

Hoe ver kun je komen? Verkenning van een maatregelpakket voor reductie van broeikasgasemissies op Nederlandse melkveebedrijven

Akke Kok, Tara Vollebregt, Alfons Beldman



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Hoe ver kun je komen? Verkenning van een maatregelpakket voor reductie van broeikasgasemissies op Nederlandse melkveebedrijven

Akke Kok, Tara Vollebregt, Alfons Beldman

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Social & Economic Research en Wageningen Livestock Research in opdracht en gefinancierd door de Publiek Private Samenwerking 'Low Carbon Dairy, samen binnen zuivelketens de CO2footprint 50% verlagen'. De PPS is ondergebracht bij TKI Agri & Food en wordt gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Voedselzekerheid, Voedselveiligheid en Natuur en een aantal private partijen, te weten Vreugdenhil Dairy Foods, Nestlé, CONO Kaasmakers, Ben&Jerry's, Agrifirm, ForFarmers, de Heus, Duynie, Lely en Rabobank. LWV22176.

Wageningen Social & Economic Research
Wageningen, december 2025

RAPPORT
2025-158

Kok, A., Vollebregt, T., Beldman, A., 2025. *Hoe ver kun je komen? Verkenning van een maatregelpakket voor reductie van broeikasgasemissies op Nederlandse melkveebedrijven*. Wageningen, Wageningen Social & Economic Research, Rapport 2025-158. 50 blz.; 3 fig.; 14 tab.; 20 ref.

Voor drie bedrijfstypen zijn effecten van afzonderlijke maatregelen en een totaalpakket om broeikasgasemissies te reduceren berekend. Met dit pakket werd een reductie van 43-44% van broeikasgasemissies per kg melk gehaald. Het netto economische effect van de pakketten van maatregelen was voor alle bedrijven negatief en varieerde van -€ 2,51 tot -€ 3,91 per 100 kg melk.

The effects of individual measures and a full set of measures to reduce greenhouse gas emissions were assessed for three farm types. Implementing the complete set of measures reduced the carbon footprint of milk by 43-44%. The total economic impact of the set of measures was negative across all farm types and ranged from -€2.51 to -€3.91 per 100 kg of milk.

Trefwoorden: Melkveehouderij, broeikasgas-emissies

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/705320> of op www.wur.nl/social-and-economic-research (onder Wageningen Social & Economic Research publicaties).

© 2025 Wageningen Social & Economic Research

Postbus 88, 6700 AB Wageningen, T 0317 48 48 88, E info.wser@wur.nl, www.wur.nl/social-and-economic-research. Wageningen Social & Economic Research is onderdeel van Wageningen University & Research.



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

© Wageningen Social & Economic Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2025

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 Social & 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 Social & Economic Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Wageningen Social & Economic Research Rapport 2025-158 | Projectcode 2282300580

Foto omslag: Shutterstock

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	6
Summary	9
S.1 Key findings	9
S.2 Reflection	9
S.3 Methodology	11
1 Inleiding	12
2 Methode	13
2.1 Bedrijfstypen in BBPR	13
2.2 Maatregelen om broeikasgassen te reduceren	14
2.3 Duurzaamheidsindicatoren	17
2.4 Economische berekeningen	18
3 Resultaten	20
3.1 Effect van maatregelen op technische bedrijfsvoering	20
3.2 Effect totale pakket op BKG-emissies	22
3.3 Effect van individuele maatregelen op BKG-emissies	23
3.4 Integraliteit – effect van maatregelen op andere duurzaamheidskenmerken	25
3.5 Economische resultaten van maatregelen	26
3.5.1 Effecten op kosten en opbrengsten per maatregel	26
3.5.2 Kosteneffectiviteit van maatregelen	27
4 Discussie	31
4.1 Reductiedoel in zicht?	31
4.2 Economische impact	33
4.3 Variatie in de praktijk	34
4.4 Bedrijfsdoelen versus nationale doelen voor emissiereductie	34
4.5 Afwentelingen	35
4.6 Mestvergisting	36
5 Conclusies en aanbevelingen	38
Bronnen en literatuur	40
Bijlage 1 Gehanteerde prijzen	42
Bijlage 2 Onderbouwing maatregel minder N-kunstmest	43
Bijlage 3 Verdeling BKG-emissies over verschillende bronnen, per maatregel, per bedrijfstype	45
Bijlage 4 Economische berekeningen in euro/100 kg melk en euro/ha	47

Woord vooraf

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van de Publieke-Private Samenwerking (PPS) 'Low Carbon Dairy'. In dit project wordt gewerkt aan een verlaging van broeikasgasemissies (BKG-emissies) van melkveebedrijven in samenwerking met twee zuivelketens, Unilever met CONO Kaasmakers en Nestlé met Vreugdenhil Dairy Foods, en diverse ketenpartners: Agrifirm, ForFarmers, De Heus, Duynie, Lely en Rabobank.

Het doel voor beide zuivelketens is om 50% reductie van BKG-emissies te behalen per liter melk in 2030, ten opzichte van de referentiejaar 2015 (CONO kaasmakers) en 2018 (Vreugdenhil Dairy Foods). Om te onderzoeken in hoeverre het doel van 50% reductie kan worden gerealiseerd, richt deze studie zich op het doorrekenen van een vergaand maatregelpakket. Het pakket wordt toegepast op drie voor de ketens relevante bedrijfstypen: een op veen, een op klei en een op zand. Er wordt in beeld gebracht wat de impact is op BKG-emissies, hoeveel de maatregelen kosten en of er eventuele afwentelingen zijn op andere duurzaamheidsindicatoren. Deze studie geeft inzicht in en reflectie op de haalbaarheid van de gestelde reductiedoelen.

Alle PPS-partners hebben expliciet aangegeven dat de opgedane kennis breed beschikbaar moet komen voor de sector; deze rapportage levert daar een bijdrage aan.



Ir. H. (Hans) van Trijp
Instituutsmanager Wageningen Social & Economic Research
Wageningen University & Research

Samenvatting

S.1 Belangrijkste uitkomsten

In de PPS Low Carbon Dairy participeren onder andere twee zuivelketens die tot doel hebben om 50% reductie van de carbon footprint van melk te bereiken in 2030, ten opzichte van de basisjaren 2015 (CONO kaasmakers) en 2018 (Vreugdenhil Dairy Foods). In het kader van deze PPS is voor drie bedrijfstypen (veen met ongeveer 2.300 uur weidegang, klei met ongeveer 1.000 uur weidegang en zand zonder weidegang) een maatregelpakket samengesteld om zo ver mogelijk met de reductie te komen. De belangrijkste resultaten van de berekeningen zijn:

1. Met het maatregelpakket wordt een forse reductie van de broeikasgasemissies gehaald van 382 tot 480 g CO₂-eq/kg FPCM op een footprint van 894 tot 1.097 g CO₂-eq/kg FPCM in de uitgangssituatie. In procenten is dit rond de 43-44%. Het doel van de 50% reductie dat voor 2030 was gesteld, wordt nog niet bereikt. De effectiviteit van het pakket is voor 2030 optimistisch ingeschat. Zo kost het meer tijd tot het potentieel van fokkerij op lagere emissies volledig gerealiseerd zal zijn, is mestvergisting afhankelijk van vergunningverlening en investeringen, zijn ambitieuze reducties in de carbon footprint van krachtvoer aangenomen en is het langdurig werkend additief 3-NOP nog niet praktijkrijp.
2. Het netto economisch effect van het maatregelenpakket varieert van circa -€ 28 duizend tot -€ 43 duizend per bedrijf per jaar. Per 100 kg melk is dit -€ 2,51 tot -€ 3,91.
3. Uitgedrukt in kosteneffectiviteit kost het maatregelpakket € 54 tot € 69 per ton reductie. Uitschieters hierin zijn kunstmest met een lage footprint (€ 250 per ton reductie) voor alle bedrijfstypen, en het toepassen van bijproducten (€ 264 per ton reductie) en mestvergisting (€ 231 per ton reductie) op het veenbedrijf. Op het zandbedrijf zijn mestvergisting (€ 70 per ton reductie), het voeren van bijproducten (€ 43 per ton reductie), en krachtvoer met een lage footprint (€ 68 per ton reductie) kosteneffectiever.
4. Afwentelingen van het maatregelpakket zijn met name zichtbaar voor de indicator eiwit van eigen land, die voor twee van de drie bedrijfstypen behoorlijk daalde (9 en 15 procentpunten). Voor de andere berekende indicatoren (ammoniak per GVE en per ha en stikstofbodemoverschot) is het effect positief of zeer beperkt negatief. Op bedrijfsniveau werd geen effect verwacht op gewasdiversiteit en kruidenrijk grasland, natuur en landschap, waterbalans, en gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Effecten op bodemorganische stof, dierenwelzijn en -gezondheid konden in het model niet worden berekend.

Tabel S1 laat het effect van de afzonderlijke maatregelen en van de pakketten per bedrijfstype zien op de reductie van de broeikasgasemissies, het netto economisch effect op bedrijfsniveau en de kosteneffectiviteit.

S.2 Reflectie

Het referentiejaar voor het doel van 50% reductie van de betrokken ketenpartijen ligt in het verleden, respectievelijk in 2015 en in 2018. De bedrijfstypen zijn samengesteld op basis van praktijkdata uit 2021. Vanaf 2015 tot 2021 heeft naar schatting een autonome daling van ongeveer 12% van de emissie per kg melk plaatsgevonden in de Nederlandse melkveehouderij (Doornewaard et al., 2022; Hoogeveen et al., 2025). Als die wordt opgeteld bij de berekende 43-44%, dan zou met dit maatregelpakket op alle bedrijven het doel theoretisch haalbaar kunnen zijn, met de kanttekeningen dat er is gerekend met ambitieuze reducties in de footprint van krachtvoer, effecten van fokkerij pas later in werking treden, het aangenomen voeradditief nog niet in de praktijk beschikbaar is, en dat is gerekend met goed werkende installaties en succesvolle uitvoering van de maatregelen. Bij een minder goed werkende mestvergister zullen de voordelen bijvoorbeeld minder groot zijn.

Daarnaast zijn er nog verschillende oplossingsrichtingen in ontwikkeling, met name rond mest, het afvangen van methaan en technologieën die de pensfermentatie beïnvloeden. Op lange termijn is daarmee misschien meer mogelijk. Ten slotte is er nu niet gerekend met compensatiemogelijkheden, bijvoorbeeld gericht op koolstofvastlegging.

Een deel van de maatregelen - zoals het toepassen van een voeradditief en krachtvoer met een lage footprint - vraagt (vrijwel) geen investeringen, maar resulteert wel in blijvende kosten. Deze maatregelen hebben geen andere positieve effecten die resulteren in kostenbesparingen of meeropbrengsten. Dit betekent in de praktijk dat deze maatregelen alleen zullen worden toegepast als hier een beloning tegenover staat óf als het als eis wordt gesteld.

Een sectorbrede toepassing van het maatregelpakket is niet vanzelfsprekend. Dit heeft er onder andere mee te maken dat investeringen in bijvoorbeeld mestvergisting voor kleinere en extensievere bedrijven niet zo snel interessant zijn. Via samenwerking kan er meer, maar ook dat is niet eenvoudig te regelen en vereist meer transportbewegingen. Wat inputs voor het melkveebedrijf betreft, is de vraag of op sectorniveau aan de extra inzet van bijproducten en krachtvoer, brandstof en kunstmest met een lage footprint kan worden voldaan.

Daarnaast is het de vraag of het doorgerekende maatregelpakket past bij alle bedrijfstypen én typen melkveehouders die in de sector voorkomen. Met name voor het extensieve bedrijf geldt dat de berekende reductie samenhangt met een aantal 'onzekere' maatregelen zoals langwerkend voeradditief dat volledig werkt in combinatie met weidegang en fokkerij waarvan het effect pas op langere termijn zichtbaar wordt. Daarnaast hebben melkveehouders ook duidelijk hun eigen voorkeuren voor een bepaald type bedrijfsvoering. Niet iedereen wil inzetten op inzet van technologie, of dit nu mestvergisting is of het gebruik van voeradditieven.

Een ander aspect is dat in de praktijk ook bij vergelijkbare bedrijfstypen grote verschillen in broeikasgasemissies voorkomen. Dit biedt in principe perspectief om van elkaar te leren en te verbeteren. Hier is in deze berekeningen geen rekening mee gehouden.

Tabel S1 Reductie van broeikasgasemissies en verandering in netto economisch effect ten opzichte van de referentie, en euro per ton reductie bij toepassing van maatregelen voor de drie bedrijfstypes (op veen, klei, en zand)

Variabele	Bedrijfstype	Maatregelen										
		3-NOP slowrelease	Mestvergisting	CF krachtvoer	Fokkerij	Bijproducten	Minder kunstmest	Hogere melkproductie	HVO-diesel	Grasklaver	CF kunstmest	Pakket
Reductie BKG-emissies (g CO ₂ /kg FPCM)	Veen	143	72	50	72	32	99	37	15		5	480
	Klei	132	84	57	65	22	12	27	13	25	5	382
	Zand	122	93	109	59	75		10	9	1	1	404
Totale BKG reductie (ton CO ₂ -eq)	Veen	104	52	36	52	23	72	30	11		4	395
	Klei	140	89	60	69	23	13	32	13	26	6	449
	Zand	201	153	180	98	124		18	15	2	2	730
Netto economisch effect (1.000 €/bedrijf)	Veen	-10	-12	-5	0	-6	1	2	-1		-1	-30
	Klei	-14	-12	-7	0	-3	1	9	-1	4	-1	-28
	Zand	-21	-11	-12	0	-5		7	-1	-3	-1	-43
Kosten emissiereductie (€/ton CO ₂ -eq)	Veen	100	231	135	0	264	-18	-81	78		250	76
	Klei	101	136	122	0	123	-45	-287	78	-150	250	62
	Zand	103	70	68	0	43		-398	78	-a)	250	59

a) De reductie van BKG-emissies van deze maatregel was per kg FPCM slechts 1 g CO₂-eq; de kosteneffectiviteit van de maatregel is daarom niet berekend.

S.3 Aanpak onderzoek

Met het Bedrijfs Begrotings Programma voor de Rundveehouderij (ook wel Dairywise of BBPR) is voor drie bedrijfstypen een maatregelpakket doorgerekend. Het programma simuleert een melkveebedrijf voor de periode van 1 jaar met gedetailleerde deelprogramma's voor voedervoorziening, milieu en economie. De drie bedrijfstypen (zie tabel S2) zijn bepaald op basis van bedrijfsdata uit 2021 uit het Bedrijveninformatienet en zijn aangepast aan (verwachte) wetgeving (verval derogatie, bufferstroken en NV-gebieden). De ontwikkeling van Nederlandse melkveebedrijven vanaf het basisjaar in 2015 of 2018 tot de modelbedrijven in 2021 is achteraf voor een gemiddeld bedrijf ingeschat op basis van statistieken over de Nederlandse melkveehouderij; er is geen modelberekening per bedrijfstype gedaan.

Tabel S2 *Uitgangspunten voor de drie bedrijfstypen*

	Veen	Klei	Zand
Aantal koeien	88	110	151
Melkproductie/koe (kg)	7.752	9.007	10.225
ha grasland	52,3	47,5	32,5
ha maisland	0	9,4	17,4
GVE/ha a), b)	2,0	2,3	3,6
Melk/ha (ton) b)	12,5	16,9	30,3
Bodemtype	Veen	Klei	Zand
Uren weidegang	~2.300	~1.000	0
Kunstmestgift (kg N /ha grasland)	127	182	105

a) Er is gerekend met 1 GVE voor 1 melkkoe, 0,5 GVE voor 1 pink (1-2 jaar) en 0,25 GVE voor 1 kalf (tot 1 jaar); b) Er is gerekend met het areaal inclusief bufferstroken, dat wil zeggen 54,5 ha, 58,7 ha en 50,9 ha voor het bedrijfstype op respectievelijk veen, klei en zand.

De maatregelen die zijn toegepast om BKG-emissies te reduceren zijn:

- voeren van (meer) bijproducten in het rantsoen ter vervanging van krachtvoer
- verhogen van de melkproductie met 1.000 kg melk per koe door fokkerij, investeringen in koecomfort, advies en arbeid
- toepassen van grasklaver zonder stikstof (N) kunstmest op het complete areaal grasland (niet toegepast op veen)
- verlagen van de N-kunstmestgift op grasland
- mestvergisting, waarbij is gewerkt met collectieve vergisting op het zandbedrijf, en met mestvergisting door derden voor de bedrijven op veen en klei
- fokkerij op een lage methaan uitstoot, waarbij de effectiviteit op langere termijn toeneemt
- voeren van een methaanremmend voeradditief 3-NOP (handelsnaam Bovaer), dat langdurend werkzaam is
- verlagen van de carbon footprint van krachtvoer
- verlagen van de carbon footprint van N-kunstmest
- verlagen van de carbon footprint van diesel door gebruik van 'HVO-diesel'

De economische effecten van maatregelen zijn in BBPR berekend met een bedrijfsbegroting, met veranderde opbrengsten en kosten. Hierin zijn meerkosten gerekend voor aangekocht voer, diesel en kunstmest met een lage footprint, en voeradditief 3-NOP. Er zijn geen hogere opbrengsten meegenomen voor melk met een lagere carbon footprint, of voor het behalen van andere duurzaamheidsdoelen. Voor de maatregelen mestvergisting en het verhogen van de melkproductie zijn investeringen gerekend. De effecten op de bedrijfsbegroting zijn vervolgens weergegeven als 1) het effect van het toepassen van het maatregelpakket en de afzonderlijke maatregelen op de nettobedrijfsbegroting ten opzichte van de referentiesituatie, en 2) als kosteneffectiviteit uitgedrukt als de nettokosten in euro per ton CO₂-equivalentenreductie.

