. Dagontmesting uit de stal en mestverwerking.
2. Gescheiden opvang van urine en feces, en mestverwerking.

In dit kader is vervolgens gekozen voor het doorrekenen van het scenario dagontmesting en verwerking omdat bij dit scenario de broeikasgasemissies 20% verder worden gereduceerd (totaal met 75%) dan bij het scenario gescheiden opvang van urine en feces en mestverwerking, terwijl de kosten en ammoniakemissiereducties bij beide scenario's vrijwel gelijk zijn (Gollenbeek et al., 2021).

Bij het scenario dagontmesting met verwerking wordt onderscheid gemaakt tussen installaties met een verwerkingscapaciteit van 125 kton, 250 kton en 750 kton mest. De gegevens over de verwerkingscapaciteit van 250 en 750 kton stammen uit Gollenbeek et al. (2021). De gegevens over de verwerkingscapaciteit van 125 kton zijn op een later moment op wens van de stuurgroep Next Level Mestverwaarden in het kader van deze studie berekend door Jos van Gastel (zie Bijlage 2). Om vergelijkbaarheid mogelijk te maken zijn bij alle drie varianten dezelfde uitgangspunten gehanteerd. Uitzondering is de locatie van de verwerking van de dikke fractie bij de 125 kton-variant; dit zal nader worden beschreven in het vervolg van dit hoofdstuk. Voor alle drie varianten wordt in dit hoofdstuk het scenario Greenfield aangehouden. Dat houdt in dat de verwerkingsinstallatie nieuw wordt aangelegd op een leeg perceel en niet als aanvullende activiteit op een bestaand bedrijf. Alle kengetallen en resultaten van deze drie installaties zijn aan het eind van dit hoofdstuk samengevat in Tabel 6.2. Resultaten voor verwerking als aanvullende activiteit op een bestaand bedrijf zijn opgenomen in Bijlage 2.

Voor de 125 kton-variant is aanvullend het effect van de energietarieven op het poorttarief in kaart gebracht. De resultaten hiervan zijn samengevat in Paragraaf 6.5 en uitgebreider beschreven in Bijlage 2. Alle uitgangspunten en kenmerken voor de scenario's, ook die van invloed zijn op de energieprijzen, zijn in detail opgenomen in Bijlage 2.

6.1 Procesbeschrijving

Dagontmesting betekent dat de drijfmest dagelijks uit de stal wordt verwijderd. In deze studie betreft het een stalsysteem waarin naast dagelijkse afvoer ook emissiereducerende maatregelen boven en onder de roosters zijn genomen. Uitgangspunt is het rapport van Gollenbeek et al. (2021), waarbij de drijfmest elke 14 dagen opgehaald wordt en naar de centrale mestverwerker wordt gebracht. De ouderdom van de mest bij afvoer varieert tussen 0 en 14 dagen, met een gemiddelde ouderdom van 7 dagen. Verder wordt verondersteld dat de mest 3 dagen wordt opgeslagen op de centrale verwerkingslocatie. De gemiddelde ouderdom van de mest bij invoer in het vergistingsproces is dan 10 dagen. Volgens van Gollenbeek et al. (2021) heeft 10 dagen oude mest een organischestofgehalte van 89 kg OS/ton en is de verwachte biogasproductie 0,36 m³/kg OS. Kanttekening is dat de afbraak van organische mest niet lineair verloopt en afhankelijk is van diverse factoren. Het organischestofgehalte van gemiddeld 10 dagen oude mest is dan ook een benadering.

Na het vergistingsproces wordt het digestaat gescheiden in een dikke en een dunne fractie. De dikke fractie wordt vervolgens gedroogd en tot mestkorrels geperst. Bij het droogproces vervluchtigt vrijwel alle ammoniak uit de mest. De ammoniak wordt met luchtwassers opgevangen. Er ontstaan dan twee producten: mestkorrels (waarin vrijwel geen minerale N meer zit) en spuiwater. De dunne fractie wordt verwerkt met een ammoniakstripper, die het grootste deel van de minerale stikstof eruit haalt. Het ammoniakrijke product

wordt gemengd met het spuiwater en afgezet als een vloeibare stikstofmeststof.⁷ De andere reststroom van de dunne fractie wordt verwerkt tot een vloeibare kali meststof met nog geringe gehalten aan organische stof, stikstof en een aantal andere mineralen. Verder komt er bij de verwerking van vleesvarkensdrijfmest 68% van de ingaande mest vrij als water. Dit water is schoon genoeg om te worden geloosd.

6.2 Reductie ammoniakemissie

Stal, opslag en verwerking

Praktijkmetingen hebben aangetoond dat bij dagontmesting 80% van de ammoniakemissie kan worden gereduceerd ten opzichte van een reguliere stal (Gollenbeek et al., 2021). Doordat de emissies bij opslag en verwerken hoger zijn dan bij het regulier systeem is de emissiereductie van stal, opslag en verwerking 70% ten opzichte van het regulier systeem (Gollenbeek et al., 2021). Zeugen en biggen hadden in 2019 al een reductie van de ammoniakemissie weten te realiseren van 48% ten opzichte van een reguliere stal en vleesvarkens en opfokvarkens van 54% (Van Bruggen et al., 2021). Gemiddeld voor de hele varkenshouderij is dat ongeveer 50%. Deze 50% reductie heeft geleid tot een ammoniakemissie uit stallen, opslagen en be- en verwerking in de varkenshouderij van 14,2 mln. kg in 2019. Met 100% dagontmesting en verwerking daalt dit met een extra 20% naar ongeveer 8,5 mln. kg. Dat is een daling van 5,7 mln. kg N-NH₃ uit stallen, opslagen en be- en verwerking. De reductie van de methaanemissie ten opzichte van traditioneel is bijna 75% (Gollenbeek et al., 2021).

Mesttoediening

Voor de twee vloeibare stikstofhoudende producten met daarin ongeveer alle minerale stikstof (NTan), wordt de emissiefactor van vloeibare stikstofkunstmest aangehouden. In het gekorrelde organische stofproduct, de mestkorrels, zit geen NTan. Hierdoor vindt er geen ammoniakemissie plaats bij toediening van de mestkorrels. Dit leidt tot een reductie van de ammoniakemissie met 89% (Gollenbeek et al., 2021). In 2019 was de ammoniakemissie bij toedienen van varkensmest 4,3 mln. kg N-NH₃ (Van Bruggen, 2021). Met 100% dagontmesting en verwerking daalt dit naar ongeveer 0,5 mln. kg: dat is een daling 3,8 mln. kg N-NH₃ bij toedienen van varkensdrijfmest.

125, 250 en 750 kton verwerking

Verwacht wordt dat de ammoniakemissie per ton varkensdrijfmest voor de 125, 250 en 750 kton-varianten nagenoeg overeen zullen komen. Hoewel er bij de 125 kton-variant extra handelingen plaatsvinden ten aanzien van opslag, laden en lossen van de dikke fractie, leidt dit niet tot een significante stijging van de emissies over de gehele verwaardingsketen. In Bijlage 2 wordt hierop in verder detail ingegaan.

6.3 Producten bij verwerking van varkensmest

Bij de verwerking van 250 kton varkensmest ontstaan er vijf producten, zie Tabel 6.1. Naast meststoffen wordt er 8 mln. m³ biogas geproduceerd. Biogas heeft een soortelijk gewicht van 1,2 kg/m³, 8 m³ komen dan neer op een gewicht van 10 kton.

Tabel 6.1 Producten die ontstaan bij de verwerking van 250 kton varkensmest.

Product	Hoeveelheid (kton)
Minerale stikstofmest (5% N)	30,9
Minerale kaliummest (5% K)	18,7
Mestkorrels (organisch)	19,8
Biogas	10
Loosbaar water	170,6
TOTAAL	250

Bron: Gollenbeek et al. (2021).

⁷ Dit is mogelijk na goedkeuring van de EU-wetgeving rond RENURE meststoffen.

Er wordt van uitgegaan dat de producten mineraal stikstofmest, mineraal kaliummest en organische mestkorrels met gangbare apparatuur toegediend kunnen worden. Er dient echter nog wel nader onderzoek plaats te vinden of dat echt zo is.

Variant 125 kton

Bij een aanvoercapaciteit van 125 kton varkensmest wordt er te weinig dikke fractie geproduceerd om deze op locatie kostenefficiënt de drogen en te korrelen. Bij deze variant is er daarom van uitgegaan dat de dikke fractie naar een tweede verwerkingslocatie wordt getransporteerd, waar de dikke fractie van meerdere kleinere verwerkers wordt gedroogd en gekorrelt. Op de 125 kton-locatie worden dan naast biogas alleen de eindproducten Mineraal N-5% en Mineraal K-5% geproduceerd.

6.4 Investerings en jaarkosten

Verwerkingsinstallatie 750 kton

Voor een verwerkingsinstallatie voor 750.000 ton drijfmest zijn de investeringen 54,3 mln. euro met een poorttarief van 10 euro per ton varkensdrijfmest (Gollenbeek et al., 2021). In 2019 bedroeg de totale productie aan varkensmest 9,8 mln. ton (WUM, 2020). Wanneer al deze mest afgevoerd zou worden door dagontmesting en verwerking, komen de totale investeringen uit op 710 mln. euro. Met een poorttarief van 10 euro per ton, komen de jaarlijkse kosten uit op 98 mln. euro. De verwachting is dat een stal met dagontmesting vergelijkbare investeringen en kosten heeft als een gangbare emissiearme stal met vloer en mestkelder aanpassingen (Gollenbeek, 2021; persoonlijke mededeling).

Verwerkingsinstallatie 250 kton

Bij verwerkingsinstallaties van 250.000 ton drijfmest zijn de investeringen 25,9 mln. euro per fabriek en het poorttarief is dan 19 euro per ton mest. Om alle varkensmest jaarlijks te verwerken (9,8 mln. ton) vergt dit een investering van iets meer dan 1 miljard euro. De jaarlijkse kosten komen met een poorttarief van 19 euro per ton uit op 186,2 mln. euro.

Verwerkingsinstallatie 125 kton

Behalve dat bij de capaciteit van 125 kton de locatie van de verwaarding van de dikke fractie is gewijzigd, worden bij het doorrekenen van deze variant dezelfde uitgangspunten gehanteerd als bij een capaciteit van 250 en 750 kton (Gollenbeek et al., 2021). Hierbij dient te worden opgemerkt dat de energieprijzen uit Gollenbeek (2021) dateren van 2020 en aanzienlijk lager zijn dan de huidige energieprijzen. Om die reden is besloten om de resultaten van 125 kton-installatie ook door te rekenen met aangepaste energietarieven. De resultaten hiervan zijn beschreven in Paragraaf 6.5.

Bij een verwerkingsinstallatie van 125.000 ton drijfmest zijn de investeringen 10,1 miljoen euro per fabriek. Als alle varkensmest in Nederland (9,8 mln. ton) met 125 kton-installaties moet worden verwerkt, komen we totale investeringen op ruim 1,75 miljard euro.

Het poorttarief van een 125 kton-installatie is berekend op 21 euro per ton aangevoerde mest. Dit ligt net iets hoger dan het poorttarief van de 250 kton-verwerkingsinstallatie waarbij de dikke fractie op de locatie zelf wordt gedroogd en gekorrelt. Het centraal drogen en korrelen zorgt weliswaar voor lagere kosten per ton dikke fractie, maar ook voor aanvullende kosten voor transport, wegen en bemonsteren van de dikke fractie. In de vergelijking tussen de 125 en 250 kton-installatie wordt het schaalvoordeel van centraal drogen en korrelen teniet gedaan door de aanvullende kosten voor transport, wegen en bemonsteren. De poorttarieven van de twee varianten wijken maar weinig van elkaar af, maar komen wel op een andere manier tot stand.

Bij de 125 kton-variant dienen ook de investeringen in de centrale korrelfabriek mee te worden gerekend.

Een centrale plant waar 140.000 ton dikke fractie afkomstig van meerdere lokale verwerkers kan worden gedroogd en gekorrelt vraagt een investering van circa 22,5 miljoen euro. Een 125 kton-installatie produceert circa 26,5 kton dikke fractie. Dit vertegenwoordigt 19% van de aanvoercapaciteit van de centrale plant voor drogen en korrelen. De overeenkomstige investeringskosten voor drogen en korrelen zijn niet

toegerekend aan de lokale 125 kton-verwerkingslocatie. De investeringskosten zijn verrekend in het poorttarief van de korrelfabriek.

Transport- en aanwendkosten

De hoeveelheid eindproducten die moeten worden uitgereden daalt bij het systeem dagontmesting met verwerking met 72%. Deze 72% is loosbaar water en het geproduceerde gas. Door de daling van de te transporteren producten dalen ook de jaarlijkse kosten. De oorspronkelijke transportkosten en de aanwendkosten van de eindproducten zijn nu verrekend in het poorttarief. De lagere transportkosten moeten hiermee worden verrekend. Uitgaande van de huidige uitrijkosten van 2,50 euro per ton drijfmest en transportkosten van 10 euro per ton drijfmest (Wagenberg et al., 2019) zijn dat in totaal 12,50 euro aan kosten per ton mest die niet meer gemaakt hoeven te worden. Er moeten wel transportkosten naar de fabriek worden betaald. Hieronder wordt dit nader per variant beschreven.