Summary

S.1 Key findings

In the Public-Private Partnership (PPS) 'Low Carbon Dairy', two dairy chains are participating with the aim of achieving a 50% reduction in the carbon footprint of milk by 2030, compared with the baseline years 2015 (CONO kaasmakers) and 2018 (Vreugdenhil Dairy Foods). As part of this PPS, a comprehensive set of measures was compiled for three farm types (peat with about 2,300 hours of grazing, clay with about 1,000 hours of grazing and sand without grazing) to achieve the greatest possible reduction. The key findings of the calculations are:

1. With a comprehensive set of measures a substantial reduction in greenhouse gas (GHG) emissions could be achieved of 382-489 g CO₂-eq/kg FPCM compared to the baseline footprint of 894-1,097 g CO₂-eq/kg FPCM. This corresponds to a reduction of approximately 43-44%. The target of 50% reduction set for 2030 is not yet reached. It should also be noted that the calculations assume the presence of a feed additive with a sustained effect during grazing, ambitious reductions in the carbon footprint of concentrates, and the effect of a breeding measure that will only become fully effective in the longer term.
2. The net economic impact of the set of measures ranged from approximately -€28 thousand to -€43 thousand per farm per year. Expressed per 100 kg of milk this was between -€2.51 and -€3.91.
3. In terms of cost-effectiveness, the costs were between €54 and €69 per tonne reduction for the set of measures. Notably high costs among these were mineral fertiliser with a low footprint (€250 per ton reduction) for all farm types, feeding of byproducts (€264 per reduction) and manure digestion (€231 per tonne reduction) for the peat farm type. Manure digestion (€ 70 per tonne reduction), feeding of byproducts (€43 per tonne reduction), and concentrates with a lower footprint (€68 per tonne reduction) were more cost-effective for the clay farm type.
4. Trade-offs for the set of measures were mainly found for the indicator 'protein from own land', which decreased for two of the three farm types (by 9 and 15 percentage points). For the other calculated indicators (ammonia per livestock unit and per hectare, and nitrogen soil surplus), the effect was positive or only slightly negative. At farm level, no impact was expected on crop diversity and herb-rich grassland, nature and landscape, water balance, or the use of crop protection products. Effects on soil organic matter and animal welfare and health could not be calculated with the model.

Table S1 shows the effect of individual measures and the set of measures per farm type on the reduction of GHG emissions, the net economic impact at farm level, and cost-effectiveness.

S.2 Reflection

The reference year for the 50% reduction target set by the participating chain partners lies in the past, namely 2015 and 2018. The farm types were composed based on practical farm data from 2021. Between 2015 and 2021, an autonomous reduction of approximately 12% in emissions per kg of milk is estimated to have occurred in Dutch dairy farming (Doornewaard et al., 2022; Hoogeveen et al., 2025). If this autonomous reduction is added to the calculated 43-44%, the target could theoretically be achievable on all farm types with this set of measures, with the caveats that the impact of breeding will only become apparent in the longer term, the assumed feed additive is not yet available, and the calculations assume ambitious reduction in the carbon footprint of inputs, well-functioning installations and successful implementation of the measures. For example, with an underperforming manure digester, the benefits would be smaller.

In addition, several other options for the reduction of GHG emissions are still under development. Particularly, related to manure management, methane oxidation, and technologies that influence rumen fermentation. In the long term this may allow for greater reduction percentages. Furthermore, no compensation options have been included in the calculations, for example those aimed at carbon sequestration.

Some of the measures, such as the use of a feed additive and concentrates with a low carbon footprint require no or hardly any investments but do result in recurring costs. These measures do not have other positive effects that lead to cost savings or additional revenues. In practice, this means that such measures will only be implemented if there is a financial incentive or if they are made mandatory.

A sector-wide implementation of the set of measures is not self-evident. This is partly because investments in, for example, manure digestion are usually not attractive for smaller and more extensive farms. A collaboration between farms could be an alternative, but this is also not easy to organise and would require additional transport movements. Regarding inputs for dairy farms, the question remains whether the sector can meet the increased demand for by-products and concentrates, fuel and mineral fertilisers with a lower carbon footprint.

Furthermore, it is uncertain whether the calculated set of measures is suitable for all farm types and all types of dairy farmers within the sector. For the extensive farm type in particular, the calculated reduction depends on several 'uncertain' measures, such as a feed additive that has a sustained effect during grazing and breeding for lower methane emissions of which the effects only become visible in the longer term. In addition, dairy farmers clearly have their own preferences for certain measures of farming strategies. Not everyone is willing to adopt technology, whether it involves manure digestion or the use of feed additives. Another aspect is that there are large differences in GHG emissions among similar farm types in practice. This offers opportunities to learn from each other and to make improvements. These differences were not taken into account in these calculations.

Table S1 Reduction of greenhouse gas (GHG) emissions and the change in net economic impact compared with the reference scenario, as well as the cost in euros per ton of reduction when applying the measures for the three farm types (peat, clay, sand)

Variable	Farm type	Measures										
		3-NOP slowrelease	Manure digestion	CF concentrates	Breeding	Byproducts	Less mineral N fertilizer	Higher milk production	HVO-diesel	Grass clover	CF Mineral fertilizer	Package
Reduction GHG emissions (g CO ₂ /kg FPCM)	Peat	143	72	50	72	32	99	37	15		5	480
	Clay	132	84	57	65	22	12	27	13	25	5	382
	Sand	122	93	109	59	75		10	9	1	1	404
Total GHG emissions (ton CO ₂ -eq)	Peat	104	52	36	52	23	72	30	11		4	395
	Clay	140	89	60	69	23	13	32	13	26	6	449
	Sand	201	153	180	98	124		18	15	2	2	730
Net economic effect (1,000 €/farm)	Peat	-10	-12	-5	0	-6	1	2	-1		-1	-30
	Clay	-14	-12	-7	0	-3	1	9	-1	4	-1	-28
	Sand	-21	-11	-12	0	-5		7	-1	-3	-1	-43
Costs emission reduction (€/tonne CO ₂ -eq)	Peat	100	231	135	0	264	-18	-81	78		250	76
	Clay	101	136	122	0	123	-45	-287	78	-150	250	62
	Sand	103	70	68	0	43		-398	78	-a)	250	59

a) The reduction in GHG emissions from this measure was only 1 g CO₂-eq per kg FPCM. Therefore, the costs-effectiveness was not calculated.

S.3 Methodology

Dairywise (or in Dutch: Bedrijfs Begrotings Programma voor de Rundveehouderij, in short: BBPR) was used to model the set of measures for the three farm types. The model simulates a dairy farm over a one year-period with detailed submodules for feed supply, environment, and economics. The three farm types (see Table S2) were based on farm data from 2021 from the Farm Accountancy Data Network (in Dutch: Bedrijveninformatienet) and adjusted to (expected) legislation (abolition of derogation, buffer strips, and NV zones). The development of Dutch dairy farms from the baseline year 2015 or 2018 to the model farms in 2021 was retrospectively estimated for an average farm based on available statistics on Dutch dairy farming; no model calculation was performed per farm type.

Table S2 Description of the three farm types

	Peat	Clay	Sand
Number of cows	88	110	151
Milk production per cow (kg)	7,752	9,007	10,225
ha grassland	52.3	47.5	32.5
ha maize land	0	9.4	17.4
LU/ha a), b)	2.0	2.3	3.6
Milk/ha (tonne) b)	12.5	16.9	30.3
Soil type	Peat	Clay	Sand
Grazing hours	approximately 2,300	approximately 1,000	0
Mineral N fertiliser (kg N /ha grassland)	127	182	105

a) Calculated with 1 Livestock Unit (LU; or GVE in Dutch) for 1 dairy cow, 0,5 LU for youngstock (1-2 year) and 0,25 LU for 1 calf (up to 1 year);

b) Calculated including the area used for buffer strips, i.e. 54.5 ha, 58.7 ha and 50.9 ha for farm type on peat, clay and sand, respectively.

The measures applied to reduce GHG emissions are:

- Feeding (more) byproducts to replace concentrates
- Increasing milk production by 1,000 kg per cow through breeding, investments in cow comfort, advisory services, and labour
- The use of grass-clover swards without the application of mineral nitrogen (N) fertiliser on all available grasslands (not for the peat farm type)
- Reducing mineral N fertiliser application on grassland
- Manure digestion, collective digestion was applied on the most intensive sand farm type and third-party digestion was used for the (average intensity) clay and (extensive) peat farm type.
- Breeding for lower enteric methane emissions, with effectiveness increasing of the long term
- Feeding an enteric methane reducing feed additive, 3-NOP (trade name Bovaer), with sustained effectiveness
- Reducing the carbon footprint of concentrates
- Reducing the carbon footprint of mineral N fertiliser
- Reducing the carbon footprint of diesel by using 'HVO diesel'

The economic impacts of measures were assessed in BBPR using farm budgeting, reflecting changes in revenues and expenditures. Hence, additional costs were included for purchased feed, diesel and mineral fertilisers with a lower carbon footprint, as well as the feed additive 3-NOP. Potential increases in revenue from milk with a lower carbon footprint or from achieving other sustainability objectives were not considered. Investments were included for the measures manure digestion and increased milk production.

The impact on the farm budget is presented as 1) the impact of applying the set of measures, as well as the individual measures, on the net farm budget compared with the reference situation, and 2) the cost-effectiveness, expressed as the net cost in euros per tonne of CO₂-equivalent reduction.

1 Inleiding

Om klimaatverandering te beperken, zijn er internationaal afspraken gemaakt om de uitstoot van broeikasgassen (BKG) te verminderen. De doelstelling van het Parijs Akkoord is om de wereldwijde klimaatverandering tegen te gaan door de opwarming van de aarde te beperken tot ruim onder 2°C ten opzichte van het pre-industriële niveau, met inspanningen om deze stijging verder te beperken tot 1,5°C (Paris Agreement, 2015). Overheden en bedrijven hebben zich gecommitteerd aan deze klimaatdoelen. Het Science Based Targets initiative (SBTi) helpt bedrijven om klimaatdoelen op te stellen die in lijn zijn met de wetenschap en het Parijs Akkoord. Bedrijven analyseren hun uitstoot, stellen reductiedoelen op en laten deze valideren door SBTi om transparantie en impact te waarborgen.

Deze analyse is onderdeel van de Publieke-Private Samenwerking (PPS) 'Low Carbon Dairy'. In dit project wordt gewerkt aan een verlaging van BKG-emissies van het melkveebedrijf in samenwerking met twee zuivelketens, Unilever met CONO Kaasmakers en Nestlé met Vreugdenhil Dairy Foods, en diverse ketenpartners: Agrifirm, ForFarmers, De Heus, Duynie, Lely en Rabobank. Het doel voor beide zuivelketens is om 50% reductie van BKG-emissies te behalen per liter melk in 2030, ten opzichte van de referentiejaren 2015 (CONO Kaasmakers) en 2018 (Vreugdenhil Dairy Foods).

Om te onderzoeken in hoeverre het doel van 50% reductie kan worden gerealiseerd, richt deze studie zich op het doorrekenen van een vergaand maatregelpakket.¹ Er wordt in beeld gebracht wat de impact is van het pakket en van de afzonderlijke maatregelen op BKG-emissies, hoeveel deze maatregelen kosten en of er eventuele afwentelingen zijn op andere duurzaamheidsindicatoren. Hierbij wordt gekeken naar de indicatoren stikstofbodemoverschot, ammoniakemissies en eiwit van eigen land. Andere indicatoren zijn niet meegenomen omdat er op bedrijfsniveau geen effect wordt verwacht van de maatregelen (gewasdiversiteit en kruidenrijk grasland, natuur en landschap, waterbalans, en gebruik van gewasbeschermingsmiddelen), of omdat deze niet in het gebruikte model kunnen worden meegenomen (bodemorganische stof, dierenwelzijn en -gezondheid). Maatregelen zijn doorgerekend voor drie verschillende bedrijfstypen. De uitgangssituatie van die bedrijfstypen is qua bedrijfsopzet en bedrijfsvoering gebaseerd op een groep Nederlandse melkveebedrijven met vergelijkbare structuurkenmerken (grondsoort/intensiteit). De overweging om het maatregelpakket voor deze verschillende bedrijfstypen te analyseren is omdat de verwachting is dat de effectiviteit en kosten van maatregelen anders kunnen zijn. Het in beeld brengen van deze variatie draagt bij aan het kunnen samenstellen van relevante maatregelpakketten voor de praktijk.

¹ Voordat in deze rapportage effecten van vergaande pakketten maatregelen werden doorgerekend, zijn eerder in dit project berekeningen gedaan met pakketten van maatregelen die al in de praktijk werden toegepast. Zie voor de resultaten het rapport dat eerder is verschenen (Kok et al., 2025). In de huidige pakketten zijn bestaande maatregelen in sterkere mate toegepast en is daarnaast gekeken naar maatregelen die in de nabije toekomst worden verwacht, of waarvan het effect op langere termijn in werking treedt.

2 Methode

2.1 Bedrijfstypen in BBPR

De analyses in dit rapport zijn gedaan met het Bedrijfs Begrotings Programma voor de Rundveehouderij, ook bekend als Dairywise of BBPR. Dit model is ontwikkeld voor het berekenen van een bedrijfsbegroting voor een melkveebedrijf door Wageningen Livestock Research op basis van onderzoek en praktijkkennis (Mandersloot et al., 1991; Schils et al., 2007). Het programma simuleert een melkveebedrijf voor de periode van 1 jaar met gedetailleerde deelprogramma's voor voedervoorziening, milieu en economie. Zo worden bijvoorbeeld graslandgebruik, veevoeding, mestopslag en voeraankoop berekend. De berekening is normatief, dat wil zeggen goed uitgevoerde bedrijfsvoering volgens wetgeving en landbouwkundige advisering onder gemiddelde omstandigheden (bijvoorbeeld een gemiddeld weerjaar). De economische kengetallen in BBPR staan beschreven in KWIN-Veehouderij 2024-2025.

Met BBPR kunnen bedrijfsspecifieke technische en economische kengetallen berekend worden van verschillende scenario's. Dit maakt het mogelijk om consequenties van maatregelen te evalueren. In deze studie zijn maatregelen geëvalueerd voor drie bedrijfstypen. Deze bedrijfstypen zijn bepaald op basis van bedrijfsdata uit 2021 uit het Bedrijveninformatienet en vervolgens aangepast op basis van (verwachte) wetgeving naar een situatie zonder derogatie, met een 20% lagere N-gebruiksnorm voor het zandbedrijf en toepassing van bufferstroken op alle bedrijfstypen (Kok et al., 2025). De uitgangssituatie van de bedrijfstypen is qua bedrijfsopzet en bedrijfsvoering gebaseerd op een groep Nederlandse melkveebedrijven uit het Bedrijveninformatienet met vergelijkbare grondsoort en intensiteit. Na splitsing van de Informatienetbedrijven op basis van bodemtype (veen of minerale gronden) zijn bedrijven ingedeeld als extensief, gemiddeld intensief en intensief op basis van melkproductie per ha, en op lage, gemiddelde en hoge dieraantallen. Vervolgens zijn met de projectpartners hieruit drie groepen geselecteerd om bedrijfstypen op te baseren. Het betreft een bedrijf op veen met circa 2.300 uur weidegang, een bedrijf op klei met circa 1.000 uur weidegang (gemiddeld qua intensiteit van melkveebedrijven op minerale gronden), en een bedrijf op zand zonder weidegang (tabel 2.1).

De drie bedrijfstypen zijn eerst zonder maatregelen doorgerekend in BBPR als referentie. Vervolgens zijn maatregelen getroffen om BKG-emissies van melkproductie te verminderen; deze maatregelen zijn individueel en als totaalpakket doorgerekend. Maatregelen die effect hadden op de technische bedrijfsvoering zijn in BBPR doorgerekend (zie paragraaf 2.2). Een aantal maatregelen had geen effect op de bedrijfsvoering behalve op de alternatieve inkoop van een grondstof, namelijk een variant met een lagere carbon footprint, op de toevoeging van een voeradditief, of op de emissies van pensfermentatie (namelijk fokkerij op lage methaanemissies). De meerkosten en effecten op broeikasgasemissies van deze maatregelen zijn na de berekeningen in BBPR toegevoegd, door de meerkosten per kg product en de aangenomen reducties van broeikasgassen per kg product daarvan in te rekenen voor de totale hoeveelheid product (zie aannames maatregelen in paragraaf 2.2).

De technische resultaten van de afzonderlijke maatregelen en het maatregelpakket op de bedrijfstypen worden uitgedrukt ten opzichte van de referentie.

Tabel 2.1 Basissituatie voor de drie bedrijfstypen

	Veen	Klei	Zand
Aantal koeien	88	110	151
Melkproductie/koe (kg)	7.752	9.007	10.225
ha grasland	52,3	47,5	32,5
ha maisland	0	9,4	17,4
GVE/ha a), b)	2,0	2,3	3,6
Melk/ha (ton) b)	12,5	16,9	30,3
Bodemtype	Veen	Klei	Zand
Uren weidegang	circa 2.300	circa 1.000	0
Kunstmestgift (kg N/ha grasland)	127	182	105

a) Er is gerekend met 1 GVE voor 1 melkkoe, 0,5 GVE voor 1 pink (1-2 jaar) en 0,25 GVE voor 1 kalf (tot 1 jaar); b) Er is gerekend met het areaal inclusief bufferstroken, dat wil zeggen 54,5 ha, 58,7 ha en 50,9 ha voor het bedrijfstype op respectievelijk veen, klei en zand.