750 kton

Bij de 750 kton-variant wordt een transportafstand van varkensbedrijf naar installatie van gemiddeld 20 km verondersteld en gemiddelde transportkosten van 4,50 euro per ton. De nettobesparingen op transport- en aanwendkosten zijn dan 8,00 euro (12,50-4,50) per ton. In totaal levert dat een besparing op van 78,4 mln. euro (9,8 mln. ton mest maal 8 euro). De nettokosten zijn dan 19,6 mln. euro (98 - 78,4 euro). Met deze kosten wordt een daling van de ammoniakemissie bereikt van 9,5 mln. kg (5,7 + 3,8). Dat komt neer op nettokosten van 2,10 euro (19,6/9,5) per kg ammoniakreductie.

250 kton

Bij de 250 kton-variant wordt een transportafstand van varkensbedrijf naar installatie van gemiddeld 10 km verondersteld en gemiddelde transportkosten van 3,50 euro per ton. Hiermee worden dan 9,00 euro per ton (12,50-3,50 euro) aan transport- en aanwendkosten bespaard, wat een totale besparing van 88,2 mln. euro (9,8 mln. ton mest maal 9 euro) oplevert. De nettokosten zijn 98,0 euro (186,2 - 88,2 euro). Met deze kosten wordt een daling van de ammoniakemissie bereikt van 9,5 mln. kg (5,7 + 3,8). Dat komt neer op nettokosten van 10,30 euro (98,0/9,5) per kg ammoniakreductie.

125 kton

Bij de 125 kton-variant wordt een transportafstand van varkensbedrijf naar installatie van gemiddeld 8 km verondersteld en gemiddelde transportkosten van 3,30 euro per ton. De nettobesparingen op transport- en aanwendkosten zijn dan 9,20 euro per ton (12,50 - 3,30 euro). Dat levert een besparing van in totaal 90,2 mln. euro op (9,8 mln. ton mest maal 9,20 euro).

Bij de 125 kton-variant ontstaan wel extra kosten voor het transport van de dikke fractie naar de centrale verwerker waar de dikke fractie gedroogd en gekorrelt wordt. Als gemiddeld transportafstand tussen vergistingsinstallatie en centrale verwerker is 40 km aangehouden (zie onderbouwing in Bijlage 2). De kosten voor de afvoer van de dikke fractie naar de centrale plant voor drogen en korrelen zijn berekend op 35 euro per ton dikke fractie, waarvan 19 euro per ton voor het poorttarief van de centrale plant voor drogen en korrelen, 9,40 euro per ton voor transport, wegen en bemonsteren en 6,60 euro per ton correctie van het energietarief om dit scenario vergelijkbaar te maken met de scenario's van 250 kton en 750 kton in Gollenbeek et al. (2021). Bij vergisten van 125 kton varkensmest ontstaat ruim 26 kton vaste fractie. Dat is ruim 20% van de oorspronkelijk hoeveelheid mest. Wordt dit doorgerekend naar nationaal niveau, dan komt het erop neer dat ruim 2 miljoen ton dikke fractie (20% van 9,8 mln. ton) jaarlijks naar een centrale plant voor drogen en korrelen moet worden getransporteerd.

Alle kengetallen van de 125, 250 en 750 kton verwerkingsinstallatie zijn samengevat in Tabel 6.2.

Tabel 6.2 Kentallen van mestverwerkingsinstallaties van 125 kton, 250 kton en 750 kton (2019).

	Omvang Installatie (kton)		
	750	250	125
Varkensmest NL (mln. ton)	9,8	9,8	9,8
Investeringen per fabriek (mln. euro)	54,3	25,9	10,1
Poorttarief (euro/ton dikke fractie)	10	19	21
Totaal investeringen (mln. euro)	710	1015	792
Jaarkosten (mln. euro)	98	186,2	205,8
Besparing uitrij- en aanwendkostenkosten (euro/ton)	12,5	12,5	12,5
Transportkosten naar fabriek (euro/ton)	4,5	3,5	3,3
Netto besparing (euro/ton)	8	9	9,20
Totaal besparingen transport- en aanwendkosten (mln. euro), x 9,8 mln. ton mest	78,4	88,2	90,2
<i>Alleen voor 125 kton-variant</i>			
Kosten voor afvoer dikke fractie (euro/ton)			35
• Transport (40 km), wegen, bemonsteren			9,40
• Correctie energietarieven referentie ¹			6,60
• Poorttarief centrale plant drogen/korrelen			19
Totaal extra kosten afvoer bij 2 mln. ton dikke fractie (mln. euro)			70
Netto jaarkosten (mln. euro)	19,6	98	185,6
NH ₃ reductie uit stal en opslag (mln. kg)	5,7	5,7	5,7
NH ₃ reductie bij aanwending (mln. kg)	3,8	3,8	3,8
NH ₃ reductie totaal (mln. kg)	9,5	9,5	9,5
Kosteneffectiviteit (euro/kg NH ₃)	2,1	10,3	20

1) Bron: Biomineralen 2019 (In het Biomineralenproject is gerekend met gunstigere energietarieven dan in Gollenbeek et al. (2021). Door deze correctie worden dit poorttarief en de (interne) poorttarieven voor verwerking van de dikke fractie op de locatie zelf (250 en 750 kton) vergelijkbaar gemaakt.)

6.5 Invloed van energietarieven op resultaten 125 kton-installatie

Sinds de publicatie van het rapport van Gollenbeek et al. (2021) zijn de energietarieven met name in de tweede helft van 2022 sterk toegenomen, waarbij een verviervoudiging van het tarief (+400%) geen uitzondering was. De stuurgroep van de PPS NL Next Level Mestverwaarden heeft daarom het verzoek gedaan om de invloed van de energietarieven op het poorttarief in kaart te brengen. Dit is gedaan in het kader van de berekeningen voor de 125 kton-installatie. De installaties met 250 en 750 kton verwerkingscapaciteit vallen hier buiten beschouwing.

Poorttarief centrale korrelfabriek

De bewerkingsstap waarbij de dikke fractie wordt gedroogd en gekorrelt is relatief energie-intensief. Bij het scenario met 125 kton verwerkingscapaciteit vindt drogen en korrelen plaats bij een centrale korrelfabriek. Een verhoging van de energietarieven heeft dan ook een groot effect op het poorttarief van de centrale korrelfabriek. Het poorttarief bij de korrelfabriek bestaat uit kosten voor transport, wegen en bemonsteren. Tabel 6.3 toont de resultaten van het poorttarief als de tarieven voor stroom en warmte verdubbelen, verdrievoudigen of verviervoudigen (een uitgebreider tabel is te vinden in Bijlage 2). Er is gerekend met een stroomprijs van 96 euro/MWh (100%) en een warmteprijs van 31 euro/MWh (100%)

Tabel 6.3 Tarief voor levering dikke fractie aan centrale korrelfabriek (in euro/ton), het tarief bestaat uit poorttarief korrelfabriek en kosten voor transport, wegen en bemonsteren (stroomprijs 100% = 96 euro/MWh en warmteprijs 100% = 31 euro/MW).

Stroomprijs	Warmteprijs			
	100%	200%	300%	400%
100%	35	44	54	63
200%	42	51	61	70
300%	49	58	68	77
400%	56	65	75	84

Tabel 6.3 laat zien dat bij een verdubbeling van de prijs voor stroom en warmte het poorttarief stijgt van 35 naar 51 euro per ton en bij een verviervoudiging meer dan verdubbeld, van 35 naar 84 euro per ton.

Poorttarief 125 kton mestverwerkingsinstallatie

Door een verhoging van de poorttarieven bij de centrale korrelfabriek, nemen de kosten voor levering van de dikke fractie van de mestverwerker aan de centrale korrelfabriek toe. Aan de andere kant vindt er bij de mestverwerker energieproductie plaats, waardoor er door de gestegen energieprijs meer inkomsten gegenereerd worden. Daarnaast ontstaan er extra inkomsten door de toegenomen waarde van het minerale stikstofproduct. Het effect van deze tegengestelde bewegingen op het poorttarief van de mestverwerker is weergegeven in Tabel 6.4.

Tabel 6.4 Minimaal benodigd poorttarief bij onafhankelijke variatie van warmte- en stroomprijs, in euro/ton.

Stroomprijs	Warmteprijs			
	100%	200%	300%	400%
100%	21	24	23	22
200%	23	24	22	22
300%	24	23	22	21
400%	24	23	22	21

De resultaten in Tabel 6.4 laten zien dat het minimaal benodigde poorttarief met toenemende prijzen voor stroom en warmte in eerste instantie toeneemt. Dit komt doordat een verhoging van de energieprijs leidt tot een reductie van de SDE-subsidie. Pas bij een verder stijging van de prijzen voor stroom en warmte neemt het poorttarief van de mestverwerker weer af. Wel valt op dat de verschillen in het poorttarief met variërende prijzen voor stroom en warmte niet groot zijn.

Afzet dikke fractie binnen Nederland

Voor de lokale verwerker leiden stijgende energietarieven tot extra inkomsten uit levering van energie en een hogere waarde van het minerale stikstofproduct. Tabel 6.5 laat zien dat bijvoorbeeld een afzetprijs van dierlijke mest van 20 euro/ton zonder toegenomen prijs voor warmte en stroom leidt tot een poorttarief van 18 euro per ton. Ook hier geldt dat een stijging van de energiekosten leidt tot een afname van het SDE-subsidiebedrag. Het minimale benodigde poorttarief neemt daardoor in eerste instantie slechts beperkt af, en pas sterker wanneer het subsidiebedrag volledig is weggevallen.

Tabel 6.5 Minimaal benodigd poorttarief mestverwerker (in euro/ton) bij variatie afzetkosten dikke fractie en variatie energietarieven.

Warmte- en stroomprijs	Afzetprijs dikke fractie in Nederland, euro/ton				
	10	15	20	25	30
100%	16	17	18	19	20
200%	16	17	18	19	20
300%	15	16	17	18	19
400%	12	13	14	16	17

7 Vleeskalverhouderij: Dagontmesting + verwerking met groengas (variant HBE)

Bij de techniek dagontmesting en verwerking met groengas (variant HBE (hernieuwbare brandstofeenheid)) in de vleeskalverhouderij wordt de drijfmest van de kalveren dagelijks verwijderd uit de stal en in een externe opslag op het bedrijf opgeslagen voordat het naar de centrale verwerker wordt getransporteerd. De aangevoerde drijfmest wordt in deze variant eerst vergist, vervolgens wordt het digestaat gescheiden waarna de dikke en dunne fractie verder worden verwerkt. Het gewonnen biogas wordt opgewerkt naar groengaskwaliteit. Bij de economische berekeningen wordt uitgegaan van HBE-certificaten. Omdat de prijs van HBE-certificaten sterk kunnen schommelen worden twee varianten doorgerekend: (1) met lage en (2) met verwachte opbrengsten van HBE-certificaten. Er wordt van uitgegaan dat het poorttarief bij lage opbrengsten van HBE-certificaten gelijk is aan de variant met SDE-subsidie (Gollenbeek et al., 2021). De technieken worden voor blankvleeskalveren en rosékalveren uitgewerkt.

Het basisjaar voor de berekeningen is 2019. De uitgangsgegevens voor aantallen dieren, mestproductie per dier, jaarproductie van mest en ammoniakemissie per kalversector zijn voor dat jaar weergegeven in Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Dieren aantallen, mestproductie (kg/dier en mln. kg/jaar) en ammoniakemissie (mln. kg) van blankvlees- en rosékalveren 2019

	Aantal dieren	Gemiddelde mestproductie per dier (kg) a)	Jaarproductie mest (mln. kg)	NH ₃ -emissie NL (mln. kg) b)
Blankvleeskalveren	631.714	2.800	1.769	3,2
Rosékalveren	373.516	4.500	1.681	2,1

a) Bron: Van Bruggen (2020); Dierlijke mest en mineralen, 2019; b) Bron: Van Bruggen (2022); persoonlijke mededeling.

7.1 Referentiescenario

In het referentiescenario zijn de emissies uit stal, opslag en aanwenden en uit verwerking opgenomen. Om de emissiereductie van de mestverwerkingstechnieken te kunnen bepalen wordt in Gollenbeek et al. (2021) een regulier referentiescenario zonder mestverwerking vergeleken met de scenario's met de verschillende mestverwerkingstechnieken. Het referentiescenario gaat ervan uit dat de drijfmest 1 maand wordt opgeslagen onder de roostervloer en niet verder wordt verwerkt. De mest wordt onverwerkt uitgereden. De ammoniakemissie voor de regulier situatie is weer gegeven in Tabel 7.2.

Tabel 7.2 Emissie van ammoniak en methaan (ton/jaar) in het referentiescenario.

Emissie	Stal	Externe opslag	Aanwenden	Totaal	Verwerking SMG	1/3 verwerking bij SMG
Blankvleeskalveren						
NH ₃	432	13	302	747	528	674
CH ₄	1.302	69	-	1.371	711	1.151
Rosékalveren						
NH ₃	214	10	234	458		
CH ₄	3.373	151		3.524		

Mestsoorten met lage stikstof- en fosfaatgehalten worden over het algemeen dicht bij het productiebedrijf afgezet. Want door de lage mineralengehalten is transport per kg mineraal erg duur. Vleeskalverendrijfmest heeft lage gehalten en wordt daarom vooral in de buurt van het productiebedrijf afgezet. In de Gelderse Vallei wordt de mest van blankvleeskalveren veelal afgezet bij Stichting Mestverwerking Gelderland (SMG). De emissie van de verwerking van blankvleeskalvermest door SMG is weergegeven in Tabel 7.2. In het referentiescenario voor deze studie is het uitgangspunt dat één derde van de mestproductie van blankvleeskalveren naar SMG gaat. Bij rosékalveren vindt verwerking niet plaats. Mest van rosékalveren heeft een hogere organischestof- en drogestofgehalte en de techniek van verwerken van SMG is niet geschikt voor deze hogere gehalten. De uitgangspunten voor de organischestofgehaltenes en biogasopbrengsten voor de massabalansen en exploitatieberekeningen zijn weergegeven in Tabel 7.3.