2.2 Maatregelen om broeikasgassen te reduceren

In deze analyse zijn maatregelen doorgerekend om broeikasgasemissies te reduceren. Deze maatregelen zijn aangedragen binnen de PPS en zijn in partnermeetings verder afgestemd. Een deel van de maatregelen is geselecteerd omdat ze al door pilotbedrijven binnen het project werden toegepast. Wel worden deze maatregelen in sterkere mate doorgevoerd dan de pilot bedrijven op dit moment doen, zo wordt een groter aandeel bijproducten gevoerd en wordt op het volledige areaal grasland grasklaver toegepast. Daarnaast zijn verdere maatregelen toegevoegd waarvan relevante reducties op BKG-emissies worden verwacht. Hierbij zijn ook maatregelen opgenomen die nu nog niet direct toepasbaar zijn, maar in de nabije toekomst worden verwacht, of waarvan het effect pas op lange termijn in werking treedt. Maatregelen als 'kwaliteit van de kuil verbeteren' zijn niet meegenomen, omdat die samenhangen met het verbeteren van de bedrijfsvoering en niet zozeer met het treffen van maatregelen om BKG-emissies te reduceren.

De volgende maatregelen zijn eerst apart doorgerekend:

1. Het voeren van *een rantsoen met bijproducten* als krachtvoervervanger. Hierbij is voor de melkkoeien uitgegaan van een rantsoen met 3 bijproducten: Aardappelstoomschillen, perspulp en bierbostel. Voor de bedrijven met weidegang geldt dat de bijproducten enkel worden gevoerd tijdens de stalperiode.
2. *Melkproductie* verhogen met 1.000 kg/koe, waarbij de energiebehoefte naar rato toeneemt maar de krachtvoergift per koe vergelijkbaar blijft, de extra liters worden dus uit ruwvoer gehaald. De opnamecapaciteit van de koeien neemt toe via fokkerij. Het aantal koeien blijft gelijk, dit betekent dat extra fosfaatrechten nodig zijn. Aangenomen wordt dat de stijging van de melkproductie kan worden gerealiseerd door investeringen in koecomfort (rubber op de roosters en koematrassen), extra eigen arbeid en extra advies.
3. Toepassen van *grasklaver* op het totale areaal grasland, waarop alleen dierlijke mest wordt gebracht op basis van 170 kg N (dus geen N-kunstmest). Deze maatregel werd niet toegepast op het veenbedrijf vanwege de slechte ontwikkeling van klaver op veen.
4. Het verlagen van het *kunstmestgebruik*. Bij deze maatregel is de N-kunstmestgift verlaagd met 107 en 40 kg N per ha grasland op het veen- en het kleibedrijf. Voor het vormgeven van deze maatregel is eerst de relatie verkend tussen kunstmestgift grasproductie en de carbon footprint (zie bijlage 2). Op het zandbedrijf gaf de reductie in kunstmest geen of zeer beperkte verlaging in de carbon footprint en is deze maatregel niet toegepast.
5. *Mestvergisting* wordt als maatregel toegepast op alle drie bedrijfstypen als monovergisting. Op het zandbedrijf wordt dit gecombineerd met dagontmesting,² waarbij dagverse mest naar de vergister gaat. Op het kleibedrijf en het veenbedrijf is de totale mestproductie in de kelder kleiner, met name in het weideseizoen, en is daarom de aanname gedaan dat ontmesting respectievelijk twee keer per week en wekelijks plaatsvindt. Monovergisting is op het zandbedrijf doorgerekend in de vorm van collectieve

² Dit is in principe een combinatie van 2 maatregelen. Dagontmesting is nodig om tot een goed rendement van de vergister te komen.

mestvergisting, en op klei- en veenbedrijf als mestvergisting door derden. Voor een robuuste businesscase en een stabiel vergistingsproces wordt een bedrijfsgrootte van 300-500 koeien aangeraden (ABN AMRO, 2023; Rabobank, 2025); of een minimaal volume mest afkomstig van zoveel koeien. In deze analyse is er daarom voor gekozen om voor het zandbedrijf collectieve mestvergisting toe te passen samen met twee bedrijven van vergelijkbare omvang (3 keer 151 koeien); terwijl in de eerdere analyse in dit project mestvergisting werd toegepast voor het eigen bedrijf (Kok et al., 2025). In de berekeningen worden de emissies van CH₄, N₂O en NH₃ in de stal en opslag en bij mesttoediening verlaagd op basis van eerdere berekeningen (zie tabel 2.2). Aangenomen wordt dat er buiten deze effecten op ammoniak en broeikasgassen geen effect is op technische prestaties.

6. *Fokken op lage methaanuitstoot.* Hierbij is aangenomen dat de methaanemissies van pensfermentatie van de melkveestapel met 15% wordt verlaagd (Vellinga, 2023). Dit is een langetermijnstrategie, waarbij de maatregel over tijd (2050) effectief kan worden bij voortdurende selectie op een lage methaanuitstoot. Op kortere termijn zijn de effecten veel kleiner.
7. Voeren van een langdurig werkend *methaanremmend voeradditief 3-NOP* aan melkkoeien in het bestaande rantsoen, met een dosering van 90 mg/kg DS. Er wordt hier aangenomen dat het additief wordt verstrekt in de stal maar ook werkt gedurende weidegang.³ Hiermee worden de methaanemissies van pensfermentatie van melkvee gereduceerd met 36,1% (Van Dijk et al., 2025). Er wordt verwacht dat dit lang werkende product in de nabije toekomst op de markt komt.
8. Verlagen van de *carbon footprint van krachtvoer*: emissies reduceren naar 420 g CO₂-eq/kg krachtvoer. Deze carbon footprint is aangenomen op basis van discussie met de projectpartners uit de mengvoerindustrie dat ze de eerder in het project aangenomen lage footprint van 600 g CO₂-eq/kg krachtvoer nog 30% verder zouden kunnen reduceren. In de uitgangssituatie worden de emissies van krachtvoer bepaald volgens de regels van de KLV, op basis van de RE-gehalten in het krachtvoer. Hierbij wordt per krachtvoersoort tussen de volgende 3 waarden geïnterpoleerd (Van Dijk et al., 2025):
 - 143 g RE/kg = 645 g CO₂-eq/kg (standaard mengvoer)
 - 222 g RE/kg = 1.080 g CO₂-eq/kg (eiwitrijk mengvoer)
 - 278 g RE/kg = 1.510 g CO₂-eq/kg (extra eiwitrijk mengvoer).
9. Het verlagen van de *carbon footprint van N-kunstmest*. Aangenomen wordt dat productie van deze N-kunstmest een 85% lagere footprint heeft dan reguliere N-kunstmest door onder andere het gebruik van hernieuwbare energie in het productieproces⁴ (inschatting expert op basis van gegevens OCI).
10. Gebruik van *HVO-diesel*. Hiervoor is aangenomen dat HVO-diesel een 90% lagere footprint heeft dan gangbare diesel.⁵

Een aantal van deze maatregelen kan direct worden toegepast en geeft direct een verlaging in emissies. Voor andere maatregelen geldt een aantal kanttekeningen. Mestvergisting vereist een ontwerptraject met vergunning verlening en een grote investering, waardoor de maatregel pas op langere termijn kan worden toegepast. Fokkerij op een lagere methaanuitstoot is een proces van tientallen jaren, met een toenemende effectiviteit over tijd. Het toepassen van deze maatregel vereist een fokwaarde voor methaanuitstoot; deze is in april beschikbaar gekomen voor Holstein stieren (CRV, 2025). Het effect wordt dus pas op langere termijn zichtbaar. Het bestaande additief 3-NOP is kort werkzaam en is daarom niet goed te combineren met weidegang. Een langdurig werkende versie waar hier mee gerekend is en die nodig is voor volledige effectiviteit tijdens de weideperiode is nu nog niet beschikbaar. Het verhogen van de melkproductie is strikt genomen geen maatregel maar een resultante van management en een hogere opnamecapaciteit (te bereiken met fokkerij). Of de productie zoveel stijgt als beoogd werd, en of dat effect direct of pas later optreedt is onzeker.

Meer weidegang is niet expliciet als maatregel opgenomen. Het zandbedrijf heeft alle koeien in de uitgangssituatie binnen, weidegang toe gaan passen ligt daar niet voor de hand. Het veenbedrijf beweidt al veel in de uitgangssituatie, dat past goed bij de extensievere bedrijfsopzet. Voor het kleibedrijf is er voor gekozen om geen aanpassingen in de weidegang door te voeren. Dit is mede ingegeven door het feit dat hier ook geen grote effecten op de broeikasgasemissies van te verwachten zijn. Het relatief jonge weidegras kan

³ Van het huidige product 3-NOP wordt alleen reductie gerekend tijdens staluren (Van Dijk et al., 2025).

⁴ Zie bijvoorbeeld Ammonia Energy Association, <https://ammoniaenergy.org/articles/lantmannen-oci-supplying-low-emission-ammonia-fertilizers-to-european-customers/>

⁵ Neste, 2025 <https://www.neste.com/nl-nl/producten-en-innovatie/neste-my-renewable-diesel#ghg-reduction-calculator>

bijdragen aan een lagere methaanemissie, maar aan de andere kant resulteren de urineplekken weer in meer lachgas.

Totaalpakket: In het maatregelpakket zijn per bedrijfstype alle bovengenoemde maatregelen toegepast, behalve dat er per bedrijfstype een keuze moest worden gemaakt tussen grasklaver zonder N-kunstmest, of een verlaging van N-kunstmest (tabel 2.3). Grasklaver is als maatregel meegenomen voor het kleibedrijf. Verlaging van N-kunstmest is toegepast op veen. Op het zandbedrijf hadden zowel een lagere kunstmestgift als grasklaver nauwelijks effect op de verlaging van BKG-emissies; daarom is voor dat bedrijf geen van beide maatregelen meegenomen in het totaalpakket.

Tabel 2.2 Procentueel effect van mestvergisting (dagontmesting (a), 2x per week (b) of wekelijks ontmesten (c) in combinatie met monovergisting) op emissies van ammoniak, lachgas en methaan *

Bron: berekeningen H. Pishgar (2025) op basis van project NL next level, Gollenbeek et al. (2022)

a) Dagontmesting in combinatie met monovergisting

	Emissies stal en opslag	Emissies mesttoediening
NH ₃	-15,6	9,1
N ₂ O direct	6,8	-6,2
N ₂ O indirect	-15,6	9,1
N ₂ O totaal		-4,5
CH ₄	-71,7	

* Deze effecten zijn aangepast ten opzichte van de eerdere rapportage na nieuwe berekeningen. Hierin zijn N₂O-emissies veranderd door het updaten van de emissiefactoren, en door de aanname dat er in het nieuwe model geen N₂O-emissies zijn in de stal gedurende de korte periode van opslag.

b) 2x per week ontmesten in combinatie met monovergisting

	Emissies stal en opslag	Emissies mesttoediening
NH ₃	-15,5	9,2
N ₂ O direct	6,8	-6,2
N ₂ O indirect	-15,5	9,2
N ₂ O totaal		-4,5
CH ₄	-69,7	

c) Wekelijks ontmesten in combinatie met monovergisting

	Emissies stal en opslag	Emissies mesttoediening
NH ₃	-15,4	9,3
N ₂ O direct	6,8	-6,2
N ₂ O indirect	-15,4	9,3
N ₂ O totaal		-4,4
CH ₄	-67,8	

Tabel 2.3 Selectie van maatregelen die is opgenomen in het pakket voor de drie bedrijfstypen

Maatregel	Veen	Klei	Zand
bijproducten	✓	✓	✓
hogere melkproductie	✓	✓	✓
grasklaver	-	✓	-
minder kunstmest	✓	-	-
mestvergisting	✓	✓	✓
fokkerij methaan	✓	✓	✓
3-NOP slow release	✓	✓	✓
CF krachtvoer	✓	✓	✓
CF kunstmest	✓	✓	✓
HVO-diesel	✓	✓	✓

2.3 Duurzaamheidsindicatoren

Na doorrekening van de maatregelen op bedrijfstypen in BBPR is het effect op duurzaamheidsindicatoren bekeken in technische resultaten van BBPR of doorerekend met de kringloopwijzer 2024 (KLW, Van Dijk et al., 2025).

De eerste duurzaamheidsindicator is BKG-emissies, die vormen de kern van het project. Broeikasgasemissies zijn eerst per kg melk berekend en daarna opgeschaald naar totale reductie op bedrijfsniveau. Voor verdere duurzaamheidsindicatoren is een door experts van Wageningen University en Research, het Louis Bolk Instituut en adviesbureau Boerenverstand samen met de praktijk opgestelde lijst kritische prestatie-indicatoren (KPI's) als startpunt gebruikt.⁶ Uit deze set is een selectie gemaakt op basis van de beschikbaarheid in de technische resultaten en relevantie voor het project. In tabel 2.4 zijn de verschillende KPI's weergegeven en wordt aangegeven of er op bedrijfsniveau een verandering werd verwacht, en zo ja, of ze wel of niet zijn meegenomen in dit project.

Tabel 2.4 Kritische prestatie-indicatoren (KPI's) met evaluatie of er een effect wordt verwacht van de maatregelen op deze KPI, en of de KPI in de huidige analyse is meegenomen

KPI	Evaluatie
Stikstofbodemoverschot	ja
Ammoniakemissie	ja
Fosfaatoverschot	nee
Kringloopsluiting	ja, als eiwit van eigen land
Broeikasgassen	ja, hoofdpunt onderzoek
Energiebalans	nee, geen verandering verwacht
Milieubelasting gewasbeschermingsmiddelen	nee, geen verandering verwacht
Bodemorganische stof	nee, nog niet in model opgenomen
Bodembedekking	nee, geen verandering verwacht
Waterbalans	nee, geen verandering verwacht
Gewasdiversiteit en kruidenrijk grasland	nee, geen verandering verwacht
Natuur & Landschap	nee, geen verandering verwacht
Dierenwelzijn en diergezondheid	nee, niet in model

De duurzaamheidsindicatoren die zijn meegenomen in de berekening zijn de emissies van BKG, de ammoniakemissie (uitgesplitst in bemesting/beweiding en stal en opslag), het stikstofbodemoverschot en aandeel eiwit van eigen land. Het aandeel grasland wordt gelijk gehouden op het bedrijfstype, het type grasland blijft gelijk tenzij er grasklaver wordt ingezaaid. Over graskwaliteit worden geen aannames gedaan; deze is een resultante van de normatieve berekening in het grasgroeimodel in BBPR. Wel kan er meer mais worden aangekocht bij verandering in eigen voerproductie of energiebehoefte van de koeien, wat het aandeel mais op sectorniveau kan verhogen. Omdat op bedrijfsniveau geen effect wordt verwacht op het aandeel permanent, kruidenrijk of beheergrasland zijn deze indicatoren niet meegenomen. Het model geeft geen inzicht in mogelijke gevolgen voor diergezondheid of dierenwelzijn van de getroffen maatregelen.

Broeikasgasemissies zijn gepresenteerd als de emissies van melk in CO₂-equivalenten per kg vet- en eiwitgecorrigeerde melk (CO₂-eq/kg FPCM), gealloceerd aan melk volgens de rekenregels van de KLW (Van Dijk et al., 2025). De ammoniakemissie wordt uitgedrukt in kg per ha (voor bemesting en beweiding) en kg per gve (voor stal en opslag). Het stikstofbodemoverschot wordt uitgedrukt in kg per ha. Het effect van maatregelen op duurzaamheidskenmerken op bedrijfsniveau worden uitgedrukt ten opzichte van de referentie.

⁶ <https://wiki.groenkennisnet.nl/space/kpikll>

2.4 Economische berekeningen

Het programma BBPR rekent met kosten en opbrengsten voor de middellange termijn op basis van het handboek Kwantitatieve Informatie Veehouderij (KWIN, 2024). Maatregelen hebben gevolgen voor de technische bedrijfsvoering op de bedrijfstypen, waarvan de kosten en opbrengsten in de bedrijfsbegroting in BBPR worden meegenomen. Dat geldt voor de maatregelen: het voeren van meer bijproducten, het verhogen van de melkproductie, het toepassen van grasklaver en het verlagen van het N-kunstmestgebruik. Bij het toepassen van grasklaver wordt bijvoorbeeld (her)inzaai meegenomen in de jaarlijkse kosten binnen BBPR, evenals verminderde kunstmestaankoop en verhoogde voeraankoop; en een hogere melkproductie gaat gepaard met een grotere energiebehoefte en hogere voeropname. Een overzicht van relevante prijzen waarmee gerekend is, is te vinden in bijlage 1.

Meerkosten voor aangekocht voer, diesel en kunstmest en kosten voor investeringen zijn na de berekeningen in BBPR toegevoegd. Voor het realiseren van een lagere methaanuitstoot via fokkerij zijn geen kosten opgenomen. De aanname is dat fokkerij al plaatsvindt op melkveebedrijven, en dat deze maatregel enkel vraagt een ander fokdoel te hanteren. Impliciet is de aanname dat het nieuwe fokdoel geen negatief effect op de andere fokdoelen heeft.

In de berekening zijn geen hogere opbrengsten meegenomen voor melk met een lagere carbon footprint, of voor het behalen van andere duurzaamheidsdoelen. Er is dus geen rekening gehouden met het effect van maatregelen op de beloningssystemen die de verschillende zuivelverwerkers en andere partijen hanteren; en die onderling sterk verschillen. De berekende meerkosten geven daarmee een indicatie voor de extra vergoeding die nodig zou zijn om een maatregel economisch haalbaar of gunstig te maken.