Tabel 7.3 Organische stofgehalte (kg/ton) en biogasopbrengst (m³/kg OS) van blankvlees- en rosékalveren.

	Blankvleeskalveren	Rosékalveren
Organische stofgehalte (kg per ton)	43	74,2
Biogasopbrengst (m ³ per kg OS)	0,47	0,49

7.2 Emissiereductie

Ammoniak

Met dagontmesting en verwerking bij blankvleeskalveren daalt de ammoniakemissie uit stal, opslag en aanwenden naar 326 ton NH₃. Ten opzichte van de situatie dat de mest wordt uitgereden is dat een reductie van 56% en ten opzichte van verwerking bij SMG is dat 38%. Ten opzichte van het referentiescenario waarbij één derde van de mest wordt verwerkt bij SMG bedraagt de reductie 52%.

Met een totale ammoniakemissie in 2019 van 3,2 mln. kg voor blanke vleeskalveren (Tabel 7.1; Van Bruggen, 2022; persoonlijke mededeling) komt dat neer op een reductie van 1,7 mln. kg NH₃. Bij rosékalveren daalt de ammoniakemissie met dagontmesting en verwerking naar 177 ton NH₃ per jaar. Dat is een reductie van 61% ten opzichte van het referentiescenario.

De totale ammoniakemissie van rosékalveren was in 2019 2,1 mln. kg (Tabel 7.1; Van Bruggen, 2022; persoonlijke mededeling). Met dagontmesting en verwerking vindt daarbij een reductie plaats van 61%, dat is 1,3 mln. kg ammoniak.

Methaan

De methaanemissie uit stal, opslag en aanwenden daalt met dagontmesting en verwerking bij blankvleeskalveren naar 351 ton CH₄, een reductie van 74% ten opzichte van de situatie dat de mest wordt uitgereden en 51% ten opzichte van de situatie dat de mest wordt verwerkt door SMG. Ten opzichte van het referentiescenario waarbij één derde van de mest wordt verwerkt bij SMG bedraagt de reductie 70%.

Bij rosékalveren daalt de methaanemissie met dagontmesting en verwerking naar 937 ton CH₄ per jaar. Dat is een reductie van 73% ten opzichte van het referentiescenario.

7.3 Investeringsen, kosten en producten

In Tabel 7.4 zijn de investeringen en kosten (poorttarief) van dagontmesting en verwerking vermeld.

Wanneer de vleeskalverdrijfmest wordt afgezet naar een verwerker is het de verwachting dat de transportkosten ongeveer gelijk zijn aan die in de reguliere situatie. Bij verwerking kan wel worden bespaard op de toedieningskosten van drijfmest, dat is 2,50 euro per ton. Investeringsen en kosten zijn berekend voor de variant met 250 kton en 750 kton verwerkingscapaciteit.

Producten

Een hoeveelheid van 250 ton drijfmest van blankvleeskalveren wordt omgezet tot de volgende producten (Gollenbeek et al., 2021):

- 5,1 mln. m³ biogas dat opgewekt wordt tot groen gas.
- 25,6 ton vloeibaar mineraal N-product met een gehalte van 5% stikstof.
- 29,8 ton vloeibaar mineraal K-product met een gehalte van 5% kalium.
- 7,4 ton organische mestkorrels.

Een hoeveelheid van 250 ton drijfmest van rosékalveren wordt omgezet tot de volgende producten (Gollenbeek et al., 2021):

- 8,8 mln. m³ biogas dat opgewekt wordt tot groen gas.
- 19,9 ton vloeibaar mineraal N-product met een gehalte van 5% stikstof.
- 21,5 ton vloeibaar mineraal K-product met een gehalte van 5% kalium.
- 13,0 ton organische mestkorrels.

De opbrengsten van de producten zijn verwerkt in het poorttarief.

Tabel 7.4 Investerings en kosten van dagontmesting en verwerking bij twee capaciteiten en twee varianten.

Omschrijving	Eenheid	Dagontmesting+ verwerking lage HBE-opbrengsten	Dagontmesting+ verwerking verwachte HBE-opbrengsten
Blankvleeskalveren			
250 kton			
• Investerings	mln. euro	21,7	21,7
• Poorttarief	Euro/ton	18	12
750 kton			
• Investerings	mln. euro	46,3	46,3
• Poorttarief	Euro/ton	11	5
Rosékalveren			
250 kton			
• Investerings	mln. euro	25,3	25,3
• Poorttarief	Euro/ton	17	6
750 kton			
• Investerings	mln. euro	53,3	53,3
• Poorttarief	Euro/ton	8	-2

Bron: Gollenbeek et al. (2021).

Stalkosten

In Gollenbeek et al. (2021) wordt niet vermeld of het dagelijks verwijderen van de mest uit de stal en het opslaan in een externe opslag op het bedrijf wel of geen extra investeringen en kosten met zich meebrengt ten opzichte van een reguliere stal. In deze studie zijn twee varianten doorgerekend. In de eerste variant zijn de kosten van de stal niet meegenomen en in de tweede variant zijn deze wel meegenomen. Volgens de KWIN 2019-2020 zijn de kosten voor een vleeskalverenstal waarin urine en feces worden gescheiden (zie volgend hoofdstuk 8) 38 euro per dierplaats voor blankvleeskalveren en 37 euro per dierplaats voor rosévleeskalveren. Voor het systeem van dagontmesting en verwerking is aangenomen dat de extra kosten voor de stal de helft zijn van het systeem van scheiden van urine en feces, dat is dan 19 euro per dierplaats voor blankvleeskalveren en 18,50 euro per dierplaats voor rosékalveren. Met 631.714 blankvleeskalveren in 2019 zijn dat meerkosten voor de stal van 12 mln. euro en met 373.516 rosékalveren zijn dat 6,9 mln. euro. De extra kosten voor de stallen zijn verwerkt in Tabel 7.5.

7.4 Jaarkosten en kosteneffectiviteit

Voor de berekening van de kosteneffectiviteit zijn de jaarkosten berekend als het poorttarief minus de besparingen op de toedieningskosten maal de tonnen mest. Er zijn twee varianten van de kosteneffectiviteit berekend. Bij de eerste variant zijn de kosten voor stalaanpassingen (nieuwbouw) niet meegenomen en bij de tweede keer zijn deze wel meegenomen. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 7.5.

Tabel 7.5 Jaarkosten, reductie van de NH₃-emissie en kosteneffectiviteit van dagontmesting en verwerking bij blankvlees- en rosékalveren bij twee varianten en twee capaciteiten.

	Ammoniakemissie			Jaarkosten (mln. euro)		Kosteneffectiviteit (euro/kg NH ₃)		
	Referentie- Scenario (mln. kg)	Reductie		Excl. kosten stal	Incl. kosten stal	Excl. kosten stal	Incl. kosten stal	
		% t.o.v. referentie	Mln. kg					
Blankvleeskalveren								
250 kton								
• Laag HBE	3,2	52	1,7	27,4	39,4	17,1	24,6	
• Verwacht HBE	3,2	52	1,7	16,8	28,8	10,5	18	
750 kton								
• Laag HBE	3,2	52	1,7	15,0	27,0	9,4	16,9	
• Verwacht HBE	3,2	52	1,7	4,4	16,4	2,8	10,3	
Rosékalveren								
250 kton								
• Laag HBE	2,1	61	1,3	24,4	31,3	18,8	24,1	
• Verwacht HBE	2,1	61	1,3	5,9	12,8	4,5	9,8	
750 kton								
• Laag HBE	2,1	61	1,3	9,2	16,1	6,9	12,4	
• Verwacht HBE	2,1	61	1,3	-7,6	-0,7	-5,8	-0,5	

Bij de gegevens in Tabel 7.5 valt op dat de techniek dagontmesting en verwerking bij rosékalveren kosteneffectiever is dan bij blankvleeskalveren. Dat ligt met name aan de hogere kosten bij blankvleeskalveren.

Verder valt af te lezen dat de verwerking met de hogere capaciteit van 750 kton zoals verwacht kosteneffectiever is dan de verwerking met de lagere capaciteit van 250 kton. Dagontmesting met verwerking met een capaciteit van 750 kton levert bij rosékalveren zelfs iets op.

8 Kalverhouderij: Scheiding urine en feces

Om emissies uit kalverstallen te verminderen, kunnen huisvestingssystemen worden toegepast waarbij urine en feces apart worden opgevangen of worden gescheiden in de stal. Het scheiden van urine en feces dient zo veel mogelijk te voorkomen dat de ureum in de urine wordt omgezet naar ammoniak. Dit gebeurt door de enzymen die in de feces aanwezig zijn. In deze studie is aangenomen dat beide fracties dagelijks uit de stal worden afgevoerd naar een externe opslag op het bedrijf. Voor stalemissie van ammoniak die hierbij plaatsvindt is aangenomen dat er een reductie van 50% kan worden behaald ten opzichte van een gangbaar systeem (Puente-Rodríguez et al., 2020). Het snel afvoeren van urine en feces draagt er ook toe bij dat emissie van methaan vanuit het huisvestingssysteem afneemt.

Beide fracties, zowel de urine als de feces, worden van de externe opslag op het bedrijf getransporteerd naar een centrale verwerkingseenheid, waar vier eindproducten worden gemaakt: Mineraal-N, Mineraal-K, organische mestkorrels en biogas. De aangevoerde feces wordt in dit scenario eerst vergist. Het digestaat wordt daarna gescheiden in een dikke en een dunne fractie, die vervolgens verder worden verwerkt. Het gewonnen biogas wordt ingezet voor de opwekking van elektriciteit en warmte. De techniek wordt voor blankvees- en rosékalveren uitgewerkt.

De uitgangsggegevens wat betreft aantallen dieren, mestproductie en ammoniakemissie uit de kalverhouderij zijn uit 2019, dezelfde als in hoofdstuk 7 (zie Tabel 7.1).

8.1 Referentiescenario

De emissie van ammoniak en methaan in het referentiescenario is hetzelfde als bij de dagontmesting en verwerking (zie Tabel 7.2). Ook bij het scheiden van urine en feces en aansluitende verwerking wordt aangenomen dat bij de blankveeskalveren één derde van de mest verwerkt wordt bij SMG. Bij de rosékalveren wordt in het referentiescenario geen verwerking verondersteld.

Bij de massabalansen en exploitatieberekeningen is uitgegaan van de organische stofgehalten en biogasopbrengsten (feces), zoals aangegeven in Tabel 8.1.

Tabel 8.1 Organische stofgehalte (kg/ton) en biogasopbrengst (m³/kg OS) van blankvees- en rosékalveren.

	Blankveeskalveren	Rosékalveren
Organische stofgehalte (kg per ton)	132,7	110,8
Biogasopbrengst (m ³ per kg OS)	0,44	0,45

8.2 Emissiereductie

Ammoniak

Met het scheiden van urine en feces en aansluitende verwerkingsstap daalt de ammoniakemissie uit stal, opslag en aanwenden bij blankveeskalveren naar 248 ton NH₃. Ten opzichte van de situatie dat de mest wordt uitgereden is dat een reductie van 67% en ten opzichte van verwerking bij SMG is dat 53%. Ten opzichte van het referentiescenario waarbij één derde van de mest wordt verwerkt bij SMG bedraagt de reductie 63%. Met een totale ammoniakemissie in 2019 van 3,2 mln. kg voor blanke vleeskalveren (Tabel 7.1; Van Bruggen, 2022; persoonlijke mededeling) komt dat neer op een reductie van 2 mln. kg NH₃.

Bij rosékalveren daalt de ammoniakemissie met scheiden van urine en feces en aansluitende verwerkingsstap van 458 ton NH₃ naar 189 ton NH₃. Dat is een reductie van 59% ten opzichte van het referentiescenario.

De totale ammoniakemissie van rosékalveren was in 2019 2,1 mln. kg (Tabel 7.1; Van Bruggen, 2022; persoonlijke mededeling). Een reductie van 59% komt neer 1,2 mln. kg ammoniak.

Methaan

De methaanemissie uit stal, opslag en aanwenden daalt met scheiden van urine en feces en verwerking bij blankvleeskalveren naar 496 ton CH₄, een reductie van 64% ten opzichte van de situatie dat de mest wordt uitgereden en 51% ten opzichte van de situatie dat de mest wordt verwerkt door SMG. Ten opzichte van het referentiescenario waarbij één derde van de mest wordt verwerkt bij SMG bedraagt de reductie 57%.

Bij rosé vleeskalveren daalt de methaanemissie door scheiden van urine en feces en verwerking naar 1391 ton CH₄. Dat is een reductie van 60%.

8.3 Investeringsen, kosten en producten

In Tabel 8.2 worden de investeringen en kosten (poorttarief) van het scheiding van urine en feces vermeld. Zowel de urine als ook de feces worden voor verdere verwaarding naar een verwerker gebracht. Urine en feces hoeven dan niet meer toegediend te worden en er kan bespaard worden op de toedieningskosten van drijfmest van 2,50 euro per ton.