Meerkosten

Er is een aantal aannames gedaan voor meerkosten van maatregelen. Er is gerekend met additionele kosten voor krachtvoer met een lage carbon footprint ten opzichte van regulier krachtvoer additionele kosten van € 25 per ton krachtvoer (in lijn met uitgangspunten in de Mitigation Engine);⁷ voor HVO-diesel ten opzichte van reguliere diesel 20 cent per liter (Neste), en voor N-kunstmest met een lage footprint ten opzichte van reguliere N-kunstmest € 15 per 100 kg (input van experts). Voor de kosten van de slow-release variant van 3-NOP is gerekend met € 190/kg product (in lijn met uitgangspunt Mitigation Engine). De aanname is dat het slow-release product niet duurder zal zijn dan het huidige 3-NOP product op de markt. Voor de bijproducten is voor bierbostel (22% DS) gerekend met € 80 per ton product, voor perspulp (27% DS) € 60 per ton product, en voor aardappelstoomschillen (13,8% DS) € 30 per ton product (Duynie).

Investeringskosten

Voor de maatregelen mestvergisting en het verhogen van de melkproductie zijn investeringen meegenomen. Voor de overige maatregelen worden geen substantiële investeringen verwacht, en zijn geen investeringskosten meegenomen. Op basis van een expertsessie met Rabobank is besloten om te rekenen met twee verschillende opties voor mestvergisting, waarbij ruw biogas wordt opgewaardeerd naar groen gas. Vanwege de bijmengverplichting, die energieleveranciers vanaf 2026 verplicht een percentage groen gas bij te mengen bij het gas dat ze verkopen, zal de vraag hiernaar de komende jaren toenemen.

De eerste optie is collectieve vergisting, vormgegeven op basis van de Mono-mestvergisting scan van Rabobank.⁸ Hierbij is aangenomen dat mest wordt vergist met een grote vergister met een inhoud van 2.000 m³, die 15.000 tot 25.000 ton mest per jaar kan vergisten. Dit betekent dat het zandbedrijf samen moet werken met 2 bedrijven van gelijke omvang om voldoende mest te produceren voor het vergisten. Voor het eerste bedrijf zijn de totale investeringskosten gerekend van de vergister (€ 1.880.000) en zijn variabele kosten gerekend voor stroom, personeel, aan en afvoer van mest (van derden), onderhoud en overige kosten. Voor de twee leverende bedrijven is € 100.000 investeringskosten gerekend voor aanpassingen van de stal zodat dagontmesting mogelijk is. De investering wordt afgeschreven gedurende de looptijd van de SDE++ subsidie van 12 jaar, met een rente van 3,75% in het eerste jaar. Gemiddeld geeft

⁷ De Mitigation Engine is een tool die binnen dit project 'Low Carbon Dairy' wordt gebruikt en doorontwikkeld om de melkveehouder te ondersteunen in het kiezen van maatregelen om de broeikasgasemissie te reduceren. Daarbij worden op hoofdlijnen ook kosten en baten van maatregelen meegenomen.

⁸ De mono-mestvergisting scan van Rabobank is online te vinden op de volgende website: <https://scan.rabomonomestvergisting.nl/>

dit jaarkosten van € 163 duizend per bedrijf. De jaaropbrengsten van het bedrijf dat groen gas produceert, vanuit subsidie (SDE), de markt en de garanties van oorsprong, komen gemiddeld over de drie bedrijven uit op € 153 duizend. Dit levert een nettoresultaat van -€ 10,7 duizend voor het zandbedrijf.

De tweede optie is het leveren van mest aan derden, zonder zelf (al dan niet collectief) mestvergisting toe te passen. Hiervoor zijn enkel de bovengenoemde investeringen in stalaanpassingen nodig, waarvan de investeringskosten afhankelijk zullen zijn van het bedrijf (bijvoorbeeld grootte, huidige stalontwerp en aantal mestkelders). Hiervoor wordt voor het kleibedrijf en het veenbedrijf gerekend met een range van € 50 duizend tot € 200 duizend investeringskosten in stalaanpassingen, waarbij beide extremen worden doorgerekend. Hierbij worden gelijke afschrijving (12 jaar) en rente (3,75%) aangenomen als bij optie 1, wat neerkomt op nettojaarkosten van € 6,04 duizend tot € 24,2 duizend. NB: Bij alleen mest leveren zijn er enkel kosten, geen opbrengsten. Wel is er verlaging van de emissies uit stal en opslag door het frequent afvoeren van verse mest.

Om een 1.000 kg per koe hogere melkproductie te realiseren, wordt aangenomen dat extra arbeid en investeringen in de stal nodig zijn. Aan extra arbeid wordt per bedrijf gerekend met jaarlijks 24 uren adviseur kosten van € 100 per uur en wekelijks 1,5 uren extra arbeid van de melkveehouder van € 40 per uur. Stalaanpassingen betreffen een investering in rubber op de roosters, uitgaande van jaarkosten van € 12,8 duizend voor een stal met 100 koeien (Owusu-Sekyere et al., 2023) die is geschaald naar de bedrijfsgrootte van 88, 110 of 150 koeien; en investering in koematrassen van € 220 per koe(plek), met 12% jaarkosten (waarvan 10% afschrijving en 2% onderhoud+verzekering); KWIN, 2024). Totaal komt dit neer op jaarkosten van € 19,1 duizend, € 22,5 duizend, en € 28,8 duizend voor respectievelijk het veen-, klei- en zandbedrijf.

Economische resultaten

De economische effecten van maatregelen zijn op twee manieren weergegeven. Eerst is het effect van het toepassen van het maatregelpakket en de afzonderlijke maatregelen op de bedrijfsbegroting weergegeven, in termen van opbrengsten, toegerekende kosten en niet toegerekende kosten. De resultaten worden hierbij steeds uitgedrukt als verandering in opbrengsten en kosten ten opzichte van de referentie.

Ten tweede is de kosteneffectiviteit van maatregelen berekend. Hierbij is aangenomen dat het verlagen van BKG-emissies het enige doel is van de toegepaste maatregelen, en is de kosteneffectiviteit uitgedrukt als de nettokosten in Euro per ton CO₂-equivalentenreductie.

3 Resultaten

3.1 Effect van maatregelen op technische bedrijfsvoering

In deze paragraaf worden de effecten van maatregelen op de bedrijfsvoering toegelicht voor de drie bedrijfstypes (tabel 3.1). De focus ligt hier op de maatregelen bijproducten, grasklaver, het verlagen van de kunstmestgift en het verhogen van de melkproductie; omdat de overige maatregelen (het voeren van een methaanremmend voeradditief; het verlagen van de footprint van krachtvoer, diesel of kunstmest; fokken op een lagere methaanuitstoot, en mestvergisting) in deze analyse geen invloed hebben op de eigen voerproductie en de aankoop van voer.

Het voeren van de *bijproducten* aardappelstoomschillen, persulp en bierbostel aan lacterende koeien leidt bij alle bedrijfstypen tot een verlaging van de krachtvoergift van 2% in het rantsoen op het veenbedrijf tot 8% op het zandbedrijf. Deze maatregel had minder effect op het veenbedrijf omdat dat bedrijf in de uitgangssituatie al bijproducten voerde. Op dit bedrijf heeft het extra voeren van bijproducten tot gevolg dat er meer gras wordt verkocht, en iets meer mest wordt afgezet. Op het zandbedrijf zorgt het voeren van 213 ton DS aan bijproducten voor een verlaging van 268 ton mestafzet, vanwege het 8 gram lagere RE-gehalte van het rantsoen met meer bijproducten en minder krachtvoer, gras en mais ten opzichte van de referentiesituatie.

Het toepassen van *grasklaver* zonder kunstmest, dat wil zeggen een reductie van 178 en 99 kg N per ha grasland op het klei en zandbedrijf, verlaagde de gras(klaver) opbrengst met 2,5 en 0,2 ton DS per ha op deze bedrijven. Het verschil in opbrengstderving komt voort uit het verschil in grondsoort (waarop op basis van veldproeven een andere grasklaver groeirespons wordt aangenomen), in combinatie met andere bemestingsniveaus van het grasland in de uitgangssituatie. Het kleibedrijf compenseert voor deze sterk verlaagde gewasopbrengst met de aankoop van snijmais en een verlaagde krachtvoergift, waardoor (ondanks het hogere RE-gehalte van de grasklaver) netto het RE-gehalte van het totale rantsoen daalt met 5 gram per kg DS. Op het zandbedrijf verandert de rantsoensamenstelling weinig, behalve dat het RE-gehalte van het rantsoen door de grasklaver stijgt met 7 gram.

Het verlagen van de *N-kunstmestgift*, met 107 en 40 kg N per ha grasland op het veen- en het kleibedrijf, verlaagde de grasopbrengst met 1,3 en 0,6 ton DS per ha. Op het veenbedrijf verlaagde dit de verkoop van graskuil en zorgde de lagere voederwaarde van het gras voor een daling van 14 gram van het RE-gehalte van het rantsoen. Op het kleibedrijf werden de lagere grasopbrengsten gecompenseerd met aangekocht mais en iets meer eiwitrijk krachtvoer, en daalde het RE-gehalte van het rantsoen met 7 gram.

Het verhogen van de *melkproductie* met 1.000 kg per koe verhoogde de aankoop van snijmais, graskuil en (eiwitrijk) krachtvoer op het klei- en zandbedrijf, en verlaagde de verkoop van graskuil op het veenbedrijf. Voor het kleibedrijf zorgde dit voor een verschuiving in het rantsoen, met relatief meer snijmais (+8%) en minder graskuil en krachtvoer (respectievelijk -6 en -2%). Voor alle bedrijfstypen leidt de verhoging van de melkproductie per koe tot een toename in de mestafzet.

Tabel 3.1 Technische resultaten van de drie bedrijfstypes in de uitgangssituatie (ref.), en veranderingen ten opzichte van deze uitgangssituatie bij het toepassen van de maatregelen voeren van bijproducten (bijprod), verhogen melkproductie (melk), grasklaver toepassen of kunstmest verlagen (klaver/kunstmest), en het totale maatregelpakket (pakket)

	Veen					Klei						Zand				
	Ref.	Bijprod	Melk	Kunstmest	Pakket	Ref.	Bijprod	Melk	Klaver	Kunstmest	Pakket	Ref.	Bijprod	Melk	Klaver	Pakket
Aantal koeien	88					110						151				
Melkproductie/koe (kg)	7.752		+1000		+1.000	9.007		+1.000			+1.000	10.225		+1.000		+1.000
Totale melkproductie (ton)	682		+88		+88	991		+110			+110	1.544		+151		+151
ha grasland	52,3					47,5						32,5				
ha maisland	0					9,4						17,4				
Netto opbrengst grasland (t ds/ha)	10,3		-0,2	-1,3	-1,6	11,4			-2,5	-0,5	-2,5	11,9	+0,1		-0,2	
N kunstmest grasland (kg N/ha)	127	-1	+3	-107	-103	182	+3	+5	-178	-40	-178	105	+9		-99	+3
Aankoop voer																
graskuil (t ds)	0					0						256	-53	+50	+9	-1
snijmais (t ds)	0				+70	11	-11	+87	+183	+38	+217	156	-56	+49	-1	-7
bijproducten (t ds)	59	+41			+43	0	+75				+75	0	+213			+213
krachtvoer (t)	196	-24	+5	+4	-35	295	-53	-5	-54	-11	-77	489	-127	-10	+4	-133
waarvan kv1 ^a	192	-23	+3	+4	-39	278	-54	-41	-106	-21	-137	371	-70	-64	+6	-132
waarvan kv2 ^a	1					12	+3	+6	+1	+1	+7	0				
waarvan kv3 ^a	3	-1	+2		+4	5	-2	+30	+51	+9	+53	118	-57	+54	-2	-1
Verkoop voer																
graskuil (t ds)	71	+20	-65	-68	-71	0						0				
Mestafzet (ton)	967	+50	+283	-61	+165	1.778	-8	+85	-147	-134	-160	3.530	-268	+378	+147	+115
Rantsoensamenstelling melkvee																
vers gras (%)	23	-1	-1	-1	-4	10						0				
graskuil (%)	46	-2	+2		-5	47		-6	-14	-3	-20	42	-3	+1		-2
snijmais (%)	0				+9	17	-3	+8	+19	+4	+20	27	-3	+1		-2
bijproducten (%)	8	+5	-1		+4	0	+7				+7	0	+14			+14
krachtvoer en melkpoeder (%)	23	-2		+1	-5	26	-4	-2	-5	-1	-7	31	-8	-3		-10
RE-gehalte (g/kg ds)	178	+2		-14	-19	169		-4	-5	-7	-11	163	-8	+3	+7	-4

a) krachtvoer 1, 2 en 3 refereert naar de voederwaarde, met name het eiwitgehalte, van het krachtvoer. Hierbij is de VEM voor alle drie de krachtvoerders gelijk: 940 VEM/kg en DVE als volgt: krachtvoer 1: 90 g/kg; krachtvoer 2: 120 g/kg; krachtvoer 3: 180g/kg

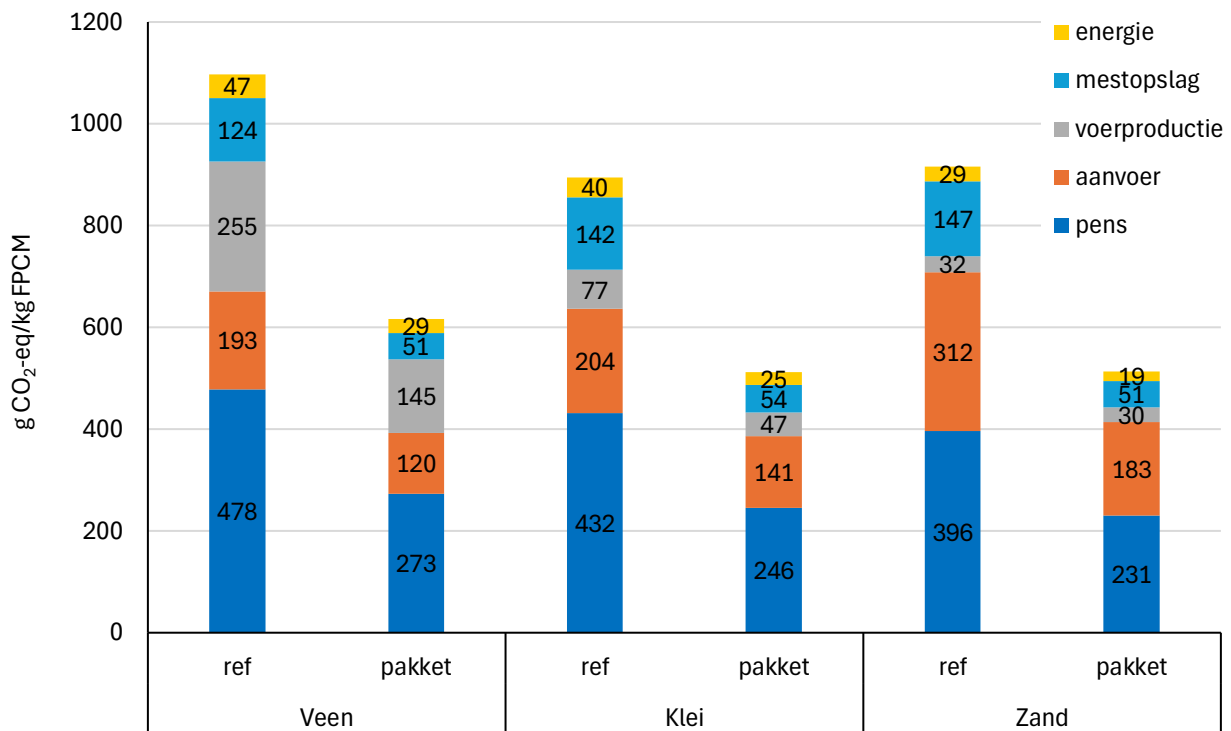
3.2 Effect totale pakket op BKG-emissies

Implementatie van het maatregelpakket verminderde BKG-emissies op de bedrijfstypen met 382 tot 480 g CO₂-eq/kg FPCM. Procentueel was de behaalde reductie van BKG-emissies door de pakketten 43% tot 44% (tabel 3.2).

Tabel 3.2 Effect van maatregelpakket op broeikasgasemissies per bedrijfstype ten opzichte van de referentiesituatie⁹

	Veen	Klei	Zand
Referentie (g CO ₂ -eq/kg FPCM)	1.097	894	917
Effect pakket (g CO ₂ -eq/kg FPCM)	480	382	404
Effect pakket (%)	44	43	44

Figuur 3.1 geeft inzicht in waar BKG-emissies optreden op de drie bedrijfstypen, en waar reducties van BKG-emissies worden gerealiseerd door het maatregelpakket. Voor alle bedrijven is pensfermentatie de grootste bron van BKG-emissies, gevolgd door ofwel voerproductie op het bedrijf zelf (veen) ofwel de aankoop van voer en kunstmest (klei en zand).



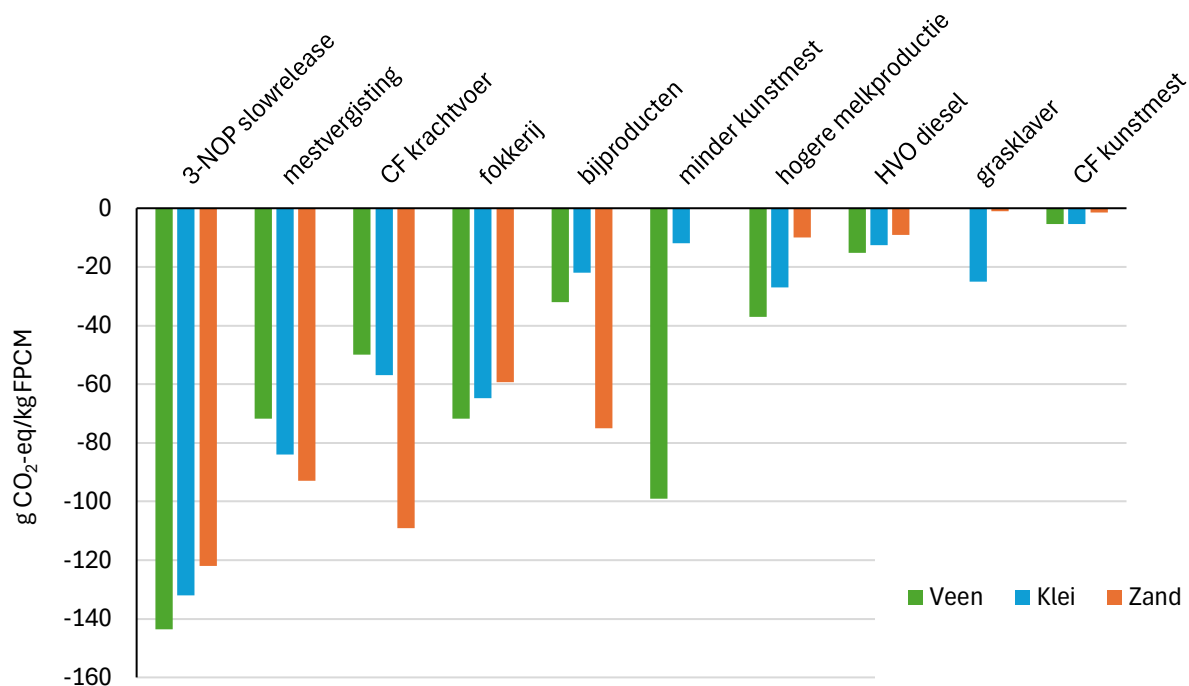
Figuur 3.1 Bronnen van BKG-emissies op de drie bedrijfstypen in de referentiesituatie (ref), en na toepassen van het maatregelpakket (pakket)

Het maatregelpakket hadden het grootste effect op de emissies per kg FPCM van pensfermentatie (-165 tot -205 g CO₂-eq). De emissiebron die vervolgens de grootste reductie liet zien verschilde tussen de bedrijfstypen. Voor het zandbedrijf waren dit de aanvoerbronnen (-129 g CO₂-eq), voor het kleibedrijf de mestopslag (-88 g CO₂-eq) en voor het veenbedrijf de voerproductie (-110 g CO₂-eq).

⁹ Voor het veenbedrijf zijn emissies uit veengrond niet meegenomen. Dit betreft 115 gram CO₂-equivalenten/kg FPCM uit N₂O, 46 gram CO₂-equivalenten/kg FPCM uit CH₄ en 510 gram CO₂-equivalenten/kg FPCM uit CO₂.

3.3 Effect van individuele maatregelen op BKG-emissies

In figuur 3.2 en tabel 3.3 staat het effect van de maatregelen op BKG-emissies voor de drie bedrijfstypen. De maatregelen zijn hierbij gerangschikt op volgorde van gemiddelde impact over de drie bedrijfstypen.



Figuur 3.2 Effect van individuele maatregelen op broeikasgasemissies van melkproductie per kg vet- en eiwit- gecorrigeerde melk (FPCM) ten opzichte van de referentie. Maatregelen zijn gerangschikt in gemiddeld effect op emissies over de drie bedrijfstypen

Tabel 3.3 Effect van individuele maatregelen op broeikasgasemissies van melkproductie per kg vet- en eiwit- gecorrigeerde melk (FPCM) ten opzichte van de referentie

Maatregel	Veen	Klei	Zand
3-NOP slow release	-143	-132	-122
mestvergisting	-72	-84	-93
CF krachtvoer	-50	-57	-109
fokkerij	-72	-65	-59
bijproducten	-32	-22	-75
minder kunstmest	-99	-12	n.v.t.
hogere melkproductie	-37	-27	-10
HVO-diesel	-15	-13	-9
grasklaver	n.v.t.	-25	-1
CF kunstmest	-5	-5	-1

Het grootste effect wordt op alle bedrijfstypen behaald met het voeren van het methaanremmend voeradditief 3-NOP (-122 tot -143 g CO₂-eq/kg FPCM). Dit betreft een dosering van 90 ppm, waarvan wordt aangenomen dat het additief blijft werken gedurende de weideperiode, terwijl het alleen in de stal wordt verstrekt (dus langwerkend of 'slow-release'). *Mestvergisting* realiseert op alle bedrijven een relatief grote reductie (-72 tot -93 g CO₂-eq/kg FPCM). Vanwege weidegang is er op het kleibedrijf en vooral op het veenbedrijf minder mest beschikbaar om te vergisten, waarvan ook wordt aangenomen dat die niet dagelijks maar wekelijks wordt opgehaald. Hierdoor is het effect van de maatregel voor deze bedrijven lager dan op het zandbedrijf. Ook

fokkerij op een lagere methaanemissie heeft een relatief grote impact, waarbij de absolute reductie groter is op het veenbedrijf vanwege het grotere aandeel gras en de afwezigheid van mais in het rantsoen.

Het verlagen van de *carbon footprint van krachtvoer* heeft een groter effect op BKG-emissies van het zandbedrijf dan op de andere twee bedrijfstypen. Dit is te verklaren door een hoger aandeel krachtvoer in het rantsoen (31% ten opzichte van 23% en 27%) met daarin een groter aandeel eiwitrijk krachtvoer (24% ten opzichte van <2%) op dit bedrijfstype (zie ook tabel 3). Hierdoor waren de emissies van krachtvoer in de uitgangssituatie veel hoger voor het zandbedrijf, en viel hier meer reductie te realiseren. De resultaten laten zien dat er een aanzienlijke potentie ligt om emissies te reduceren via aangekocht krachtvoer, waarbij vermeld moet worden dat de aangenomen reductie in carbon footprint ambitieus is. Om dezelfde redenen is het voeren van *bijproducten* een effectievere maatregel op het zandbedrijf, waar veel eiwitrijk krachtvoer vervangen kan worden door bijproducten.

De impact van aangekocht voer in de carbon footprint van melk

Een groot aandeel van de carbon footprint van melk wordt bepaald door het rantsoen. Het rantsoen op een melkveebedrijf heeft direct effect op de BKG-emissies vanuit pensfermentatie, aanvoer en voerproductie. In de berekeningen van de individuele maatregelen is te zien dat BKG-emissies van voer verlaagd kunnen worden via zowel veranderingen in het mengvoer als bij meer gebruik van bijproducten.

In de tabel zien we een aantal grondstoffen die vaak onderdeel zijn van het mengvoer voor melkvee en de drie bijproducten die tijdens deze studie zijn gebruikt om reductiepotentieel te tonen. De carbon footprint (CF) van met sojaschroot en raapzaadschroot zijn hoog in vergelijking met tarwe. In mengvoer wordt gebruikgemaakt van Round Table on Responsible Soy (RTRS) soja. Dit is een soja zonder ontbossing en hier worden de land use change emissies (LUC) niet meegenomen. Hiervan wordt de carbon footprint geschat op rond de 680 g CO₂-eq/kg DS. Voor de vergelijking is echter gekozen om gebruik te maken van de standaard sojaschroot. Bijproducten zijn vaak laag in droge stof (DS)-gehalte, maar hoog in energie (Voeder Eenheid Melk, VEM) en eiwit (Darm Verteerbaar Eiwit, DVE). Uitwisseling van deze producten kan niet 1 op 1 worden gedaan, maar moet op basis van voederwaarde worden bekeken.

Product	Droge stof (g/kg)	CF (g/kg DS)	VEM (/kg DS)	DVE (g/kg DS)
Sojaschroot bestendig	873	5.133	1.140	424
Sojaschroot HiPro RC<45g/kg	878	5.040	1.154	297
Raapzaadschroot	897	1.210	950	157
Tarwe	867	531	1.192	113
Maïs	863	695	1.257	112
Bierbostel	242	25	945	138
Perspulp	248	28	1.067	95
Aardappelstoomschillen	140	43	1.097	120

Bron: FeedPrint en CVB-tabel.

Het aanpassen van het rantsoen via aangekocht krachtvoer heeft in eerste instantie een effect op de BKG-emissies van de aanvoerbronnen. In onze referentiebedrijven lagen de BKG-emissies vanuit aanvoerbronnen (voer en kunstmest) tussen de 193 en 312 g CO₂-eq. In het maximale pakket (waarbij zowel bijproducten als een lagere CF van krachtvoer, maar ook een lagere kunstmestgift, zijn doorgerekend) daalt dit tot 120-183 CO₂-eq, een daling van 30-40%.

Het *verlagen van de kunstmestgift* was een erg effectieve maatregel op het veenbedrijf (-99 g CO₂-eq/kg FPCM). Hoewel de eigen grasproductie flink daalt door de lagere bemesting (-1,3 ton DS/ha), zorgt dit ook voor een verlaging van het RE-gehalte van het gras en het totale rantsoen, en worden de N₂O emissies bij bemesting op het eigen bedrijf verlaagd. Deze emissies zijn per kg N hoger op veengrond dan op minerale gronden.

Op het kleibedrijf zorgde toepassing van *grasklaver* voor een daling van emissies van 25 g CO₂-eq/kg FPCM. Dit netto-effect werd veroorzaakt door een flinke besparing in N-kunstmest en emissies van voerproductie,

met meer emissies van aankoop van mais en eiwitrijker krachtvoer, en minder pensfermentatie door een groter aandeel mais in het rantsoen. Bovendien resulteerde dit in een 5 gram lager RE-gehalte op rantsoen niveau. Op het zandbedrijf had het verbouwen van grasklaver nauwelijks effect op de BKG-emissies van melkproductie. Het zandbedrijf bespaarde minder kunstmest door het toepassen van grasklaver dan het kleibedrijf, door een lager bemestingsniveau in de uitgangssituatie en een kleiner areaal grasland. Verder werd er beperkt extra gras aangekocht, omdat de productie van het grasland op het zandbedrijf nagenoeg gelijk bleef, maar steeg het RE-gehalte van het rantsoen door het hogere RE-gehalte van de graskuil met 7 gram. Vanwege het te beperkte effect op BKG-emissies is deze maatregel niet meegenomen in het maatregelpakket op het zandbedrijf, en wordt de kosteneffectiviteit van deze maatregel niet besproken.

Het verhogen van de *melkproductie* met 1.000 kg per koe verlaagde emissies met 10 tot 37 g CO₂-eq/kg FPCM, en was het meest effectief op het veenbedrijf, waar de productie per koe relatief het meest steeg. Het toepassen van *HVO-diesel* koe verlaagde emissies met 9 tot 15 g CO₂-eq/kg FPCM, waarbij de effectiviteit het hoogst was op het veenbedrijf, en het laagst op het zandbedrijf. De hogere effectiviteit wordt verklaard door een hoger dieselverbruik per liter melk bij een groter aandeel van eigen voerproductie. *Kunstmest met een lage footprint* had een beperkte impact van 1 tot 5 g CO₂-eq/kg FPCM.

3.4 Integraliteit – effect van maatregelen op andere duurzaamheidskenmerken

Naast de aandacht voor klimaat en BKG-emissies heeft de melkveehouderij ook andere duurzaamheidsdoelen. Om te voorkomen dat verbeteringen op het ene vlak negatieve gevolgen hebben op een ander vlak, is er gekeken wat het effect van de maatregelen is op een aantal andere kritische prestatie indicatoren, zoals in paragraaf 2.3 besproken. De effecten op ammoniakemissie, N-bodemoverschot en eiwit van eigen land worden hieronder besproken. De ammoniakemissie is hierbij uitgesplitst in emissie in stal en opslag (in kg/gve) en emissie uit bemesting en beweiding (in kg/ha). Voor maatregelen die alleen effect hebben in de aanvoerketen (HVO-diesel, kunstmest en krachtvoer met een lage footprint), fokkerij, en voeradditief 3-NOP is aangenomen dat de maatregel geen effect heeft op de besproken duurzaamheidsdoelen op het eigen bedrijf. Het aandeel permanent, kruidenrijk of beheergrasland verandert niet, en de berekening geeft geen inzicht in mogelijke gevolgen voor diergezondheid of dierenwelzijn van de getroffen maatregelen. Mogelijke afwentelingen voor deze duurzaamheidskenmerken worden besproken in de discussie.

Tabel 3.4 Effect van de maatregelen op andere duurzaamheidskenmerken

Kenmerk	Bedrijfstype	Maatregelen				
		Bijprod	Minder kunstmest	Grasklaver	Melkproductie	Pakket
mutatie ammoniak/ha (bemesting en beweiding)	Veen	0	-5	nvt	0	-6
	Klei	+1	-1	-5	0	-6
	Zand	0	nvt	-4	0	0
mutatie ammoniak/GVE (stal en mestopslag)	Veen	0	-2	nvt	+1	-2
	Klei	0	-1	-1	0	-1
	Zand	-1	nvt	+1	+1	0
mutatie N-bodemoverschot	Veen	-3	-52	nvt	+3	-48
	Klei	+3	-8	-8	+17	+2
	Zand	+4	nvt	-25	-1	+2
mutatie eiwit eigen land	Veen	-3	-3	nvt	+1	-9
	Klei	-1	-3	-10	-6	-15
	Zand	+2	nvt	+2	-3	-1

In tabel 3.4 staan de effecten van de verschillende maatregelen op de ammoniakemissie, gesplitst in emissies uit stal en opslag (in kg/gve) en emissies uit bemesting en beweiding (in kg/ha), N-bodemoverschot en eiwit van eigen land voor de verschillende bedrijfstypen. De grootste veranderingen worden gezien met de maatregel *grasklaver*, de maatregel met *minder kunstmest* en het *totale pakket*.

De effecten op ammoniakemissie uit stal en opslag variëren tussen de +1 en -2 kg/gve, de ammoniakemissie uit bemesting en beweiding tussen de +1 en -6 kg/ha. Het effect op de ammoniakemissie van de afzonderlijke maatregelen is dus wisselend maar over het algemeen klein. Het effect op eiwit van eigen land varieert tussen +2 en -10% voor de afzonderlijke maatregelen en voor het totale pakket van -1 tot -15%. Dit effect komt met name omdat de bedrijven meer voer aankopen vanwege de hogere melkgift en voerbehoefte per koe. Voor mestvergisting zijn de effecten op ammoniak emissie niet opgenomen in de tabel. Een daling in ammoniakemissies van stal en opslag van ongeveer 2 kg/gve, en een toename in ammoniakemissies per ha van ongeveer 2 kg/ha. Deze effecten op ammoniakemissies staan momenteel ter discussie (effect van dichte vloeren en frequent ontmesten op ammoniak emissies); en hangen bij het toedienen van het digestaat sterk af van de aanname of het digestaat gescheiden of gemengd wordt uitgereden.

Het effect op N-bodemoverschot varieert +17 tot -52 voor de afzonderlijke maatregelen en van +2 tot -48 voor het totale maatregelpakket. De grote uitschieters hier zijn de maatregel minder kunstmest en het totale pakket van het veenbedrijf (respectievelijk -52 en -48), de maatregel grasklaver voor het zandbedrijf (-25) en de maatregel melkproductie bij het kleibedrijf (+17). Voor de maatregelen rondom lager kunstmestgebruik en grasklaver is het te verwachten dat je N-bodemoverschot daalt. De stijging van het N-bodemoverschot voor de maatregel melkproductie in het kleibedrijf ontstaat door een iets hogere bemesting per ha grasland.

3.5 Economische resultaten van maatregelen

In deze paragraaf worden de economische effecten van maatregelen en het maatregelpakket toegelicht voor de drie bedrijfstypen. Hierbij is een economisch effect in euro/bedrijf/jaar berekend op basis van opbrengsten uit productie, toegerekende kosten en niet toegerekende kosten (tabel 3.5). De resultaten worden afgezet tegen de referentie. Omdat maatregelen elkaar beïnvloeden, zijn de kosten van het totaalpakket niet gelijk aan de som van de losse maatregelen. Het netto economisch effect van het maatregelpakket varieerde van circa € 28 duizend tot € 43 duizend per bedrijf per jaar (tabellen 3.5 i tot en met 3.5 iii). Per 100 kg melk was dit -€ 2,51 tot -€ 3,91 (zie bijlage 3).

3.5.1 Effecten op kosten en opbrengsten per maatregel

Het netto economisch effect van maatregelen varieert van een negatief effect van € 21 duizend tot een positief effect van circa € 11 duizend per maatregel per bedrijf (tabel 3.6). Hierbij leverden het verhogen van de melkproductie geld op voor alle bedrijfstypen (+€ 3 duizend tot +€ 9 duizend per bedrijf), evenals het toepassen van grasklaver op het kleibedrijf (+€ 4 duizend per bedrijf), en het verlagen van de kunstmestgift op grasland (+€ 1 duizend). Voor fokkerij was aangenomen dat er geen kosten aan de maatregel verbonden zijn, omdat enkel het fokdoel wordt aangepast. De overige maatregelen kosten geld, waarbij geen rekening is gehouden met eventuele vergoedingen voor gebruik van producten met een lage CF of producten om emissies te verlagen. De duurste maatregelen op bedrijfsniveau zijn het voeren van methaanremmend voeradditief 3-NOP, mestvergisting, en het voeren van krachtvoer met een lage footprint.

Het voeren van (meer) *bijproducten* aan lacterende koeien verhoogt de kosten voor de aankoop van bijproducten en verlaagt de kosten voor de aankoop van krachtvoer. Netto leidt dit voor alle bedrijfstypen tot hogere voerkosten van € 4 duizend tot € 6 duizend per bedrijf. Niet toegerekende kosten stijgen iets op het veenbedrijf en het kleibedrijf door hogere kosten voor werktuigen, zelfstandige materialen en gebouwen, met lagere kosten voor werk door derden, en op het veenbedrijf ook vanwege hogere mestafzetkosten.