Bij de kostenberekening van Gollenbeek et al. (2021) is uitgegaan van 1,30 euro/ton aan SDEsubsidie bij blankvleeskalveren (Gollenbeek, 2021; Tabel B2.4) en van 2,64 euro/ton bij rosékalveren (Gollenbeek, 2021; Tabel B6.4). Omdat dit een kostenpost is voor de overheid wordt de SDEsubsidie in deze berekeningen niet meegenomen. Het poorttarief wordt daarom verhoogd met 1,30 euro/ton bij blankvleeskalveren en met 2,64 euro bij rosékalveren.

Tabel 8.2 Investeringsen en kosten van scheiden in stal plus verwerking bij twee capaciteiten en twee varianten.

Omschrijving	Eenheid	Scheiden in stal + verwerking inclusief SDE-subsidie	Scheiden in stal + verwerken exclusief SDE-subsidie
250 kton blank			
• Investeringsen	Mln. euro	16,6	16,6
• Poorttarief	Euro/ton	21,0	22,3
750 kton blank			
• Investeringsen	Mln. euro	35,2	35,2
• Poorttarief	Euro/ton	14,0	15,3
250 kton rosé			
• Investeringsen	Mln. euro	19,5	19,5
• Poorttarief	Euro/ton	18	22,6
750 kton rosé			
• Investeringsen	Mln. euro	40,9	40,9
• Poorttarief	Euro/ton	11	15,6

Bron: Gollenbeek et al. (2021).

Producten

Een hoeveelheid van 250 ton drijfmest van blankvleeskalveren wordt omgezet tot de volgende producten (Gollenbeek et al., 2021):

- 2,7 mln. m³ biogas dat opgewekt wordt tot groen gas.
- 17,7 ton vloeibaar mineraal N product met een gehalte van 5% stikstof.
- 30,8 ton vloeibaar mineraal K product met een gehalte van 5% kalium.
- 4,1 ton organische mestkorrels.

Een hoeveelheid van 250 ton drijfmest van rosékalveren wordt omgezet tot de volgende producten (Gollenbeek et al., 2021):

- 6,1 mln. m3 biogas dat opgewekt wordt tot groen gas.
- 14,2 ton vloeibaar mineraal N product met een gehalte van 5% stikstof.
- 21,0 ton vloeibaar mineraal K product met een gehalte van 5% kalium.
- 9,1 ton organische mestkorrels.

De opbrengsten van de producten zijn verrekend in het poorttarief.

Stalkosten

In Van Gollenbeek et al. (2021) worden geen gegevens vermeld of er op bedrijfsniveau voor het vleeskalverbedrijf wel of geen extra investeringen en kosten nodig zijn voor het aan de bron scheiden van de mest ten opzichte van een reguliere stal. In deze studie zijn twee varianten doorgerekend. In de eerste variant zijn de kosten van de stal niet meegenomen en in de tweede variant zijn deze wel meegenomen. Volgens de KWIN 2019-2020 zijn de kosten voor een vleeskalverenstal waarin urine en feces worden gescheiden 38 euro per dierplaats voor blankvleeskalveren en 37 euro per dierplaats voor rosévleeskalveren. Met 631.714 blankvleeskalveren in 2019 zijn dat meerkosten voor de stal van 24 mln. euro en met 373.516 rosékalveren zijn dat 13,8 mln. euro. De extra kosten voor de stallen zijn verwerkt in Tabel 8.3.

8.4 Jaarkosten en kosteneffectiviteit

De jaarkosten worden berekend door van het poorttarief (exclusief SDE-subsidie) de toedieningskosten van 2,50 euro van drijfmest ervan af te trekken en dat vervolgens vermenigvuldigen met het totale mestvolume (zie Tabel 7.1). Er zijn twee varianten van de kosteneffectiviteit berekend. Bij de eerste variant zijn de kosten voor stalaanpassingen (nieuwbouw) niet meegenomen en bij de tweede keer zijn deze wel meegenomen. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 8.3.

Tabel 8.3 Jaarkosten, reductie van de NH₃-emissie en kosteneffectiviteit van scheiden van urine en feces en verwerking bij blankvlees- en rosékalveren bij twee varianten en twee capaciteiten.

	Ammoniakemissie			Jaarkosten (mln. euro)		Kosteneffectiviteit (euro/kg NH ₃)	
	Referentie- scenario (mln. kg)	Reductie		Excl. kosten stal	Incl. kosten stal	Excl. kosten stal	Incl. kosten stal
		% t.o.v. referentie	Mln. kg				
Blankvleeskalveren							
250 kton	3,2	63	2	35,0	59,0	17,5	29,5
750 kton	3,2	63	2	22,6	46,6	11,3	23,3
Rosékalveren							
250 kton	2,1	59	1,2	33,8	47,6	28,2	23,5
750 kton	2,1	59	1,2	22,0	35,8	18,4	15,3

Zoals kon worden verwacht is het scheiden van urine en feces met aansluitend verwerken met een capaciteit van 750 kton in beide sectoren kosteneffectiever dan de verwerking met minder capaciteit.

Anders dan bij dagontmesting en verwerking dat in het vorige hoofdstuk werd besproken is de techniek scheiden van urine en feces met verwerking bij blankvleeskalveren kosteneffectiever dan bij rosékalveren. Bij dagontmesting en verwerking was dat juist bij rosékalveren het geval. De jaarkosten zijn bij blankvleeskalveren wel wat hoger maar er wordt verhoudingsgewijs ook meer ammoniak gereduceerd.

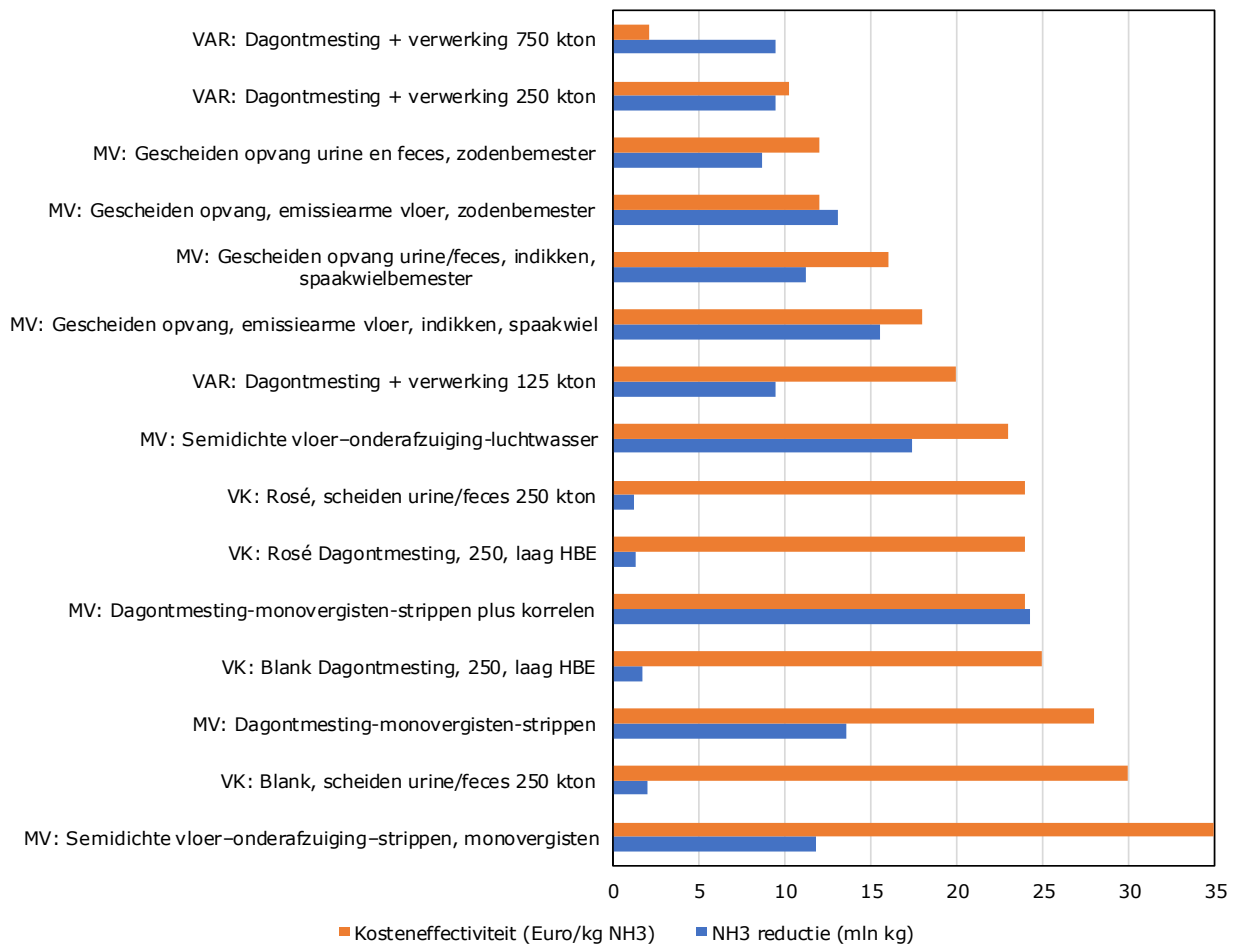
9 Vergelijking kosteneffectiviteit

In dit hoofdstuk worden alle berekende kosteneffectiviteitsgegevens uit de voorgaande hoofdstukken naast elkaar gezet en met elkaar vergeleken. De bedoeling hier is om een idee te krijgen van de potentieel meest kosteneffectieve technische innovatie voor het terugdringen van de ammoniakemissie. In Tabel 9.1 zijn de resultaten van alle maatregelen, de reductie van de ammoniakemissie in mln. kg, de jaarkosten in mln. euro en de kosteneffectiviteit in euro per kg NH₃ samengevat. In dit samenvattend hoofdstuk is voor de kalverhouderij (blankvlees en rosé) in afstemming met de stuurgroep PPS NL Next Level de keuze gemaakt om alleen de resultaten van de scenario's met mestverwerking 250 kton, lage HBE (bij dagontmesting en verwerking) en inclusief kosten voor de stal te presenteren. Met het meenemen van de kosten voor stallen zijn de resultaten vergelijkbaar met die van de andere technieken. De resultaten van de andere scenario's in de kalverhouderij zijn weergegeven in hoofdstuk 7 en 8.

Tabel 9.1 *Overzicht resultaten van besproken maatregelen: reductie van de NH₃-emissie (mln. kg), jaarkosten (mln. euro) en kosteneffectiviteit (euro/kg NH₃).*

HS		Reductie NH ₃ -emissie (mln. kg)	Jaarkosten (mln. euro)	Kosteneffectiviteit (euro/kg NH ₃)
Melkveehouderij				
3	Gescheiden opvang van urine en feces, zodenbemester	8,7	102,6	12
3	Gescheiden opvang van urine en feces, indikken en spaakwielbemester	11,2	175,7	16
3	Gescheiden opvang van urine en feces, emissiearme vloer, zodenbemester	13,1	158	12
3	Gescheiden opvang van urine en feces, emissiearme vloer, indikken en spaakwielbemester	15,6	286,4	18
4	Dagontmesting-monovergisten-strippen	13,6	376	28
4	Dagontmesting-monovergisten-strippen plus korrelen vaste fractie	24,3	575	24
5	Semidichte vloer-onderafzuiging-luchtwater	17,4	407,5	23
5	Semidichte vloer-onderafzuiging-luchtwater plus monovergisten	11,8	407,5	35
Varkenshouderij				
6	Dagontmesting + verwerking 125 kton	9,5	185,6	20
6	Dagontmesting + verwerking 250 kton	9,5	98	10
6	Dagontmesting + verwerking 750 kton	9,5	19,6	2
Vleeskalverhouderij				
<i>Dagontmesting en verwerking</i>				
7	Blankvlees: 250 kton, laag HBE	1,7	39,4	25
7	Rosé: 250 kton, laag HBE	1,3	31,3	24
<i>Scheiden van urine en feces en verwerking</i>				
8	Blankvlees: 250 kton	2	59,0	30
8	Rosé: 250 kton	1,2	47,6	24

Om een eerste indruk te krijgen van de meest en de minst kosteneffectieve technische innovatie zijn de berekende kosteneffectiviteitscijfers weergegeven in Figuur 9.1. De kosteneffectiviteit zegt iets over de kosten die gepaard gaan met het terugdringen van een bepaalde hoeveelheid ammoniakemissie. Het geeft echter geen informatie over de absolute omvang van de emissiereductie. Een maatregel kan dan wel qua kosteneffectiviteit hoog scoren, maar in absolute termen geen forse emissiereductie bewerkstelligen. Om hiervan een beeld te krijgen is in Figuur 9.1 naast de kosteneffectiviteit ook de reductie van de ammoniakemissie per maatregel inzichtelijk gemaakt.



Figuur 9.1 De kosteneffectiviteit (euro/kg NH₃) gerangschikt van laag naar hoog, en de reductie van de ammoniakemissie (mIn. kg) per (combinatie van) maatregel(en); VK: Vleeskalveren, MV: Melkvee, VAR: Varkens

In Figuur 9.1 wordt duidelijk dat maatregelen met dagontmesting en verwerking zowel in de varkenshouderij als ook in de kalverhouderij als de meest kosteneffectieve innovaties uit de bus komen, waarbij grootschalige verwerking (750 kton) qua kosteneffectiviteit op plaats 1 en 2 eindigen. Volgens de hier toegepaste methode is berekend dat met dagontmesting en grootschalige verwerking in de varkenshouderij een reductie van 1 kg NH₃ met 2,1 euro bereikt kan worden. De minst kosteneffectieve innovatie is daarentegen de semidichte vloer-onderafzuiging-luchtwasser in de varianten met monovergisten. NH₃ ligt met name aan de stijging van de ammoniakemissie bij toedienen van digestaat. Bij monovergisten wordt de helft van de N-org omgezet in NTan, en deze extra NTan veroorzaakt een hogere ammoniakemissie bij aanwenden. De emissiefactor van NTan bij zodenbemester in 17% en bij N-org 0%.

Bij de technische maatregelen in de melkveehouderij komt de gescheiden opvang van urine en feces met of zonder emissiearme vloer, waarbij de urine wordt toegediend met een zodenbemester als beste naar voren, met beiden een kosteneffectiviteit van rond de 12 euro/kg NH₃. Bij de variant met indikken van de urine en toediening met een spaakwielbemester kan de ammoniakemissie verder omlaag worden gebracht, de kosten voor het indikken zijn echter vrij hoog, waardoor de varianten met spaakwielbemester een minder gunstige kosteneffectiviteit laat zien.

Verder is te zien dat een aantal technische innovaties niet sterk van elkaar afwijken, ze liggen voornamelijk tussen de 15 en 20 euro per kg NH₃. Het is aan te nemen dat deze kleine verschillen binnen de onzekerheidsmarges van de berekeningen liggen.

De drie innovaties met monovergisten scoren qua kosteneffectiviteit het minst goed. Zoals boven aangegeven komt dat door de hoge ammoniakemissie die optreedt bij het gebruik van de dikke fractie als

boxenstrooisel of meststof of digestaat als meststof. Door de dikke fractie te korrelen of het digestaat te strippen, kan er meer ammoniakemissie gereduceerd worden en de kosteneffectiviteit worden verbeterd. Daarnaast valt uit de figuur af te lezen dat door te korrelen ook de hoogste reductie van de ammoniakemissie bereikt kan worden bij melk- en kalkkoeien, in totaal 24,3 mln. kg NH₃.

Kabinetsdoelstelling

In de inleiding van dit rapport is aangegeven dat de ammoniakemissie door de landbouw tot 2030 met ruim 39 kg NH₃ terug gebracht moet worden om aan de kabinetsdoelstelling te voldoen. De vraag is nu in hoeverre de onderzochte maatregelen in staat zijn om hier een bijdrage aan te leveren. Onder de aanname dat alle bedrijven in Nederland met de betreffende diercategorie de maatregel toepassen (100% adoptie), kan deze vraag van twee kanten worden bekeken. Wat is de bijdrage aan de kabinetsdoelstelling voor de reductie van de NH₃-emissie als:

- A. alleen gekeken wordt naar de meest kosteneffectieve maatregelen; en
- B. alleen gekeken wordt naar de maatregelen met de grootste potentiële emissiereductie?

Tabel 9.2A toont de resultaten met de meest kosteneffectieve maatregelen per sector. In de melkveehouderij kan met de maatregel gescheiden opvang van urine en feces, emissiearme vloer, zodenbemester 13,1 mln. kg NH₃ worden gereduceerd. Dat is ruim 33% van de kabinetsdoelstelling. In de varkenshouderij kan met (één van) de drie varianten van dagontmesting en verwerking 9,5 mln. kg ammoniak worden gereduceerd als alle bedrijven deze maatregel toe zouden gaan passen. Dat is goed voor 24% van de kabinetsdoelstelling. Met de twee sectoren in de vleeskalverhouderij kan bij 100% adoptie in totaal 2,5 mln. kg NH₃ worden gereduceerd, oftewel 6,4% van de kabinetsdoelstelling. Bij elkaar opgeteld kunnen de meest kosteneffectieve maatregelen bij 100% adoptie door alle sectoren bijna 65% van de beoogde kabinetsdoelstelling voor reductie van de NH₃-emissie bereiken. De jaarkosten die hiermee gemoeid zijn liggen bij bijna 200 mln. euro.

Tabel 9.2A Maximale reductie NH₃-emissie (mln. kg) en jaarkosten (mln. euro) bij 100% adoptie van maatregelen (meest kosteneffectief).

Maatregel (meest kosteneffectief)	Maximale reductie NH ₃ -emissie bij 100% adoptie (mln. kg)	Bijdrage aan kabinetsdoelstelling NH ₃ -emissie-reductie (%), 39 mln. kg = 100%	Totale kosten jaarkosten (mln. euro)
Melkveehouderij: Gescheiden opvang van urine en feces, emissiearme vloer, zodenbemester	13	34	158
Varkenshouderij: dagontmesting + verwerking	10	24	20
Vleeskalveren blankvlees: dagontmesting, 750 kton, verwacht HBE	1	3	16
Vleeskalveren rosé: dagontmesting, 750 kton, verwacht HBE	1	3	-1
TOTAAL	25	64	197

Tabel 9.2B toont de resultaten met de maatregelen met de hoogste potentiële emissiereductie. In de melkveehouderij kan met de maatregel dagontmesting-monovergisten-strippen plus korrelen 24,3 mln. Kg NH₃ worden gereduceerd, ruim 60% van de kabinetsdoelstelling. In de varkenshouderij kan met (één van) de drie varianten van dagontmesting en verwerking 9,5 mln. kg ammoniak worden gereduceerd als alle bedrijven deze maatregel toe zouden gaan passen. Dat is 24% van de kabinetsdoelstelling. Met de twee sectoren in de vleeskalverhouderij kan bij 100% adoptie in totaal 3,3 mln. kg NH₃ worden gereduceerd, 8,4% van de kabinetsdoelstelling. Alle maatregelen met de grootste potentiële emissiereductie bij elkaar opgeteld kunnen bij 100% adoptie door alle sectoren 95% van de beoogde kabinetsdoelstelling voor reductie van de NH₃-emissie bereiken. De jaarkosten die hiermee gemoeid zijn liggen tussen de 640 en 800 mln. euro.

Tabel 9.2B Maximale reductie NH₃-emissie (mln. kg) en jaarkosten (mln. euro) bij 100% adoptie van maatregelen (hoogste potentiële emissiereductie).

Maatregel (met hoogste potentiële emissiereductie)	Maximale reductie NH ₃ -emissie bij 100% adoptie (mln. kg)	Bijdrage aan doelstelling kabinet (%), 39 mln.kg NH ₃ =100%	Totale kosten jaarkosten (mln. euro)
Melkveehouderij: dagontmesting-monovergisten-strippen + korrelen	24	62	575
Varkenshouderij: dagontmesting + verwerking	10	24	20 - 134
Vleeskalveren blankvlees: Scheiden urine en feces	2	5	46 - 59
Vleeskalveren rosé: dagontmesting en verwerking	1	3	-1 - 31
TOTAAL	37	95	640 - 800

NH₃-reductie en kosten per dierplaats per jaar

Voor de melkveehouderij zijn de reductie van de ammoniakemissie en de jaarkosten voor drie technische innovaties met de bijbehorende variaties berekend naar dierplaats per jaar (Tabel 9.3). Hierbij zijn de gegevens uit Tabel 9.1 gedeeld door het aantal melk- en kalfkoeien in Nederland in 2019 (1,58 miljoen).

Tabel 9.3 NH₃-reductie en jaarkosten van de technische innovaties in dierplaats per jaar.

	NH ₃ reductie (kgNH ₃ /dierplaats/jaar)	Jaarkosten (euro/dierplaats/jaar)
Semidichte vloer-onderafzuiging-strippen, monovergisten	6	258
Dagontmesting-monovergisten-strippen	8	238
Dagontmesting-monovergisten-strippen plus korrelen	15	364
Gescheiden opvang, emissiearme vloer, indikken, spaakwiel	9	181
Semidichte vloer-onderafzuiging-luchtwater	14	258
Gescheiden opvang urine/feces, indikken, spaakwielbemester	7	111
Gescheiden opvang, emissiearme vloer, zodenbemester	8	100
Gescheiden opvang urine en feces, zodenbemester	5	65

Milieuscore: broeikasgassen

Bij de hier berekende kosteneffectiviteit per maatregel is alleen rekening gehouden met de kosten voor de reductie van de ammoniakemissie. Als daarnaast ook wordt gekeken naar andere milieuthema's, zoals broeikasgasemissie, worden maatregelen in eerste instantie duurder lijken, interessanter. Om een indruk te krijgen van de prestatie van de maatregelen op het gebied van broeikasgassen, zijn de milieuthema's beoordeeld met een milieuscore. Hierbij worden de reductie van de ammoniak- en broeikasemissie en de kosten per kg NH₃-reductie semi-kwantitatief gewaardeerd aan de hand van sterretjes. De sleutel voor deze waardering is weergegeven in Tabel 9.4.

Tabel 9.4 Sleutel voor waardering milieuprestaties technische innovaties.

Waardering	Reductie ten opzichte van 2019		Kosteneffectiviteit (euro per kg NH ₃)
	Ammoniak	Broeikasgassen	
0	0-10%	geen	
*	10-20%	0-20%	> 20
**	20-30%	20-40%	15-20
***	30-40%	40-60%	10-15
****	40-50%	60-80%	5-10
*****	>50%	> 80%	0-5

Tabel 9.5 geeft de milieuscore van alle maatregelen voor ammoniakemissie en broeikasgasemissie. Daarnaast krijgt ook de kosteneffectiviteit een waardering met sterretjes.

Tabel 9.5 Milieuscore van technische innovaties aan de hand van semi-kwantitatieve waardering.

Sector en systeem	Ammoniak	Broeikasgassen	Kosten-effectiviteit
Melkveehouderij			
Gescheiden opvang urine en feces, zodenbemester	**	0	***
Gescheiden opvang van urine en feces, indikken en spaakwielbemester	**	0	**
Gescheiden opvang van urine en feces, emissiearme vloer, zodenbemester	***	0	***
Gescheiden opvang van urine en feces, emissiearme vloer, indikken en spaakwielbemester	***	0	**
Dagontmesting-monovergisten-strippen	***	****	*
Dagontmesting-monovergisten-strippen plus korrelen	*****	****	*
Semidichte vloer-onderafzuiging-luchtwater	****	nb	*
Semidichte vloer-onderafzuiging-luchtwater incl. monovergisten	*	****	*
Varkenshouderij			
Dagontmesting verwerking 125.000 ton	*****	****	***
Dagontmesting verwerking 250.000 ton	*****	****	***
Dagontmesting verwerking 750.000 ton	*****	****	*****
Vleesvarkenshouderij			
Dagontmesting en verwerking blankvlees 250 kton	*****	*****	*/**
Dagontmesting en verwerking blankvlees 750 kton	*****	*****	**/**
Dagontmesting en verwerking rosé 250 kton	*****	*****	*/***
Dagontmesting en verwerking rosé 750 kton	*****	*****	***/**
Scheiden urine en feces blankvlees 250 kton	*****	*****	*
Scheiden urine en feces blankvlees 750 kton	*****	*****	*
Scheiden urine en feces rosé 250 kton	*****	*****	*
Scheiden urine en feces rosé 750 kton	*****	*****	***

Kosteneffectiviteit bij dagontmesting in verwerking vleeskalverhouderij: laag HBE/verwacht HBE.

10 Conclusies en discussie

Technische innovaties voor de reductie van de ammoniakemissie zijn een veel besproken alternatief voor het opkopen van productierechten. In deze studie zijn voor in totaal zes verschillende technische innovaties inclusief verschillende varianten in drie sectoren de kosten van en bijdrage aan de reductie van de ammoniakemissie beschreven. Vervolgens is voor alle innovaties de kosteneffectiviteit berekend en met elkaar vergeleken.

In het begin van dit hoofdstuk gaan we in op de conclusies per sector: melkveehouderij, varkenshouderij en vleeskalverhouderij. Vervolgens wordt ingegaan op de kabinetsdoelstellingen, en afsluitend volgen algemene conclusies en discussie.

Melkveehouderij

De innovatie semidichte vloer-onderafzuiging-luchtwasser plus monovergisten komt in de melkveehouderij met de meest ongunstige kosteneffectiviteit naar voren. Dit resultaat wordt vooral beïnvloed door de ammoniakemissie die vrijkomt bij het aanwenden van (de vaste fractie van) het digestaat. De aanwending van digestaat heeft een hogere emissiefactor doordat ongeveer de helft van de organisch gebonden stikstof tijdens het vergistingsproces omgezet wordt in NTan en dan bij de mestaanwending kan vervluchtigen. Hetzelfde principe doet zich voor bij de innovatie dagontmesting-monovergisten-strippen, waarbij de vaste fractie als boxenstrooisel wordt gebruikt. Ook hierbij komt ammoniak vrij, waardoor ook deze innovatie een relatief ongunstige kosteneffectiviteit laat zien. Korrelen van de vaste fractie van het digestaat brengt extra kosten met zich mee, maar kan de ammoniakemissie substantieel verlagen (circa 30%), waardoor ook de kosteneffectiviteit aanzienlijk verbeterd. Ook emissiearm aanwenden van de vaste fractie is een mogelijkheid om de ammoniakemissie verder te verlagen.