Het toepassen van *grasklaver* op het kleibedrijf verlaagt de kosten voor aankoop van kunstmest (-€ 13 duizend), en verhoogt de kosten voor de aankoop van ruwvoer (+€ 23 duizend) (met € 13 duizend

lagere krachtvoerkosten), wat netto resulteert in € 2 duizend lagere toegerekende kosten. De overige niet toegerekende kosten vallen € 2 duizend lager uit. Op het zandbedrijf dalen de kosten voor aankoop van kunstmest minder (-€ 4 duizend), vanwege de lagere kunstmestgift in de referentie en het kleinere areaal grasland ten opzichte van het kleibedrijf; stijgen de voerkosten minder (+€ 3 duizend); en stijgen de mestafzetkosten (+€ 3 duizend).

Het *verlagen van de kunstmestgift* op grasland verlaagt de opbrengsten op het veenbedrijf vanwege de verminderde verkoop van graskuil (-€ 6 duizend). Deze daling in opbrengsten en iets hogere voerkosten worden gecompenseerd door lagere kosten voor de aankoop van kunstmest (-€ 9 duizend).

Het verhogen van de *melkproductie* met 1.000 kg per koe door fokkerij en management verhoogt op alle bedrijven de inkomsten uit melk (met 47 cent per kg melk), en resulteert op alle bedrijven in een nette positief effect. Op het veenbedrijf verlaagt deze maatregel de inkomsten uit verkoop van graskuil (-€ 6 duizend) en stijgen de voerkosten iets. Op het kleibedrijf en zandbedrijf stijgen de voerkosten meer. Op alle bedrijven stijgen de niet toegerekende kosten vanwege de aangenomen investering in koe comfort in de stal (€ 14-23 duizend per bedrijf), het leasen van extra fosfaatrechten (€ 3-4 duizend per bedrijf). Overige niet-toegerekende kosten omvatten extra eigen arbeid en advieskosten (€ 5,5 duizend per bedrijf) en de extra mestafzetkosten (€ 2-8 duizend per bedrijf).

Mestvergisting zorgde voor vergelijkbare kosten op de drie bedrijfstypen; die op het veenbedrijf en kleibedrijf bestonden uit investeringen, en op het zandbedrijf ook uit kosten voor stroom, arbeid, en mesttransport.

Voor de *overige maatregelen* zijn er enkel toegerekende kosten voor de aanschaf van het voeradditief (3-NOP) of additionele toegerekende kosten voor het aanschaffen van een gelijkwaardig product (diesel, kunstmest, krachtvoer) met een lagere footprint van toepassing. Behalve de footprint wordt aangenomen dat deze maatregelen geen impact hebben op de technische prestaties van het bedrijf. De kosten lopen op wanneer de producten in grote hoeveelheden worden gebruikt, wat met name geldt voor 3-NOP en krachtvoer, en niet zozeer voor diesel en kunstmest (zie tabel 3.6).

3.5.2 Kosteneffectiviteit van maatregelen

In tabel 3.5 is per maatregel de broeikasgasemissie-reductie in ton CO₂-equivalenten per bedrijf per jaar weergegeven; en de kosteneffectiviteit als de netto kosten per ton reductie. In totaal werd door het maatregelpakket 395 tot 730 ton BKG-emissies per bedrijf gereduceerd op jaarbasis; voor een gemiddelde prijs van € 59 tot € 76 per ton reductie.

Op basis van de losse maatregelen werd een kwart tot een derde van de reductie behaald door het toepassen van het voeradditief *3-NOP*, tegen een redelijk stabiele prijs van circa € 100 per ton reductie. Op het zandbedrijf werden de daarna grootste reducties behaald door *krachtvoer met een lage footprint en mestvergisting*, met prijzen van circa € 70 per ton reductie. Op het veenbedrijf en het kleibedrijf hadden deze maatregelen een iets kleinere impact, met een lagere kosteneffectiviteit. De hogere kosten worden verklaard door de aangenomen investeringen, zonder opbrengsten, bij het toepassen van mestvergisting door derden voor deze bedrijven; en door het lagere eiwitgehalte en de daaraan verbonden lagere footprint van het oorspronkelijke krachtvoer op deze bedrijven. Om dezelfde reden is de reductie van emissies door krachtvoer te vervangen door *bijproducten* groter en gunstiger op het zandbedrijf dan op de andere twee bedrijfstypen. Krachtvoer met een lage footprint en bijproducten vervangen allebei dezelfde krachtvoerders en emissies daarvan, waardoor deze maatregelen in het pakket een kleiner effect hebben dan de losse maatregelen bij elkaar.

Met *fokkerij op methaan* kan op langere termijn mogelijk een flinke reductie van 52 tot 98 ton BKG-emissies per jaar worden gerealiseerd. De aanname in deze analyse is dat aan deze reductie geen extra kosten verbonden zijn, en dat fokken op lagere methaanemissies niet ten koste gaat van andere fokdoelen. Het *verlagen van de N-kunstmestgift* op grasland was op een na de effectiefste maatregel op veen, met een reductie van 72 ton BKG-emissies. Op het kleibedrijf was de het toepassen van *grasklaver* effectiever dan het verlagen van de kunstmestgift, met een reductie van 26 ton BKG-emissies. Beide maatregelen leverden

geld op. Een *hogere melkproductie* resulteerde in een besparing van 18 tot 32 ton BKG-emissies per jaar, en leverde op alle bedrijfstypen flink geld op. Hierbij moet de kanttekening geplaatst worden dat deze maatregel, evenals de maatregelen die de eigen voerproductie verlaagden (minder kunstmest en grasklaver), gevoelig zijn voor de prijs van aangekocht voer. Met name wanneer flink meer voer wordt aangekocht, kan een kleine prijsschommeling daarin een grote impact hebben op het netto economisch effect en de kosteneffectiviteit van de maatregel.

Met *HVO-diesel* kon op bedrijven 11 tot 15 ton BKG-emissies bespaard worden voor € 78 per ton; met *N-kunstmest met een lage footprint* kan nog een verdere 2 tot 6 ton BKG-emissies bespaard worden voor circa € 250 per ton.

Tabel 3.5 i, ii, iii Economische resultaten in euro per bedrijf bij de verschillende losse maatregelen en het maatregelpakket (pakket) voor de drie bedrijfstypen

i. Bedrijfstype: Veen	Bijprod	Minder kunstmest	Melkprod.	Pakket
Mutatie jaaropbrengsten en -kosten (in duizend € /bedrijf)				
Opbrengsten uit primaire productie (melk, vlees, ruwvoer) (a)	1,9	-6,2	35,5	34,9
TOTAAL OPBRENGSTEN	1,9	-6,2	35,5	34,9
Toegerekende kosten (aankoop veevoer, meststoffen, etc.) (d)	6,1	-7,3	2,8	20,4
Niet toeg. kosten als gevolg van investering (onderh., verz., afschr. en rente) (e)	1,0	1,1	18,6	35,6
Overige niet toegerekende kosten (f)	0,9	-1,2	11,5	9,0
TOTAAL KOSTEN	8,0	-7,5	33,0	65,0
Netto economisch effect (=a+b+c-d-e-f)	-6,1	1,3	2,5	-30,1

ii. Bedrijfstype: Klei	Bijprod	Klaver	Melkprod.	Pakket
Mutatie jaaropbrengsten en -kosten (in duizend0 € /bedrijf)				
Opbrengsten uit primaire productie (melk, vlees, ruwvoer) (a)	2,4	0,0	51,7	51,9
TOTAAL OPBRENGSTEN	2,4	0,0	51,7	51,9
Toegerekende kosten (aankoop veevoer, meststoffen, etc.) (d)	3,8	-1,9	12,4	39,6
Niet toeg. kosten als gevolg van investering (onderh., verz., afschr. en rente) (e)	1,8	1,0	22,6	37,6
Overige niet toegerekende kosten (f)	-0,4	-3,1	7,6	2,3
TOTAAL KOSTEN	5,2	-4,0	42,6	79,6
Netto economisch effect (=a+b+c-d-e-f)	-2,9	4,0	9,1	-27,6

iii. Bedrijfstype: Zand	Bijprod	Klaver	Melkprod.	Pakket
Mutatie jaaropbrengsten en -kosten (in 1.000 € /bedrijf)				
Opbrengsten uit primaire productie (melk, vlees, ruwvoer) (a)	0,0	0,0	71,0	71,0
TOTAAL OPBRENGSTEN	0,0	0,0	71,0	71,0
Toegerekende kosten (aankoop veevoer, meststoffen, etc.) (d)	5,5	-0,7	15,4	55,0
Niet toeg. kosten als gevolg van investering (onderh., verz., afschr. en rente) (e)	5,7	0,3	34,6	50,7
Overige niet toegerekende kosten (f)	-5,9	2,9	13,8	8,0
TOTAAL KOSTEN	5,3	2,6	63,8	113,7
Netto economisch effect (=a+b+c-d-e-f)	-5,3	-2,6	7,2	-42,7

Tabel 3.6 Reductie van broeikasgasemissies en verandering in netto economisch effect ten opzichte van de referentie, en euro per ton reductie bij toepassing van maatregelen voor de drie bedrijfstypes (veen, klei en zand)

Variabele	Bedrijfstype	Maatregelen										
		3-NOP slowrelease	Mestvergisting	CF krachtvoer	Fokkerij	Bijproducten	Minder kunstmest	Hogere melkproductie	HVO-diesel	Grasklaver	CF kunstmest	Pakket
Reductie BKG-emissies (g CO ₂ /kg FPCM)	Veen	143	72	50	72	32	99	37	15		5	480
	Klei	132	84	57	65	22	12	27	13	25	5	382
	Zand	122	93	109	59	75		10	9	1	1	404
Totale BKG-reductie (ton CO ₂ -eq)	Veen	104	52	36	52	23	72	30	11		4	395
	Klei	140	89	60	69	23	13	32	13	26	6	449
	Zand	201	153	180	98	124		18	15	2	2	730
Netto economisch effect (duizend €/bedrijf)	Veen	-10	-12	-5	0	-6	1	2	-1		-1	-30 a)
	Klei	-14	-12	-7	0	-3	1	9	-1	4	-1	-28 b)
	Zand	-21	-11	-12	0	-5		7	-1	-3	-1	-43
Kosten emissiereductie (€/ton CO ₂ -eq)	Veen	100	231	135	0	264	-18	-81	78		250	76 a)
	Klei	101	136	122	0	123	-45	-287	78	-150	250	62 b)
	Zand	103	70	68	0	43		-398	78	- c)	250	59

a) netto bedrijfseconomisch effect is weergegeven met aangenomen investeringskosten van € 100 duizend in stalaanpassingen om dagontmesting mogelijk te maken. Bij aangenomen kosten van € 50 duizend tot € 200 duizend variëren de kosten van emissiereductie van € 61 tot € 107 per ton CO₂-eq; b) netto bedrijfseconomisch effect is weergegeven met aangenomen investeringskosten van € 100 duizend in stalaanpassingen om dagontmesting mogelijk te maken. Bij aangenomen kosten van € 50 duizend tot € 200 duizend variëren de kosten van emissiereductie van € 48 tot € 88 per ton CO₂-eq; c) De reductie van BKG-emissies van deze maatregel was per kg FPCM slechts 1 g CO₂-eq; de kosteneffectiviteit van de maatregel is daarom niet berekend.

4 Discussie

Deze analyse is onderdeel van de Publieke-Private Samenwerking (PPS) 'Low Carbon Dairy'. In dit project wordt gewerkt aan een verlaging van BKG-emissies van het melkveebedrijf in samenwerking met twee zuivelketens en diverse ketenpartners. Het doel is om voor beide zuivelketens 50% reductie van BKG-emissies per liter melk te behalen in 2030, ten opzichte van de referentiejaren 2015 (CONO kaasmakers) en 2018 (Vreugdenhil Dairy Foods). Om te onderzoeken in hoeverre het doel van 50% reductie kan worden gerealiseerd, richt deze studie zich op het doorrekenen van een vergaand maatregelpakket voor drie verschillende bedrijfstypen.

4.1 Reductiedoel in zicht?

Maatregelpakket levert forse reductie, maar 50% nog buiten bereik

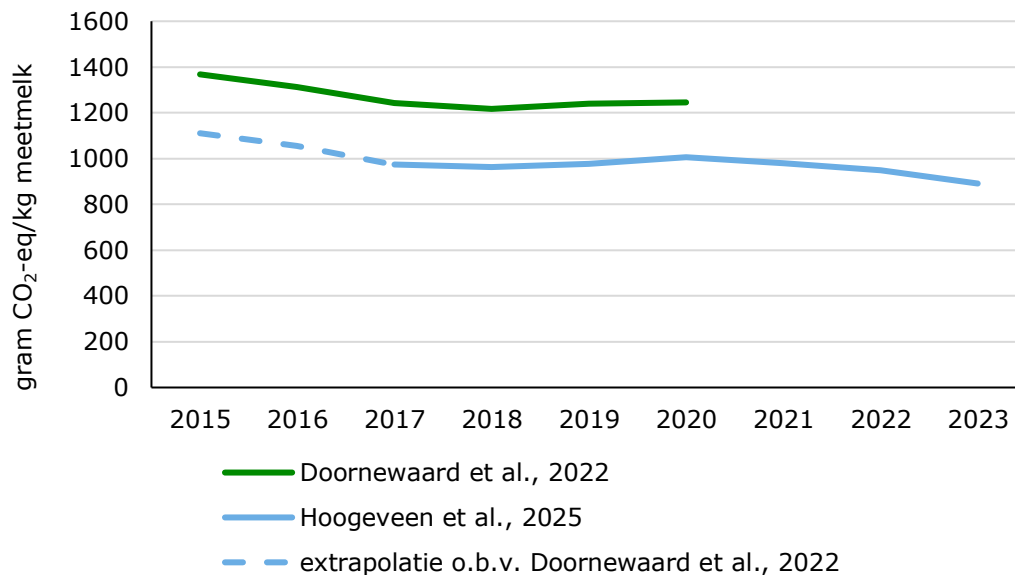
De totale emissiereductie die wordt behaald met het maatregelpakket op de drie bedrijfstypen is 382 tot 480 gram CO₂-equivalenten per kg FPCM, ofwel 43-44%. Hierin worden met name emissies van pensfermentatie en mestopslag verlaagd op alle bedrijfstypes, en liggen de accenten anders in welke maatregelen voor grote reductie zorgen voor de drie bedrijfstypes.

De reductiedoelen van de ketens richten zich op 2030. Voor 2030 is de berekende reductie voor de bedrijfstypen te optimistisch ingeschat. Zo is de circa 60 gram reductie in pensfermentatie door fokkerij in 2030 nog niet volledig gerealiseerd. Deze inschatting laat de potentie zien als de reductie oploopt naar een structurele reductie van 15% van de emissies van pensfermentatie, die in kleine stapjes per jaar rond 2050 kan worden gerealiseerd (Vellinga, 2023; De Haas et al., 2021). Daarnaast betreft de berekening een theoretisch haalbare reductie, die in de praktijk afhangt van goede uitvoering van de maatregelen.

Wat betreft realisatie van de maatregelen in de praktijk is de reductie via verhoogde melkproductie en mestvergisting ook afhankelijk van fokkerij, vergunningverlening en investeringen; en het is onzeker of een langdurig werkend additief 3-NOP in 2030 beschikbaar is. Met name voor extensieve bedrijven met veel weidegang is het handelingsperspectief op dit moment in de praktijk beperkt. De reducties zijn daar namelijk afhankelijk van het beschikbaar komen van een langdurig werkend 3-NOP additief, en het realiseren van mestvergisting door derden. Bij het zandbedrijf zijn alle maatregelen praktisch toepasbaar, met de kanttekening dat het effect van fokkerij pas op termijn zichtbaar wordt.

Autonome ontwikkeling in carbon footprint

In de praktijk ontwikkelde de Nederlandse melkveehouderij door, en daalden de emissies per kg melk over de periode vanaf het referentiejaar van de ketens (2015 of 2018) tot nu. Veranderingen in mestwetgeving, fosfaat regels en dergelijke sturen naar optimalisatie, waardoor de emissies dalen. Vanuit de jaarlijkse sectorrapportage kan een inschatting worden gemaakt van de grootte van deze autonome ontwikkeling. Door deze inschatting heen speelt een verandering in de berekeningen: tot 2020 werd de inschatting van de carbon footprint van een kg meetmelk bepaald op basis van het Bedrijveninformatienet met een eigen berekening (Doornewaard et al., 2022); en over 2017-2023 is deze berekend op KWL-data met de meest recente KWL-berekening 2023.14 (Hoogeveen et al., 2025). Op basis van deze sectorrapportages, kan een reductie worden geschat van 132 gram in 2021 ten opzichte van 2015 of een toename van 16 gram ten opzichte van 2018 (zie figuur 4.1). Uitgedrukt in procenten komt de geschatte autonome daling tussen 2015 en 2021 uit op 12%, met een lichte stijging van 1,7% voor de periode 2018 tot 2021. Wanneer de autonome ontwikkeling sinds 2015 bij het maatregelpakket wordt opgeteld zou voor alle bedrijfstypen het 50% reductiedoel theoretisch haalbaar kunnen zijn, met de kanttekening dat het effect van fokkerij pas later in werking treedt en het aangenomen voeradditief nog niet in de praktijk beschikbaar is. Met het referentiejaar in 2018 is ook theoretisch het reductiedoel nog niet behaald.