Varkenshouderij

In de varkenshouderij komt de maatregel dagontmesting met verwerking met een capaciteit van 750 kton mest als meest kosteneffectief uit de bus. De vergeleken maatregelen schelen alleen qua capaciteit, dus de hoeveelheid mest die verwerkt kan worden. Het feit dat de variant met de grootste capaciteit als meest kosteneffectief naar voren komt, was te verwachten gezien de schaalearde bij stijgende mestverwerkingscapaciteiten. De realiseerbaarheid van installaties met een kleinere verwerkingscapaciteit (bijvoorbeeld 125 kton) is wellicht realistischer, maar minder kosteneffectief dan een grote installatie. De kosteneffectiviteit van een kleinere installatie ligt in de range van een groot deel van de andere innovaties.

Het effect van de energietarieven op de resultaten is een beeld gebracht voor de 125 kton-installatie. Het korrelen vindt bij deze variant plaats op een centrale korrelfabriek. Omdat dit een energie-intensief proces is, hebben stijgende energietarieven een verhogend effect op het poorttarief van de korrelfabriek. Aan de kant van mestverwerkingsinstallatie hebben stijgende energietarieven daarentegen een positief effect omdat de energieopwekking door de stijgende tarieven voor extra inkomsten zorgt, net als de afzet van het minerale stikstofproduct. Over de gehele keten bekeken weegt het verhogend effect van de stijgende energietarieven op het poorttarief van de centrale korrelfabriek mogelijk zwaarder dan het effect van extra inkomsten door energieopwekking en afzet van het minerale stikstofproduct. Wel moet deze berekening per project worden bekeken en kan die niet worden gegeneraliseerd.

Vleeskalverhouderij

Ook in de vleeskalverhouderij komt dagontmesting en verwerking met groengas als de meest kosteneffectieve maatregel voor de reductie van de ammoniakemissie naar voren, tegenover het scheiden van urine en feces. De verwerkingsinstallatie met een capaciteit van 750 kton toont ook hier door de schaalearde een hogere kosteneffectiviteit dan de installatie met een capaciteit van 250 kton.

Een andere bepalende factor voor de kosteneffectiviteit van dagontmesting en verwerking met groengas in de vleeskalverhouderij is de prijs van de HBE-certificaten en of het om blankvleeskalveren of rosékalveren

gaat. Zo beweegt de kosteneffectiviteit van de verschillende varianten zich tussen -0,5 euro/kg NH₃ (dat is dus 50 eurocent opbrengst per kg NH₃-reductie) bij de variant rosékalveren, 750 kton en verwachte HBE en 24,6 euro/kg NH₃ bij de variant blankvleeskalveren, 250 kton en lage HBE. De range in kosteneffectiviteit tussen de verschillende varianten is dus breed, waarbij de kosteneffectiviteit van de varianten bij rosékalveren over het algemeen iets lager liggen dan bij blankvleeskalveren. Voor dagontmesting en verwerking met groengas kunnen de volgende conclusie worden getrokken:

- Het verschil in kosteneffectiviteit tussen lage HBE en verwachte HBE is bij de rosékalveren (120-150%) groter dan bij blankvleeskalveren (40-50%).
- Het verschil in kosteneffectiviteit tussen 250 kton en 750 kton is bij rosékalveren (+/- 100%) groter dan bij blankvleeskalveren (50-80%).
- Het verschil in kosteneffectiviteit tussen rosékalveren en blankvleeskalveren is groter bij een verwachte HBE (+/- 100%) dan bij een lage HBE (0-25%).
- Het effect van de waarde van de het HBE-certificaat op de kosteneffectiviteit is groter dan dat van 250 kton versus 750 kton en dat van blankvleeskalveren versus rosékalveren.

Bijdrage aan kabinetsdoelstelling

Met de kosteneffectiviteit wordt aangegeven hoeveel de reductie van een bepaalde hoeveelheid ammoniakreductie kost. Het zegt echter niets erover of een bepaalde maatregel de beoogde doelstelling van het kabinet ook daadwerkelijk kan bereiken. Volgens de kabinetsdoelstellingen moet er tot 2030 39 mln. Kg NH₃ uit de landbouw worden gereduceerd. De vraag welke bijdrage de bestudeerde maatregelen onder de aanname van 100% adoptie kunnen leveren aan de kabinetsdoelstelling is vanuit twee kanten bekeken:

- A. Wat is de bijdrage als alleen de meest kosteneffectieve maatregelen worden bekeken (bij 100% adoptie)?
- B. Wat is de bijdrage als alleen de maatregelen met de hoogste potentiële emissiereductie worden bekeken (bij 100% adoptie)?

Met optie A kan in totaal 25,1 mln. kg NH₃ worden gereduceerd, dat is bijna 65% van de kabinetsdoelstelling en met optie B kan 37,1 mln. kg NH₃ worden gereduceerd, ruim 95% van de kabinetsdoelstelling.

Per sector bekeken kan de melkveehouderij met optie A 34% van de kabinetsdoelstelling bereiken, de varkenshouderij 24% en de vleeskalverhouderij, blankvlees en rosé ieder 3%. Met optie B is dat 62% in de melkveehouderij, 24% in de varkenshouderij en 5% in de blankvleeskalverhouderij en 3% in de rosé kalverhouderij.

Technische maatregelen zijn potentieel in staat om de kabinetsdoelstelling voor de reductie van de ammoniakemissie voor 95% te halen. De resterende 5% kan worden aangevuld met bijvoorbeeld technische maatregelen in de jong- en vleesveestallen. Ook blijven opkopen van productierechten en managementmaatregelen, zoals eiwitarm voeren, het verdunnen van mest of het verhogen van weideganduren, mogelijkheden om te worden toegepast binnen de mix van maatregelen voor emissiereductie door de landbouw (Reijs et al., 2021).

Het is belangrijk om te noemen dat deze berekeningen waarbij wordt verondersteld dat alle bedrijven de betreffende maatregel toepassen, ter illustratie dienen. Ze dienen ervoor om te laten zien wat het verschil is tussen de focus op 'het meest kosteneffectief' en 'hoogste potentiële emissiereductie', en wat je er op nationaal niveau mee zou kunnen bereiken. Uiteraard is 100% adoptie van een maatregel in de praktijk niet reëel.

Methaanemissie

Aan de potentiële reductie van broeikasgasemissie door de verschillende technieken is in deze studie alleen kwalitatief aandacht geschonken. Er zijn geen concrete emissiegegevens aan gekoppeld. Feit is dat de technieken met regelmatige ontmesting (bijvoorbeeld dagontmesting) en monovergisten de grootste bijdrage aan de reductie van de broeikasgasemissie (en dan met name methaan) kunnen geven. Hiermee moet bij de vergelijking van de kosteneffectiviteit van de technische maatregelen rekening worden gehouden. De drie genoemde innovaties komen bij de pure vergelijking van de kosteneffectiviteit met betrekking tot de reductie van de ammoniakemissie als meest ongunstig uit de bus. Volgens het klimaatplan moet de landbouw tot

2030 1 megaton CO₂-equivalent hebben gereduceerd. Dit beleidsterrein zal daarom steeds belangrijker worden en moeten de effecten van innovaties op de methaanemissie zeker in beschouwing worden genomen.

Discussie

De data die zijn gebruikt voor de berekening van de kosteneffectiviteit van de verschillende methodes van Mestscheiding zijn voor een deel gebaseerd op individuele case studies van bedrijven. Dat heeft effect op de representativiteit van de resultaten. Omdat deze systemen nog niet of nauwelijks in de praktijk zijn geïmplementeerd, zijn er helaas nog maar van een heel beperkt aantal bedrijven resultaten beschikbaar, soms nog maar van 1 bedrijf. Deze voorbeeldbedrijven hebben mogelijk een andere bedrijfsomvang en andere bedrijfsspecifieke kenmerken dan het gemiddelde Nederlandse bedrijf. Deze gegevens representeren niet de situatie van alle Nederlandse bedrijven.

Daarnaast wordt in het veld waargenomen dat technische maatregelen, zoals emissiearme vloeren, in de praktijk vaak minder goed lijken te werken (zie ook Van Bruggen en Geertjes, 2019) omdat de omstandigheden voor de optimale werking van een techniek niet altijd aanwezig zijn. Een minder goede werking leidt tot een geringere reductie van de ammoniakemissie en dus, bij gelijkblijvende kosten, voor een verslechtering van de kosteneffectiviteit van de betreffende maatregel. Echter, met name bij maatregelen met een regelmatige ontmesting uit de stal gecombineerd met emissiearme aanwending is het onwaarschijnlijk dat er helemaal geen effect op de reductie van de ammoniakemissie optreedt.

Een aantal technische innovaties zitten qua kosteneffectiviteit bij elkaar in de buurt. Het is belangrijk om te noemen dat rond de gebruikte gegevens een redelijke onzekerheidsmarge zit. Uitkomsten die bij elkaar in de buurt zitten vallen wellicht binnen deze onzekerheidsmarge. In de praktijk zullen afhankelijk van de omstandigheden op en om het bedrijf maatregelen beter of slechter inpasbaar zijn, met als gevolg verschillen in benodigde investeringen en kosten en vervolgens verschillen in de kosteneffectiviteit. Welke techniek het best past op een bedrijf blijft maatwerk.

Bij de scenario dagontmesting in verwerking in de varkenshouderij met een 125 kton verwerkingsinstallatie wordt de dikke fractie afgevoerd naar een centrale korrelfabriek. Om een korrelfabriek rendabel te maken zal deze zeker een verwerkingscapaciteit moeten hebben van 150 kton dikke fractie.

Een 125 kton-mestvergister produceert ruim 25 kton dikke fractie. Dat betekent dat er vijf à zes lokale verwerkers per centrale korrelfabriek nodig zijn. Vraag is hoe realistisch een dergelijk scenario is, met name in het licht van stijgende energieprijzen, waardoor het minimaal benodigde poorttarief van de centrale korrelaar ook stijgt. IJkpunt zijn nu de kosten voor afzet van het digestaat naar de Nederlandse landbouw. Als deze kosten dalen vindt het digestaat zijn weg naar andere bestemmingen dan de centrale korrelaar en kan hij zijn productiecapaciteit niet meer vol benutten.

In deze studie is alleen gekeken naar technische innovaties. Voor een volledige, integrale analyse naar mogelijkheden om de ammoniakemissie van agrarische bedrijven te reduceren zou ook moeten worden gekeken naar andere maatregelen. Zo is uitkoop en/of verplaatsen van bedrijven in sommige gebieden en onder bepaalde omstandigheden wellicht de meest voor de hand liggende oplossing. Onder andere omstandigheden zouden managementmaatregelen de meest gepaste oplossing kunnen zijn. Te denken valt hierbij aan een eiwitarm rantsoen, de levensduur van de melkkoeien en/of de uren weidegang verhogen, en het nauwkeuriger bemesten of mest uitrijden onder optimale omstandigheden (zie ook Reijs et al., 2021 en Rougoor en van der Schans, 2022). Technische maatregelen kunnen worden aangevuld met managementmaatregelen om voor een bepaald gebied tot de gewenste situatie te komen. In de praktijk zal de juiste mix aan maatregelen altijd maatwerk blijven. Een belangrijk punt is dat bij een integrale analyse altijd zowel rekening wordt gehouden met de emissiereductie uit stal en opslag als ook bij de aanwending van het mestproduct.