Figuur 4.1 Autonome ontwikkeling van de carbon footprint op het gemiddelde bedrijf per kg meetmelk, op basis van de jaarlijkse sectorrapportage. Vanwege een verandering in de berekening zijn de jaren voor 2015 en 2016 geëxtrapoleerd door het gemiddelde verschil tussen de twee databronnen over 2017-2020 op de resultaten van Doornewaard et al. (2022) in mindering te brengen

Sectorbrede toepassing van het maatregelpakket is niet vanzelfsprekend

Voor sommige afzonderlijke maatregelen is sectorbrede toepassing ingewikkeld. Door mestvergisting uit te besteden aan derden, is de beschikbaarheid van de techniek realistischer voor kleinere bedrijven, waarvoor zelf investeren in (collectief) vergisten te duur zou zijn. Mogelijke belemmeringen liggen in de administratie rondom mestafvoer en de extra mesttransporten. Of dat overal is toegestaan is buiten beschouwing gelaten; wel zijn er praktijkvoorbeelden waar vergisting door derden wordt toegepast. De bijmengverplichting van groen gas biedt qua verdienmodel wel enig perspectief (zie paragraaf over mestvergisting). Maar ook collectieve mestvergisting is niet eenvoudig, zowel qua samenwerking als qua vergunningverlening. Wat inputs voor het melkveebedrijf betreft is de vraag of aan de extra inzet van bijproducten en krachtvoer, brandstof en kunstmest met een lage footprint kan worden voldaan. In de berekeningen is al een aanname gedaan voor hogere prijzen, maar het is de vraag of de producten in voldoende mate beschikbaar zullen zijn. Het is de verwachting dat bijproducten niet voor elk bedrijf beschikbaar zijn; en dat de gestelde reductie van de footprint van krachtvoer ambitieus is.

Daarnaast is het de vraag of het doorgerekende maatregelpakket past bij alle bedrijfstypen én typen melkveehouders die in de sector voorkomen. Eerder is al geconstateerd dat de 'onzekere' maatregelen (langdurig werkend 3-NOP en fokkerij) erg relevant zijn voor het meest extensieve bedrijf dat veel weidegang toepast. Ook mestvergisting ligt voor dit type bedrijf het minst voor de hand. Als deze maatregelen niet geïmplementeerd worden dan komt dit bedrijf duidelijk minder ver in de reductie. Daarnaast hebben melkveehouders ook duidelijk hun eigen voorkeuren voor een bepaald type bedrijfsvoering. Niet iedereen wil inzetten op inzet van technologie, of dit nu mestvergisting is of het gebruik van voeradditieven. De kans is groot dat met name melkveehouders die in willen zetten op een natuurinclusieve of regeneratieve bedrijfsvoering terughoudend zullen zijn ten aanzien van dit soort maatregelen. Daarnaast is het imago van de melkveehouderij een mogelijk punt van zorg: een aankondiging over een pilot met 3-NOP in het Verenigd Koninkrijk leidde tot onrust op sociale media (Arla, 2024).

Is er (in de toekomst) meer mogelijk?

In algemene zin is er veel in ontwikkeling rond het verlagen van BKG-emissies. Er wordt onderzoek gedaan naar afvangen van methaan in de stal en in de mestopslag. Er wordt gewerkt aan additieven voor mest en aan nieuwe voeradditieven en technologieën die de pensfermentatie beïnvloeden. Lang niet alle innovaties op dit vlak zullen daadwerkelijk doorbreken, maar een aantal zal ongetwijfeld de weg naar de praktijk vinden.

Een belangrijk punt tot nu toe is dat veel van de maatregelen leiden tot hogere kosten of lagere opbrengsten. Dit zorgt voor een rem op de toepassing.

Het sturen op ruw eiwitgehalte kan ook worden gezien als een maatregel op zichzelf (Van der Esch et al., 2025). Een lager ruw eiwitgehalte in het rantsoen van melkvee leidt tot minder stikstofexcretie en ammoniakuitstoot, wat bijdraagt aan het verminderen van BKG-emissies uit mest. Het effect van deze maatregel op BKG-emissies hangt onder andere af van de melkproductie per koe, het type mestopslag, weidegang en eiwitbenutting. In Nederland is een convenant gesloten tussen melkveehouders, de zuivelsector en diervoederbedrijven om het gemiddelde ruw eiwitgehalte te verlagen naar maximaal 160 g/kg droge stof in 2025 en 158 g/kg in 2026 (NZO, 2025).

Daarnaast is er mogelijk compensatie van BKG-emissies mogelijk. We hebben in de huidige berekeningen geen koolstofvastlegging meegenomen. Dat zou emissies kunnen compenseren, zoals dat ook in de nationale scenario berekeningen gebeurt om de restemissies van de biologische processen van landbouw te compenseren (Van der Esch et al., 2025). De koolstofvastlegging is daarbij aangenomen in bos en groenblauwe dooradering.

4.2 Economische impact

Het is voor de economische haalbaarheid en langetermijnstrategie van bedrijven belangrijk om in de evaluatie van maatregelen onderscheid te maken tussen investeringen en blijvende kosten. Maatregelen zoals 3-NOP en producten met een lage footprint vragen (vrijwel) geen investeringen, maar resulteren wel in blijvende kosten. Deze maatregelen hebben ook geen andere positieve effecten die resulteren in kostenbesparingen of meeropbrengsten. Dit betekent in de praktijk dat deze maatregelen alleen zullen worden toegepast als hier een beloning tegenover staat óf het moet als eis worden gesteld. In de huidige rapportage is gerekend met huidige prijzen. Eventuele prijswijzigingen in de toekomst zijn niet meegenomen.

Maatregelen met transitiekosten zoals een investering in mestvergisting bieden op termijn mogelijk een eigen verdienmodel waarbij structurele kosten voor arbeid, stroom, rente, afschrijving en onderhoud mogelijk worden gecompenseerd door opbrengsten voor groen gas, maar zijn minder toegankelijk zonder samenwerking. Wanneer vergisting wordt uitbesteed aan een derde partij, kunnen ook kleinere bedrijven deelnemen zonder zelf te investeren of specialistische kennis op te bouwen. Er is niet meegenomen hoe deze mestafvoer boekhoudkundig moet worden verantwoord. Mestvergisting door derden vergroot de totale emissiereductie, maar vraagt om een verdienmodel voor de melkveehouder en om duidelijke afspraken over wie de reductie mag toerekenen. Dit soort samenwerkingen zijn niet eenvoudig vorm te geven en er moet voor potentiële deelnemers een langetermijnperspectief zijn voordat ze hierin zullen stappen. Een mogelijk probleem voor (collectieve) mestvergisting is dat bedrijven met beweiding geen constante meststroom kunnen leveren door het jaar heen omdat in de weideperiode minder mest in de kelder komt.

In het uitgevoerde rekenwerk is geen rekening gehouden met de verschillende beloningssystemen voor betere duurzaamheidsprestaties. De beloningssystemen van de zuivelverwerkers verschillen onderling behoorlijk. De trend in de afgelopen jaren is dat er meer aandacht is voor het belonen van een lagere footprint. Eventuele meeropbrengsten vanuit deze beloningssystemen zijn dus niet meegenomen, de berekende meerkosten laten echter zien dat die wel essentieel is om het economisch rond te zetten. Het kan bij de huidige beloningssystemen om substantiële bedragen gaan. Sommige systemen komen op een beloning van 5-6 cent per kg melk uit, voor een bedrijf dat 1 miljoen kg produceert gaat het dan om € 50.000 tot € 60.000. Daarbij is het dan ook zaak om goed op eventuele negatieve effecten te letten voor andere indicatoren uit deze systemen. De berekende impact op aandeel eiwit van eigen land is hier een voorbeeld van.

4.3 Variatie in de praktijk

In de praktijk komen tussen melkveebedrijven grote verschillen voor in de carbon footprint per kg meetmelk. De bandbreedte van de middelste 90% van de bedrijven varieert van 749 tot 1190 gram CO₂-equivalenten per kg meetmelk (Hoogeveen et al., 2025). Hierbij zorgt onder andere een groter aandeel veengrond voor een hogere carbon footprint, vanwege de hogere lachgas-emissies uit de bodem. Binnen klassen met een vergelijkbaar aandeel veengrond is de bandbreedte in de carbon footprint van de 50% gemiddelde bedrijven (P25-75) zo'n 200 à 300 gram CO₂-equivalenten per kg meetmelk (Hoogeveen et al., 2025).

Een deel van deze variatie zal veroorzaakt worden door de verschillen in management; waarbij een lagere carbon footprint wordt gerealiseerd door veehouders die bijvoorbeeld een hogere voerefficiëntie of beter graslandmanagement realiseren. Dit kan als goede landbouwpraktijk (GLP) worden gezien. In deze gemiddelde resultaten zitten nog steeds bedrijven die onderling behoorlijk verschillen in bedrijfsopzet en bedrijfsvoering.

In de doorrekening in BBPR waar hier over wordt gerapporteerd worden bedrijfstypen normatief doorgerekend, waarbij aangenomen is dat alles in principe volgens GLP verloopt. Het is mogelijk dat bedrijven in de praktijk boven de normatieve berekening uit komen, dus beter presteren dan de berekeningen in BBPR, omdat de omstandigheden beter zijn of de uitvoering nog beter is gedaan dan in de proeven waarop BBPR gebaseerd is. Gemiddeld genomen kan een melkveebedrijf in de praktijk waarschijnlijk meer verbeteren wat betreft carbon footprint dan het doorgerekende bedrijfstype, omdat zij via verbetering van de bedrijfsvoering dichterbij GLP kunnen komen. Het gaat daarbij om een theoretisch 'optimum', dat voor de meeste bedrijven lastig haalbaar zal zijn.

Dit maakt het lastig om een inschatting te kunnen maken of en hoeveel bedrijven met een hogere carbon footprint hun bedrijfsvoering kunnen verbeteren. Om een inschatting te kunnen maken hoeveel een gemiddeld bedrijf zijn carbon footprint kan verlagen door het toepassen van GLP is het noodzakelijk om bedrijven te groeperen in homogene klassen qua bedrijfstypen en of bedrijfsvoering, om vervolgens daarbinnen de bandbreedte te analyseren.

4.4 Bedrijfsdoelen versus nationale doelen voor emissiereductie

Zowel de overheid als het bedrijfsleven sturen op de reductie van emissies van de melkveehouderij. Dit doen ze echter op twee verschillende manieren. De overheid stuurt op de emissies van de landbouw, waarbij de sector geografisch is afgebakend in Nederland, en binnen Nederland de emissies gerelateerd aan bijvoorbeeld energiegebruik zijn ondergebracht in andere sectoren. De sector kijkt met een levenscyclusanalyse naar de emissies van de productie van een kg melk (Vonk et al., 2021).

Een deel van de maatregelen in dit pakket draagt bij aan reductie van zowel nationale als ketenemissies. Mestvergisting, 3-NOP, fokkerij, en de lagere lachgasemissies van een lagere N-kunstmestgift dragen zowel bij aan emissiereductie in de keten als aan reductie van nationale emissies uit de landbouw. Bij de lagere kunstmestgift zijn de lagere emissies van de productie van kunstmest niet meegenomen in de nationale emissies, deze zijn ondergebracht in een andere sector. Een deel van de maatregelen speelt geen rol in de reductie van nationale emissies: wanneer aangekocht krachtvoer van buiten Nederland wordt aangevoerd, maakt het voor de nationale emissies niet uit of hierin een lagere carbon footprint wordt gerealiseerd. Hetzelfde geldt voor HVO-diesel en kunstmest met een lage footprint, die als de productie in Nederland plaats zou vinden in een andere sector dan landbouw worden gerapporteerd. Twee maatregelen kunnen, hoewel ze bijdragen aan de reductie van footprint per kg melk, negatief uitpakken op nationaal niveau. Een hogere melkproductie per koe verlaagt namelijk de emissies per kg melk, maar verhoogt door een grotere totale melkproductie op het bedrijf de absolute emissies in Nederland. Het voeren van bijproducten, in plaats van aangekocht krachtvoer uit het buitenland, maakt dat de (lagere) emissies die worden toegeschreven aan bijproducten worden gerekend in de Nederlandse landbouw sector; terwijl de emissies van het krachtvoer in de eerste plaats niet werden meegenomen.

4.5 Afwentelingen

Toename in aangekocht voer, lager eiwit van eigen land

Het totale maatregelpakket leidt op alle bedrijfstypen tot een grotere afhankelijkheid van aangekocht voer, wat terug te zien is in verlaging van eiwit van eigen land. Dit is een logisch gevolg van met name de hogere melkproductie en energiebehoefte per koe bij een gelijk aantal koeien. Vanwege de grotere hoeveelheid bijproducten in het maatregelpakket wordt er echter niet meer krachtvoer aangekocht dan in de uitgangssituatie. Dat is een belangrijk gegeven, omdat de aankoop van krachtvoer sterk bepalend is voor de gevolgen voor mondiale biodiversiteit (Martinez-Ramon et al., 2024). Bij opschaling kan deze strategie grotere gevolgen hebben. De hogere vraag naar mais op sectorniveau kan zorgen voor een groter nationaal aandeel maisproductie, wat ten koste kan gaan van de hoeveelheid (permanent) grasland. De hogere vraag naar bijproducten leidt niet tot een hogere beschikbaarheid van bijproducten; en kan daarmee weer leiden tot een hogere vraag naar krachtvoerproducten met de bijkomende risico's voor wereldwijde biodiversiteit.

Daarnaast kan de afhankelijkheid van (meer) aangekocht voer ook zorgen voor een groter financieel risico voor de melkveehouder. Bij de maatregelen lagere bemesting en het toepassen van grasklaver was de uitwisseling van minder aangekochte kunstmest en lagere grasproductie tegen meer aangekocht voer in de huidige berekening economisch gunstig. Bij stijgende voerkosten ten opzichte van kunstmestkosten kan het voordeel echter snel omslaan in een nadeel. De modelberekeningen gaan uit van bepaalde vaste aankooprijzen voor mais en kunstmest, terwijl deze in praktijk sterk kunnen fluctueren.

De eigen N-bodembalans is op het veenbedrijf sterk verbeterd door de lagere N-kunstmestgift, ten koste van een hogere ruwvoeraankoop. Via extra aankoop kunnen milieuconsequenties van ruwvoerteelt gedeeltelijk of totaal verplaatst worden naar een andere locatie. In het geval van het veenbedrijf kan het dat dit netto tot minder BKG-emissies leidt, omdat bemesting van veengrond meer emissies tot gevolg heeft dan de minerale bodemtypen. Een uitwisseling van voerproductie naar minerale bodems kan hiermee de totale emissies van voerproductie verlagen.

Indirecte sturing op intensivering

Sturing op lagere BKG-emissies per kg melk kan een prikkel zijn om de bedrijfsvoering te intensiveren. Om emissies te verlagen kan een extensief bedrijf met veel weidegang (zoals het veenbedrijf) streven naar een hogere melkproductie, een groter aandeel mest beschikbaar voor mestvergisting, en een groter aantal uren dat het huidige 3-NOP verstrekt kan worden en werkzaam is. Toepassen van deze maatregelen kan daarmee leiden tot een vermindering van het aantal weide-uren. Ook grasproductie volgens GLP, met als doel het realiseren van een hoge grasproductie met een goede verteerbaarheid voor lagere emissies van voerproductie en pensfermentatie, kan strijdig zijn met maatregelen voor lokale biodiversiteit. Omgekeerd kan een veehouder met een groter aandeel beheerland moeilijker goed scoren op emissies.

Een mogelijke oplossing om deze prikkel tegen te gaan is om de emissies op het melkveebedrijf te alloceren naar bredere ecosysteemdiensten (Ripoll-Bosch et al., 2013; Kiefer et al., 2015). Traditionele LCA-methodes richten zich vaak op economische of fysieke allocatie, waarbij emissies worden verdeeld op basis van productwaarde (bijvoorbeeld van melk en vlees) of massa. Een bedrijf dat actief bijdraagt aan landschapsbeheer, weidegang, of bodemverbetering via mestgebruik, levert maatschappelijke baten die niet in melkvolume terugkomen. Door emissies deels toe te wijzen aan deze diensten, bijvoorbeeld op basis van de economische vergoeding voor beheerpakketten, ontstaat ruimte voor waardering van andere duurzaamheidsprestaties.

Een andere oplossing is om BKG-emissies te vergelijken in een andere functionele eenheid, die ongevoelig is voor melkproductieniveau. Wanneer BKG-emissies worden uitgedrukt per fosfaatrecht, is er vrijwel geen relatie met melkproductie van de koe (Reijs en De Vries, 2024). Dit komt doordat voor koeien met een hogere melkproductie meer fosfaatrechten nodig zijn dan voor koeien met een lagere melkproductie. Het verhogen van de melkproductie geeft voor het aantal BKG-emissies per fosfaatrecht daarmee geen voordeel. Met deze functionele eenheid kan worden gestuurd op reductie van BKG-emissies zonder dat dit leidt tot een prikkel om melkproductie te verhogen. Een mogelijk nadeel is dat de eenheid niet aansluit bij de voorgeschreven LCA-methodiek, en het systeem van fosfaatrechten in de toekomst kan veranderen (Reijs en De Vries, 2024).

Gevolgen voor de koe

Het maatregelpakket - met fokkerij op lagere methaanemissies en een hogere melkproductie, een verhoogd gebruik van bijproducten en mais - loopt mogelijk tegen grenzen van fokkerij en gezondheid aan. De uitkomsten van het model, dat volgens normatieve berekeningen werkt, worden richting die grenzen onzekerder. In de praktijk heeft het maatregelpakket mogelijk gevolgen voor de gezondheid en het welzijn van koeien. Grote rantsoenveranderingen via een groter aandeel mais en bijproducten in het rantsoen kunnen bijvoorbeeld een risico vormen voor koegezondheid, wanneer de structuurwaarde in het rantsoen daalt of het rantsoen variabel wordt. Daarmee is het goed monitoren en samenstellen van het rantsoen extra belangrijk. Een hogere melkproductie geeft de koe een hogere metabole belasting, die bij onvoldoende ondersteuning via goede voeding en management een extra risico vormt voor diergezondheid. Ook zijn er mogelijk onbekende risico's van voeradditieven die relatief kort op de markt zijn. Hierbij leidt de recente invoering van 3-NOP in Denemarken tot onrust onder melkveehouders vanwege zieke koeien (Nieuwe Oogst, 2025). De investering in koe-comfort in de stal die gedaan wordt bij de maatregel om melkproductie te verhogen, komt dierenwelzijn ten goede. Wanneer het toepassen van maatregelen zou leiden tot minder weidegang gaat dit ten koste van natuurlijk gedrag en de graasbehoefte van de koe.