Bronnen en literatuur

- Berg, van den, A. (2021, persoonlijke mededeling).
- Bruggen, C. van (2020). Dierlijke mest en mineralen 2019. CBS, Den Haag.
- Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsman, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, G.L. Velthof, J. Vonk (2020). Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2018. WOt-technical report 178, Wageningen UR.
- Bruggen, C. van, A. Bannink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsman, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, M.B.H. Ros, G.L. Velthof, J. Vonk en T. van de Zee (2021). Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2019. WOt-technical report 203, Wageningen UR.
- Bruggen, C. van, A. Bannink, A. Bleeker, D.W. Bussink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsman, J. Kros L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, M.B.H. Ros, M.W. van Schijndel, G.L. Velthof, en T. van de Zee (2022). Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2020. WOt-technical report 224, Wageningen UR.
- Casu, F. en J. van Gastel (2022). Presentatie.
- Gastel, J. van (2022). Notitie: Scenario verwaarding varkensmest 125 kton, 27 september 2022.
- Gollenbeek, L., J. van Gastel, F. Casu, I. Huisman en N. Verdoes (2022). Berekeningen emissies en economie voor verschillende scenario's voor verwaarding van rundveemest, NL Next Level Mestverwaarden, Wageningen Livestock Research, Rapport 1372.
- Gollenbeek, L., J. van Gastel, F. Casu en N. Verdoes (2021). Emissies en kosten van verschillende scenario's voor verwaarding van varkensmest. NL Next Level Mestverwaarden. Wageningen Livestock Research, Rapport 1331.
- Hanskamp (2021). CowToilet. Geraadpleegd op <https://hanskamp.nl/cowtoilet>.
- Hanskamp (2018). Persoonlijke communicatie op basis van resultaten urine analyse van Eurofins Agro.
- IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. IPCC.
- Kenniscentrum InfoMil (2022). Tabel 'Emissiefactoren: Ammoniak, geur en fijnstof; Hoofdcategorie A: Rundvee', geraadpleegd op <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/emissiearme-stalsystemen/emissiefactoren-per/map-staltypen/hoofdcategorie/> (09-02-2022).
- Lijster, E. de (2020). 'Stikstof niet uitstoten maar oogsten op melkveebedrijf.' Boeren business, 10 oktober 2020. Geraadpleegd op <https://www.boerenbusiness.nl/artikel/10889616/stikstof-niet-uitstoten-maar-oogsten-op-melkveebedrijf>.
- LNV (2022). Startnotitie Nationaal Programma Landelijk Gebied. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat; Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. Juni 2022, Publicatie-nr. 22102620.
- LTO Nederland (2020). Vrijwillige opkoopregeling van piekbelasters van start. Geraadpleegd op <https://www.lto.nl/vrijwillige-opkoopregeling-van-piekbelasters-van-start/>.
- Monteny Milieu Advies (2018). Verkenning ammoniakemissie melkveebedrijf traditioneel en met het 'Jumpstart'-systeem. Oktober 2018.
- PBL, 2021. Beleidsoverzicht en Factsheets Beleidsinstrumenten. Achtergronddocument bij de Klimaat- en Energieverkenning 2021. Planbureau voor de Leefomgeving, 28 oktober 2021, PBL-publicatienummer 4708.
- Reijs, J., A. Beldman, M. de Haan, A. Evers, G. Doornwaard en I. Vermeij (2021). Perspectief voor het verlagen van NH₃-emissie uit de Nederlandse melkveehouderij. Rapport 2021-052, Wageningen University & Research.
- Rougoor, C. en F. van der Schans (2022). Kosteneffectiviteit van ammoniakmaatregelen, Rapport CLM-1123.
- RVO (2020). <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/sanering-varkenshouderijen>.
- Schouten, C.J. (2020). Kabinetsreactie op het eindadvies 'Niet alles kan overal' van het Adviescollege Stikstofproblematiek, 13 oktober 2020.
- Verdoes, N., R. Maasdam, R. Melse, J. van Gastel, L. Gollenbeek, P. Bussmann, J. Schellekens en J. Roefs (2021). Overzicht en beoordeling van technologie voor verwaarden van mest: Rapportage WP2 NL Next Level Mestverwaarden. Wageningen Livestock Research, Rapport 1290.
- Verstegen, J. (2021). Persoonlijke mededelingen over stalsystemen van Hanskamp.

-
- Vermaas, M. (2021). 'Innovatie veel kostenefficiënter van opkoop.' Boerderij, 6 april 2021. Geraadpleegd op <https://www.boerderij.nl/lily-innovatie-veel-kostenefficiënter-dan-opkoop>.
- Wagenberg, C.P.A. van, A.F. Greijdanus en H.H. Luesink (2019). Economische optimalisatie van de afzetketen voor varkens- en melkveemest. Rapport 2019-051, Wageningen Economic Research, Wageningen UR.

Bijlage 1 Ammoniakemissie bij traditionele situatie en met dagontmesting-monovergisting-strippen, in kg NH₃ en NH₃-N per dierplaats per jaar.

	NH ₃ (kg per dp/jaar)		NH ₃ -N (kg per dp/jaar)	
	Traditioneel	Dagontmesting-monovergisting-strippen	Traditioneel	Dagontmesting-monovergisting-strippen
Stal	13	6,9	10,7	5,7
Buitenopslag	0,25	0,2	0,2	0,2
Boxenstrooisel vaste fractie		5,8		4,8
Totaal stal en opslag	13,25	12,9	10,9	10,7
Mest toedienen (gangbaar)	18,5		14,8	
Toedienen dunne fractie		3,4		2,8
Toedienen Ammoniumsulfaat		0,7		0,6
Totaal toedienen	18,5	4,1	14,8	3,4

Bron: Monteny Milieu Advies, 2018 en berekeningen Wageningen Economic Research.

Bijlage 2 Notitie: Update scenario verwaarding varkensmest 125 kton

Jos van Gastel, 9 november 2022.

Aanleiding

De stuurgroep Next Level Mestverwaarden heeft gevraagd om voor scenario 6 (Dagontmesting + verwerking) uit het rapport Gollenbeek et al. (2021)⁸ de investeringskosten en poorttarieven te berekenen voor een aanvoercapaciteit van 125 kton per jaar. In het rapport zijn de aanvoercapaciteiten van 250 en 750 kton per jaar uitgewerkt.

Omdat bij een aanvoercapaciteit 125 kton varkensmest te weinig dikke fractie wordt geproduceerd om het drogen en korrelen van deze fractie kostenefficiënt uit te voeren, is bij de doorrekening van de 125 kton-variant uitgegaan van transport van de dikke mestfractie naar een tweede verwerkingslocatie, waar dikke fractie van meerdere kleinere verwerkers wordt aangevoerd, gedroogd en gekorrelt. Op de 125 kton-locatie worden de eindproducten Mineraal N-5%, Mineraal K-5% geproduceerd.

Daarnaast heeft de stuurgroep verzocht om de invloed van de energietarieven op het poorttarief in kaart te brengen.

Kenmerken doorgerekend scenario voor 125 kton

- Lokale verwerking vleesvarkensmest.
- Capaciteit 125 kton per jaar.
- Mest afkomstig van stallen met dagontmesting (aanvoer van verse mest).
- Productie van N-mineraal, K-mineraal en dikke fractie bij lokale verwerker.
- Productie mestkorrels bij centrale korrelfabriek.
- Biogas toepassing: gecombineerde opwekking met WKK onder SDE.
- Greenfield projectrealisatie.

Uitgangspunten

Behoudens de wijziging van de locatie waar de verwaarding van dikke fractie plaatsvindt, zijn bij de doorrekening dezelfde uitgangspunten gehanteerd als in Gollenbeek et al. (2021). Dit is gedaan om de resultaten met elkaar te kunnen vergelijken. Opgemerkt dient te worden dat de energieprijzen uit Gollenbeek (2021) dateren van 2020 en aanzienlijk lager zijn dan de huidige energieprijzen. De invloed van de energieprijzen op de benodigde minimale poorttarieven voor de 125 kton-variant is eveneens uitgewerkt.

Kosten levering dikke fractie aan korrelfabriek

Voor de afvoer van dikke fractie vanaf de 125 kton-locatie naar de centrale plant waar drogen en korrelen plaatsvindt, is gerekend met een tarief van 35 euro per ton dikke fractie af lokale verwerker, zie onderstaande Tabel B2.1.

⁸ Gollenbeek et al. (2021). Emissies en kosten van verschillende scenario's voor verwaarding van varkensmest. Wageningen Livestock Research, rapport 1331.

Tabel B2.1 Uitgangspunten kosten afvoer dikke fractie van de lokale verwerker naar de centrale plant voor drogen en korrelen.

Onderdeel	Waarde	Eenheid
Plant drogen en korrelen		
Aanvoercapaciteit (dikke fractie) a)	140.000	ton/jaar
Investering a)	22,5	miljoen euro
Poorttarief a)	19,00	Euro/ton dikke fractie
Transport, wegen, bemonsteren		
Afstand b)	40	Km
Transportkosten c)	0,16	Euro/ton.km
Wegen, bemonsteren c)	3	Euro/ton
Kosten afvoer dikke fractie naar centrale plant drogen en korrelen		
Transport, wegen, bemonsteren	9,40	Euro/ ton dikke fractie
Poorttarief centrale plant drogen en korrelen	19,00	Euro/ ton dikke fractie
Correctie energietarieven referentie ¹ en Gollenbeek et al. 2021	6,60	Euro/ ton dikke fractie
Kosten af lokale verwerker	35,00	Euro/ton dikke fractie

Bron: Biominerale 2019; b) Zie bijlage: Benadering gemiddelde transportafstand lokale verwerker naar centrale korrelafabriek; c) Bron: Wagenberg et al. 2019. Economische optimalisatie van de afzetketen voor varkens- en melkveemest. Wageningen Economic Research, rapportnummer 2019-051.

Aannames en uitgangspunten ten aanzien van de invloed energieprijzen

- Gehanteerde energieprijzen in het varkensmest rapport (Gollenbeek, 2021):
 - Warmte: 31 euro/MWh.
 - Stroom: 96 euro/MWh.
- De lokale verwerker kan het overschot warmte uit de WKK niet afzetten in de omgeving.
- Berekening prijs inkoop restwarmte bij centrale korrelafabriek: Basistarief warmte bedraagt 50% van aardgasprijs. Tariefverhoging warmte wordt 1 op 1 doorberekend. Dus: Restwarmteprijs = 50% van oorspronkelijke marktprijs + tariefwijziging marktprijs.
- N-kunstmestprijs wijzigt met zelfde percentage als warmteprijs. Overige waarde componenten kunstmest zijn in prijs gelijk gehouden.
- Waarde eindproducten: Uitgangspunt is gehanteerde marktprijs in rapportage varkensmestscenario's (Gollenbeek et al., 2021). Aanname: wijziging van de N-kunstmestprijs leidt tot wijziging van de waarde van N-component in het eindproduct x 75%. Voorbeeld: Marktprijs N-mineraal = 14,60 euro per ton + 50 kg N/ton x 75% x wijziging kunstmestprijs (idem voor N-component in mestkorrelen).
- SDE correctiebedrag (gecombineerde opwekking) varieert met het gewogen percentage van de procentuele wijziging van de warmte- en elektriciteitsprijs. De weging is uitgevoerd aan de hand van het aandeel elektriciteit en het aandeel warmte dat de WKK produceert. (De SDE rekent met een basisbedrag per kWh, waarbij in het geval van gecombineerde opwekking een warmte en elektriciteitscomponent is verrekend.)

Resultaten – Investeringskosten en poorttarief

De investering voor de 125 kton-locatie zonder drogen en korrel van de dikke fractie bedraagt circa 10,1 miljoen euro bij greenfield realisatie en 8,4 miljoen euro wanneer de realisatie plaatsvindt op al ontwikkeld terrein als aanvullende activiteit (bijvoorbeeld op een agrarisch loonbedrijf).

De centrale plant waar 140.000 ton dikke mestfractie afkomstig van meerdere lokale verwerkers wordt gedroogd en gekorrelt vraagt een investering van circa 22,5 miljoen euro. De 125 kton lokale verwerker produceert circa 26,5 kton dikke fractie. Deze aanvoer vertegenwoordigt 19% van de aanvoercapaciteit van de centrale plant voor drogen en korrelen. De overeenkomstige investeringskosten voor drogen en korrelen zijn niet toegerekend aan de lokale 125 kton-verwerkingslocatie. De investeringskosten zijn verrekend in het poorttarief van de korrelafabriek.

Tabel B2.2 toont de investeringskosten van de 125, 250 en 750 kton-varianten. Tabel B3 toont de kosten, opbrengsten en de minimaal benodigde poorttarieven. De benodigde poorttarieven voor de 125 kton-variant bedragen 21 euro per ton aangevoerde varkensmest (greenfield) en 19 euro per ton (aanvullende activiteit).

Deze poorttarieven liggen 3-4 euro/ton per hoger dan de variant met een aanvoercapaciteit van 250 kton, waarbij het korrelen en drogen op dezelfde locatie plaatsvindt.

Een grote centrale korrelfabriek levert lagere kosten voor het drogen en korrelen per ton dikke fractie, maar geeft aanvullende kosten voor transport, wegen en bemonsteren. In het vergelijk tussen de 125 en 250 kton wordt het schaalvoordeel van centraal drogen en korrelen teniet gedaan door de aanvullende kosten voor transport, wegen en bemonsteren van de dikke fractie. Daarnaast weegt het negatieve schaaffect van de lagere capaciteit voor het vergisten, scheiden en behandelen van de dunne fractie mee bij de hogere poorttarieven van de 125 kton-variant ten opzichte van de 250 kton-variant.

De emissies van ammoniak per ton varkensdrijfmest zullen voor de 125, 250 en 750 kton-varianten nagenoeg overeenkomen. Weliswaar vinden bij de 125 kton-variant extra handelingen plaats ten aanzien van opslag, laden en lossen van dikke fractie, echter dit leidt niet tot significante extra emissies over de gehele verwaardingsketen. Dat komt omdat bij het droogproces sowieso nagenoeg alle ammoniak uit de dikke fractie wordt gedreven en vervolgens via de drooglucht weer wordt afgevangen in een zure wasser. Wanneer de dikke fractie op de 125 kton-locatie wordt opgeslagen en in de transportwagen wordt geladen treedt emissie van ammoniak op. Opslag en laden van de vrachtwagen gebeurt in een afgesloten hal, waarbij de ventilatielucht eveneens naar een zure wasser wordt geleid. De dikke fractie die bij de centrale plant gedroogd wordt bevat iets minder ammoniak dan wanneer de dikke fractie op de locatie waar het geproduceerd wordt zou zijn gedroogd. Het deel van de ammoniakemissie dat op de 125 kton-locatie is vrijgekomen is echter met hetzelfde rendement afgevangen als waarmee het wordt afgevangen bij het droogproces. Het enige verschil betreft de emissie van ammoniak dat gedurende het transport an dikke fractie naar de centrale plant vrijkomt. Dat is een relatief beperkt aandeel.

Scenario:	Dagontmesting + verwerking
Type mest:	Vleesvarkensmest
Ouderdom mest:	10 dagen (bij intrede vergistingsproces)
Organische stofgehalte:	89,3 kg/ton
Ntot:	8,8 kgN/ton
Nmin:	5,4 kgN/ton
Biogasproductie:	0,36 m ³ per kg/OS
Variant verwerking:	Biogastoepping WKK

Tabel B2.2 Investerings mestverwerking bij aanvoercapaciteiten 125, 250 en 750 kton per jaar.

Variant	Afvoer dikke fractie naar centrale plant voor korrelproductie		Drogen en korrel dikke fractie op locatie			
	125 kton		250 kton		750 kton	
	Greenfield	Aanvullende activiteit	Greenfield	Aanvullende activiteit	Greenfield	Aanvullende activiteit
Investeringen						
Vergisten	€ 2.400.000	€ 2.400.000	€ 2.900.000	€ 2.900.000	€ 6.100.000	€ 6.100.000
Scheiden	€ 700.000	€ 700.000	€ 1.100.000	€ 1.100.000	€ 2.300.000	€ 2.300.000
Strippen en scrubben	€ 600.000	€ 600.000	€ 900.000	€ 900.000	€ 2.000.000	€ 2.000.000
Omgekeerde osmose	€ 1.200.000	€ 1.200.000	€ 2.500.000	€ 2.500.000	€ 7.400.000	€ 7.400.000
Indampen en ammoniakwassing	€ 1.300.000	€ 1.300.000	€ 2.000.000	€ 2.000.000	€ 3.600.000	€ 3.600.000
Biofilter	€ 600.000	€ 600.000	€ 1.000.000	€ 1.000.000	€ 2.100.000	€ 2.100.000
Drogen en korrelen	€ 0	€ 0	€ 6.100.000	€ 6.100.000	€ 12.800.000	€ 12.800.000
Totaal inside battery limits	€ 6.800.000	€ 6.800.000	€ 16.500.000	€ 16.500.000	€ 36.300.000	€ 36.300.000
Investeringen outside battery limits	€ 2.000.000	€ 500.000	€ 5.000.000	€ 1.200.000	€ 10.900.000	€ 2.700.000
Design and engineering	€ 400.000	€ 400.000	€ 2.200.000	€ 1.800.000	€ 2.400.000	€ 2.000.000
Contingency	€ 900.000	€ 700.000	€ 2.200.000	€ 1.800.000	€ 4.700.000	€ 3.900.000
Totaal Fixed Capital Cost	€ 10.100.000	€ 8.400.000	€ 25.900.000	€ 21.300.000	€ 54.300.000	€ 44.900.000

Tabel B2.3 Overzicht kosten en opbrengsten en minimaal benodigd poorttarief in € per ton drijfmest.

Variant		Afzet dikke fractie naar centrale plant voor korrelproductie		Drogen en korrelen dikke fractie op locatie			
		125 kton		250 kton		750 kton	
Investerings		Greenfield	Aanvullende activiteit	Greenfield	Aanvullende activiteit	Greenfield	Aanvullende activiteit
Totaal investering	MC	10,1	8,4	25,9	21,3	54,3	44,9
Kosten							
Energie	€/ton	5,40	5,40	8,60	8,60	7,29	7,29
Hulpstoffen	€/ton	1,39	1,39	1,71	1,71	1,71	1,71
Inkoop meststoffen	€/ton	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56
Personeel	€/ton	1,84	1,84	3,47	2,90	2,06	1,88
Onderhoud en overige bedrijfskosten	€/ton	7,27	6,05	9,32	7,67	6,52	5,39
Afschrijving en financiering	€/ton	8,54	7,10	10,95	9,01	7,65	6,33
Totaal kosten		26,00	23,34	35,61	31,44	26,78	24,15
Opbrengsten af fabriek							
Mineraal-N-product, 5%	€/ton	1,23	1,23	1,58	1,58	1,58	1,58
Mineraal K-product, 5%	€/ton	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07
Afzet dikke fractie naar korrelfabriek	€/ton	-7,42	-7,42	-	-	-	-
Mestkorrelen	€/ton	-	-	4,34	4,34	4,34	4,34
SDE++ (fase 1)	€/ton	3,55	3,55	3,55	3,55	3,55	3,55
Vermeden inkoop stroom	€/ton	3,64	3,64				
Levering stroom	€/ton	1,85	1,85	5,83	5,83	5,83	5,83
GVO	€/ton	0,03	0,03				
Vermeden inkoop warmte	€/ton	1,76	1,76	1,40	1,40	1,40	1,40
Totaal opbrengsten af fabriek	€/ton	4,58	4,58	16,63	16,63	16,63	16,63
Opbrengsten minus kosten (minimaal poorttarief)	€/ton	-21	-19	-19	-15	-10	-8

Resultaten - Invloed energieprijzen op tarief levering dikke fractie

Tabel B4 toont de ontwikkeling van het tarief voor afzet van de dikke fractie vanaf de lokale plant naar de centrale korrelfabriek.

Tabel B4 Tarief voor levering dikke fractie aan centrale korrelfabriek (in €/ton).

Het tarief bestaat uit poorttarief korrelfabriek en kosten voor transport, wegen en bemonsteren.

(Stroomprijs 100% = 96 euro/MWh. Warmteprijs 100% = 31 euro/MWh).

Stroomprijs	Warmteprijs								
	100%	150%	200%	250%	300%	350%	400%	450%	500%
100%	35	40	44	49	54	58	63	68	73
150%	38	43	48	53	57	62	67	71	76
200%	42	47	51	56	61	65	70	75	79
250%	45	50	55	59	64	69	74	78	83
300%	49	54	58	63	68	72	77	82	86
350%	52	57	62	66	71	76	80	85	90
400%	56	60	65	70	75	79	84	89	93
450%	59	64	69	73	78	83	87	92	97
500%	63	67	72	77	81	86	91	96	100

Het drogen en korrelen van dikke fractie zijn relatief energie-intensieve bewerkingsstappen. Een verhoging van de energietarieven heeft dan ook een belangrijk effect op het poorttarief van centrale korrelfabriek. Tabel B2.4 laat zien dat bij verdubbeling van zowel het warmte- als het stroomtarief de kosten voor levering toenemen van 35 naar 51 euro per ton dikke fractie. Dit prijzeffect weegt uiteraard door in de benodigde minimale poorttarieven voor de lokale verwerkingsplant. Zie Tabel B2.5.

Tabel B2.5 Benodigd minimaal poorttarief in €/ton bij onafhankelijke variatie van warmte- en stroomprijzen. Scenario: Aanvoer 125 kton vleesvarkensmest van bedrijven met dagontmesting. (Stroomprijs 100% = 96 euro/MWh. Warmteprijs 100% = 31 euro/MWh).

Stroomprijs	Warmteprijs								
	100%	150%	200%	250%	300%	350%	400%	450%	500%
100%	21	22	24	23	23	22	22	21	21
150%	22	23	24	23	23	22	22	21	21
200%	23	24	24	23	22	22	21	21	20
250%	24	24	23	23	22	22	21	21	20
300%	24	24	23	23	22	22	21	21	20
350%	24	23	23	22	22	21	21	20	20
400%	24	23	23	22	22	21	21	20	20
450%	24	23	23	22	22	21	20	20	19
500%	23	23	22	22	21	21	20	20	19

Bij hogere energiekosten nemen de kosten voor levering van dikke fractie aan de centrale korrelfabriek toe voor de lokale verwerker. Echter, er vindt bij de lokale verwerker ook energieproductie plaats, waardoor extra inkomsten gegenereerd worden door levering van het overschot stroom dat met de wkk wordt geproduceerd. Ook kunnen extra inkomsten worden gegenereerd uit de toegenomen waarde van het N-mineraal product.

In eerste instantie leidt een verhoging van de energiekosten tot een reductie van de SDE-subsidie. Dit is de reden waarom het benodigde minimale poorttarief voor de lokale verwerker in eerste instantie toeneemt met stijgende energieprijzen en pas bij verdere stijging gaat afnemen.

Resultaten - Afzet dikke fractie binnen Nederland

Gelet op de hoge tarieven voor levering van dikke fractie aan de centrale korrelfabriek leidt afzet binnen de Nederlandse landbouw tot lagere benodigde poorttarieven voor de lokale verwerker. Zie Tabel B6.

Tabel B2.6 Minimaal benodigd poorttarief lokale verwerker in €/ton bij variatie afzetkosten dikke fractie en variatie energietarieven. Scenario: Aanvoer 125 kton vleesvarkensmest van bedrijven met dagontmesting. (Stroomprijs 100% = 96 euro/MWh. Warmteprijs 100% = 31 euro/MWh).

Warmte- en stroomprijs	Afzetprijs dikke fractie in Nederland in €/ton				
	10	15	20	25	30
100%	16	17	18	19	20
150%	16	17	18	19	20
200%	15	16	17	18	19
250%	12	13	14	16	17
300%	10	11	12	13	14
350%	7	9	10	11	12
400%	5	6	7	8	9
450%	3	4	5	6	7
500%	0	1	2	3	4

De tarieven voor afzet van dikke fractie bij afzet in de Nederlandse landbouw worden in eerste instantie bepaald door vraag een aanbod van dierlijke mest. De prijzen voor gas en elektriciteit hebben mogelijk indirect een invloed op de brandstofprijzen en daarmee op de transportkosten. Daarmee is geen rekening gehouden. Voor de lokale verwerker leiden stijgingen van energietarieven tot extra inkomsten uit levering van energie en een hogere waarde van het N-mineraal product.

Ook hier geldt dat een beperkte stijging van de energiekosten eerst leidt tot een afname van het SDE-subsidiebedrag. Het minimale benodigde poorttarief neemt daarom in eerste instantie slechts beperkt af en sterker wanneer het subsidiebedrag volledig is weggefallen.

Uit Tabel B2.6 kan worden opgemaakt dat het minimaal benodigde poorttarief 18 euro per ton aangevoerde mest bedraagt bij een afzettarief van 20 euro per ton voor de dikke fractie (zonder toegenomen energiekosten).

Toelichting - Benadering gemiddelde transportafstand lokale verwerker naar centrale korrelfabriek

1. Bepaling aanvoer fosfaat naar centrale korrelfabriek.

Onderdeel	Waarde	Eenheid
Benodigde aanvoer dikke fractie naar centrale korrelfabriek	140.000	ton DIF/jaar
Productie dikke fractie lokale plant 125 kton drijfmest	26.516	ton DIF/jaar
Aantal benodigde lokale plants 125 kton drijfmest	5,3	
Benodigde totale aanvoer vleesvarkensmest	659.978	tonVVDM/jaar
Totale aanvoer fosfaat naar lokale 125 kton plants	2.573.914	kg P ₂ O ₅ /jaar
	2,6	mln. kg P ₂ O ₅ /jaar

Om de korrelfabriek van 140.000 ton dikke fractie per jaar te kunnen voorzien, dient circa 760 kton vleesvarkensdrijfmest te worden aangevoerd naar de lokale verwerkers. Dit komt overeen met een aanvoer van circa 2,6 miljoen kg fosfaat.

2. Bepaling fosfaatproductie vleesvarkens in concentratiegebieden. Bron: CBS 2021.

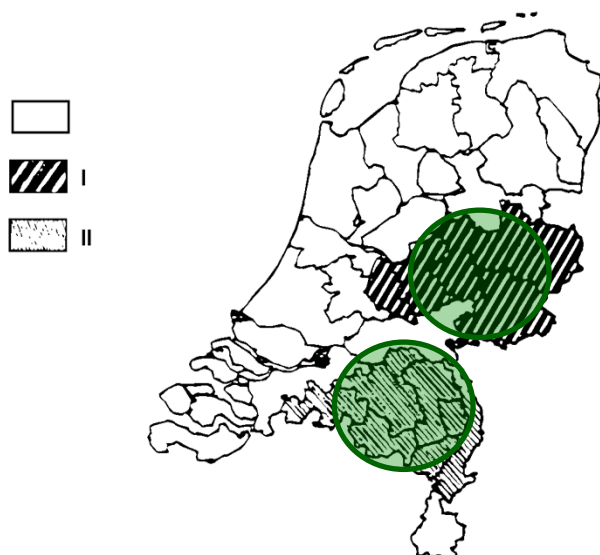
Concentratiegebied	Mestproductie vleesvarkens kg P ₂ O ₅ /jaar x 1.000.000
Oost	5,4
Zuid	12,2
Overig	3,6
Totaal	21,2

In de concentratiegebieden Zuid en Oost wordt voldoende vleesvarkensmest geproduceerd voor de productie van dikke fractie voor de korrelfabriek. (Respectievelijk 4,7 en 2,1 keer de hoeveelheid uitgedrukt in fosfaat.) Onbekend is welk deel van de productie beschikbaar is in de markt.

3. Afleiding gemiddeld aanvoerafstand dikke fractie.

Aanvoercirkels met een diameter van circa 80 km beslaan het grootste deel van de beide concentratiegebieden. (Zie kaartje.) De gemiddeld transportafstand voor vervoer van dikke fractie vanaf de lokale verwerkers naar de centrale korrelfabriek is afhankelijk van de ligging van de lokale verwerkers ten opzichte van de centrale korrelfabriek binnen of buiten de aanvoercirkel.

Een gemiddelde transportafstand van de helft van de aanvoercirkel (40 km) lijkt verdedigbaar.



Wageningen Economic Research
Postbus 29703
2502 LS Den Haag
T 070 335 83 30
E communications.ssg@wur.nl
wur.nl/economic-research

RAPPORT 2023-089



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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.

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



Wageningen Economic Research
Postbus 29703
2502 LS Den Haag
T 070 335 83 30
E communications.ssg@wur.nl
wur.nl/economic-research

Rapport WECR 2023-089
ISBN 978-94-6447-842-6



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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.