4.6 Mestvergisting

Toepassing en schaalgrootte

Mestvergisting biedt serieuze mogelijkheden voor emissiereductie op alle bedrijfstypen. De manier van toepassing en schaalgrootte zijn bepalend voor de effectiviteit en economische haalbaarheid. Voor een robuuste businesscase en een stabiel vergistingsproces wordt een bedrijfsgrootte van 300-500 koeien aangeraden (ABN AMRO, 2023; Rabobank, 2025); of een minimaal volume mest afkomstig van zoveel koeien. Rabobank signaleert dat er in praktijk vooral kleinschalige vergisters zijn geplaatst, mede vanwege snellere vergunningverlening en beperkingen rond het aanvoeren van mest van derden. Tegelijkertijd is de ervaring dat vergisters met minder dan 15.000 ton mest vanwege de hoge kostprijs niet rendabel zijn wanneer SDE subsidies ophouden. Kleinere installaties zijn relatief duur in exploitatie vanwege hogere investeringskosten en onderhoudskosten, een hoger energieverbruik voor verwarming, en een lagere opbrengst van groen gas. Er zijn ook voorbeelden van grotere installaties (circa 75.000 ton mest), die worden gerund door een andere partij dan de melkveehouder. Momenteel draaien die vaak nog op co-vergisting en niet op monovergisting. Voor grote installaties geldt dat ze efficiënter en goedkoper zijn per ton mest, en dat ze naast de lagere kostprijs ook vaak een hogere prijs krijgen voor groen gas. Een indicatie voor de verschillen ten opzichte van een standaard monomestvergister op bedrijfsniveau van 20.000 ton mest zijn circa 20% lagere investeringskosten (Capex), circa 10% lager energieverbruik, circa 25% lagere onderhoudskosten, en een circa 5% hogere opbrengst van groen gas. Daarnaast is het voor een installatie van grotere omvang makkelijker om het mestvolume en de investeringsruimte te realiseren om stikstofstrippen of CO₂-afvang toe te passen, of anderszins in te spelen op wetswijzigingen omtrent mestverwerking. Wel zijn deze installaties complexer qua organisatie, en vragen ze om goede afspraken over mestkwaliteit, transport en aansprakelijkheid. Ook is onbekend of het hebben van een constante meststroom belangrijk is voor de mestafnemer. Bij weidegang is er geen constante meststroom vanwege minder mest in de kelder in de weideperiode dan in de stalperiode.

Emissiereductie

De reductie van methaan via mestvergisting waarmee is gerekend, is aangepast ten opzichte van de vorige rapportage in dit project. De reductie van methaan waarmee is gerekend is de reductie van emissies in stal en opslag, gecorrigeerd voor methaanverliezen tijdens mestvergisting. Deze emissiereducties worden altijd behaald op het melkveebedrijf; de methaanverliezen bij vergisting die nu zijn meegenomen (gerekend met 4%) zijn mogelijk emissies die niet aan de melkveehouder worden toegekend. Lachgasemissies zijn aangepast naar nieuwe emissiefactoren, met de aanname dat er geen lachgasemissie is gedurende de korte opslag van de mest. Het effect van dichte vloeren en monovergisting op ammoniak emissies staat momenteel ter discussie. Ook hangen deze emissies af van of het digestaat in zijn totaliteit wordt gebruikt voor bemesting, of gescheiden wordt toegepast als dikke en dunne fractie. Wanneer digestaat los wordt toegepast, zijn de ammoniak emissies van de dikke fractie hoger dan die van drijfmest in de referentie (tabel 3.14; Van Dijk et al., 2025).

Een belangrijk aspect is wie de emissiereductie mag claimen. Bij mestvergisting zijn er meerdere emissiestromen. Afhankelijk van de systeemafbakening komen die emissies en reducties uit bij andere partijen. De reductie van methaanemissie uit de opslag door frequente ontmesting is altijd toe te rekenen aan de melkveehouder. Methaanemissie uit de vergister zelf kunnen afhankelijk van eigendom en gebruik aan verschillende partijen worden toegekend. Vervanging van fossiel gas door biogas, en daardoor een reductie van emissies per eenheid gas, is toe te rekenen aan degene die het biogas gebruikt en de certificaten bezit. De emissies uit de digestaattoepassing zijn vervolgens toe te rekenen aan de gebruiker van het digestaat (vaak de melkveehouder). Bij verkoop van mest aan een externe vergister vindt economische allocatie plaats: de mest krijgt een waarde, zoals melk en vlees, en de emissiereductie door biogasproductie wordt niet meer aan de melkveehouder toegerekend. Bij eigen mestvergisting kan de vergister ook los van de melkveehouderij worden beschouwd, met eigen emissie- en energieprofiel. Dit voorkomt dubbeltellingen en maakt de toewijzing van reductie transparanter.

Een alternatief voor vergisting is methaanoxidatie bij de mestopslag (Maasdam et al., 2024). Hoewel dit technisch effectief kan zijn, met in een pilot een efficiëntie van >95% voor chemisch oxideren met een fakkel, is ontbreekt het aan opbrengsten zoals bij groen gasproductie. Rabobank acht deze optie financieel onaantrekkelijk, zeker op bedrijven die mest kunnen leveren aan vergisters. Bovendien is de praktijkrijpheid van oxidatie nog onzeker.

5 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

1. Met het maatregelpakket is een forse reductie van BKG-emissies behaald, maar blijft de doelstelling van 50% reductie van BKG-emissies in 2030 buiten bereik. In de berekende 43-44% reductie is de effectiviteit voor 2030 optimistisch ingeschat. Zo kost het meer tijd tot het potentieel van fokkerij op lagere emissies van pensfermentatie volledig gerealiseerd zal zijn, is mestvergisting afhankelijk van vergunningverlening en investeringen, en is het langzaam-werkend additief 3-NOP nog niet praktijkrijp. Reducties in BKG-emissies ten aanzien van de gestelde referentiejaar kunnen wel hoger zijn dan in deze studie berekend door de autonome ontwikkeling, waarbij BKG-emissies per kg meetmelk in de sector sinds 2015 en 2018 met respectievelijk 220 en 72 gram CO₂-eq gedaald zijn in 2023. Ook is een verdere daling voor een deel van de bedrijven in de praktijk mogelijk via het beter toepassen van goede landbouwpraktijk.
2. Het maatregelpakket had op alle drie de bedrijfstypen het grootste effect op de emissies van pensfermentatie door de maatregelen 3-NOP en fokkerij. De effectiviteit van een aantal maatregelen hangt af van bedrijfstype. Na pensfermentatie waren de grootste reducties voor het zandbedrijf op emissies van aanvoerbronnen door de maatregelen krachtvoer met een lage footprint en bijproducten; en voor het veenbedrijf op emissies van voerproductie vanwege een fors lager kunstmestgebruik. Op alle bedrijfstypen zorgde mestvergisting voor een aanzienlijke reductie van BKG-emissies; maar kon meer mest worden vergist bij minder weidegang. Effecten van een hogere melkproductie, HVO-diesel, en kunstmest met een lage footprint waren kleiner; maar hadden een groter effect bij een lagere melkproductie in de uitgangssituatie, en bij een groter aandeel eigen voerproductie.
3. Het netto economisch effect van het maatregelpakket varieerde van circa -€ 28.000 tot -€ 43.000 per bedrijf per jaar. Per 100 kg melk was dit -€ 2,51 tot -€ 3,91. Hierbij leverde het verhogen van de melkproductie geld op voor alle bedrijfstypen; en waren de hoogste totale kosten voor 3-NOP en mestvergisting. Uitgedrukt in kosteneffectiviteit kostte het maatregelpakket € 59 tot € 76 per ton reductie.
4. Afwentelingen van het maatregelpakket waren met name zichtbaar voor de indicator eiwit van eigen land, die tot 15 procentpunten daalde. Een hogere melkproductie zorgde voor een hogere voerbehoefte; wat in combinatie met lagere grasopbrengsten zorgde voor een grotere afhankelijkheid van aangekocht voer. Als dit maatregelpakket zou worden opgeschaald kan dit nationaal en internationaal negatieve gevolgen hebben voor biodiversiteit door de grotere vraag naar mais en krachtvoer. Lagere bemesting op het veenbedrijf verlaagde daar het N-bodemoverschot. Effecten op andere duurzaamheidsindicatoren lijken beperkt.

Aanbevelingen

1. Om het reductiedoel van 50% in 2030 en nog verder in de toekomst te behalen, is het belangrijk om te blijven kijken naar innovaties en nieuwe maatregelen. Scherper sturen op ruw eiwit in het rantsoen, en mogelijk gebruik van nieuwe technieken bij opslag en aanwending van mest kunnen hierbij worden verkend. Tegelijkertijd kan meer worden gekeken naar mogelijke compensatie van emissies via koolstof vastlegging.
2. De aannames in de uitgevoerde berekeningen kunnen specifiekere. Zo is bij fokkerij aangenomen dat dit geen kosten met zich meebrengt en geen negatieve effecten heeft op andere fokdoelen.
3. Voor opschaling van het maatregelpakket is het relevant om in beeld te krijgen hoeveel bijproducten en producten met een lage footprint beschikbaar zouden zijn; en hoe bijvoorbeeld een grotere vraag naar mais uit zou werken op de Nederlandse melkveehouderij.
4. Voor melkveehouders is het relevant om advies op maat te krijgen, dat aangeeft waar BKG-emissies gereduceerd kunnen worden. Dit geldt voor maatregelen en voor verdere verbetering richting goede landbouwpraktijk. Binnen de PPS zullen specifiekere bedrijfstypes worden geanalyseerd op basis van de kringloopwijzer-database, met het doel bedrijven te kunnen voorzien van relevante benchmarks en een realistische inschatting van mogelijke reductie van BKG emissies door verbeteringen in bedrijfsvoering.

-
5. Met name voor het veenbedrijf zijn optimistische aannames gedaan over de mogelijkheid tot het toepassen van maatregelen. Het voeradditief 3-NOP dat werkzaam is gedurende de weidegang is bijvoorbeeld niet praktijkrijp; en mestvergisting door derden is in praktijk mogelijk eerder te realiseren met meer mest in de kelder. Zeker wanneer deze bedrijven in de praktijk ook een aandeel beheergrasland hebben, is het lastig om de footprint van melk omlaag te brengen. De aanbeveling is om na te denken hoe hiermee om te kunnen gaan, bijvoorbeeld door te accepteren dat deze bedrijven andere waarde hebben en door ook aan de waarde van die ecosysteemdiensten emissies te alloceren.

Bronnen en literatuur

ABN AMRO, 2023. Hoe mono-mestvergisting Nederland helpt vergroenen.

https://www.abnamro.nl/nl/media/ho-mono-mestvergisting-nederland-helpt-vergroenen-december-2023_tcm16-216658.pdf

Dijk, W. van, Boer, J.A. de, Schils, R.L.M., Haan, M.H.A. de, Mostert, P., Oenema, J. en Verloop, J., 2024. Rekenregels van de KringloopWijzer 2024; Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2023-versie. Wageningen Research, Rapport WPR-1396. <https://edepot.wur.nl/678185>

Doornewaard, G.J., Hoogeveen, M.W., Jager, J.H., Reijs, J.W. en Beldman, A.C.G., 2022. Sectorrapportage Duurzame Zuivelketen: Prestaties 2020 in perspectief. Wageningen Economic Research, Rapport 2022-002 ISBN 978-94-6447-257-8, <https://edepot.wur.nl/570964>

Esch, S. van der, Vink, M., Zanden, E. van der, Hinsberg, A. van, Pouwels, R., Boezeman, D., Bussel, L. van, Gies, E., Roovaart, J. van den, Rutledge, D., Schulte-Uebbing, L., Louw, P. de, Schoonderwoerd, E., Visman, P., Bolt, F. van der, Geel, W. van, Groenendijk, P., Knecht, B. de, Speijer, F. en Warrink, A. (2025). *Landbouw- en Natuurverkenning: op zoek naar een nieuwe balans tussen landbouw en natuur in 2050*. PBL Planbureau voor de Leefomgeving. <https://edepot.wur.nl/702364>

Gollenbeek, L.R., Gastel, J.P.B.F. van, Casu, F.A.M., Huisman, I., Verdoes, N., 2022. Berekeningen emissies en economie voor verschillende scenario's voor verwaarding van rundveemest; NL Next Level Mestverwaarden. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1372.

Haas, Y. de, Veerkamp, R.F., Jong, G. de en Aldridge, M.N., 2021. Selective breeding as a mitigation tool for methane emissions from dairy cattle. *Animal*, 15, <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100294>

Hoogeveen, M.W., Greijdanus, A.F. en Doornewaard, G.J., 2025. Sectorrapportage Duurzame Zuivelketen. Deelrapportage Klimaatverantwoorde zuivelsector 2023. Wageningen Social & Economic Research. <https://edepot.wur.nl/692826>

Kiefer, L.R., Menzel, F. en Bahrs, E., 2015. Integration of ecosystem services into the carbon footprint of milk of South German dairy farms. *Journal of Environmental Management*, 152, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.017>

Kok, A., Vollebregt, T., Huisman, I., Jebbink, S. en Beldman, A., 2025. Modelresultaten maatregelen en maatregelpakketten voor reductie van broeikasgasemissies op Nederlandse melkveebedrijven. Wageningen Social & Economic Research. <https://doi.org/10.18174/686981>

KWIN 2024, Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2024-2025, Vermeij, I., Blanken, K., Dorper, A., Evers, A., Groeneveld, I., Ouweltjes, W., Verkaik, J. en Wemmenhove, H., 2024. Handboek 49, Wageningen Livestock Research.

LTO, 2025, conventant Verlagen Ruw Eiwit Rantsoenen Melkveebedrijven <https://www.lto.nl/wp-content/uploads/2025/02/Convenant-verlagen-ruw-eiwit-in-rantsoenen-melkveebedrijven.pdf>

Maasdam, E., Daatselaar, C., Oonk, H., Bondt, N., Jansen, L. en Kroes, K., 2024. Methaanoxidatie bij mestopslagen; Voortgangsverslag deel 1: werking en aandachtspunten voor 3 methaanoxidatie technieken. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1472, <https://edepot.wur.nl/650013>

Mandersloot, F., Scheppingen, A.T.J. van en Nijssen, J.M.A., 1991. Modellen rundveehouderij: overzicht en onderlinge samenhang modellen voor simulatie van melkveebedrijven. Proefstation voor de Rundveehouderij (PR), Lelystad. Rapport 72.

Martinez-Ramon, V., Bromwich, T., Modernel, P., Poore, J. en Bull, J.W., 2024. Alternative Life Cycle Impact Assessment Methods for Biodiversity Footprinting Could Motivate Different Strategic Priorities: A Case Study for a Dutch Dairy Multinational. *Business Strategy and the Environment*, 34, p.2128-2138, <https://doi.org/10.1002/bse.4072>

-
- Owusu-Sekyere, E., Hansson, H., Telezhenko, E., Nyman, A.K. en Ahmed, H., 2023. Economic impact of investment in animal welfare-enhancing flooring solutions–Implications for promoting sustainable dairy production in Sweden. *British Food Journal* doi: 10.1108/BFJ-06-2022-0523
- Reijs, J. en Vries, M. de, 2024. Afbakening en functionele eenheid KPI broeikasgassen melkveehouderij; Systematische analyse van voor- en nadelen van opties. Wageningen, Wageningen University & Research, Rapport 2024-097. 32 blz.; 5 fig.; 2 tab.; 11 ref. <https://doi.org/10.18174/670648>
- Ripoll-Bosch, R., Boer, I.J.M. de, Bernués, A. en Vellinga, T.V., 2013. Accounting for multi-functionality of sheep farming in the carbon footprint of lamb: a comparison of three contrasting Mediterranean systems. *Agric. Syst.*, 116, pp. 60-68, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2012.11.002>
- Schils, R.L.M., Haan, M.H.A. de, Hemmer, J.G.A., Pol-van Dasselaar, A. van den, Boer, J.A. de, Evers, A.G., Holshof, G., Van Middelkoop, J.C., & Zom, R.L.G. (2007). DairyWise, a whole-farm dairy model. *Journal of Dairy Science*, 90 (11), 5334-5346.
- Vellinga, T., 2023. Verkenning van maatregelen voor vermindering van methaanemissie uit de melkvee- en varkenshouderij voor het bereiken van klimaatdoelen 2030. Wageningen Livestock Research. <https://edepot.wur.nl/629796>
- Vonk, J., Lagerwerf, L. en Mostert, P., 2021. Broeikasgasemissies uit de landbouw in de nationale inventarisatie. Analyse van emissies in verschillende NIR sectoren ter vergelijking met LCA's. Wageningen Livestock Research, Rapport 1324. <https://edepot.wur.nl/548512>

Websites

- Arla, 2024. <https://www.arla.com/company/news-and-press/2024/news/a-message-from-arla-foods-on-bovaer/>
- CRV, 2025. <https://crv4all.nl/nl/news/crv-lanceert-methaanfokwaarde>
- Nieuwe Oogst, november 2025, <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2025/11/15/bedreigt-bovaer-deense-koeien-en-boeren> en <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2025/11/03/onrust-onder-deense-melkveehouders-koeien-vallen-om-na-gebruik-bovaer>
- Rabobank, 2025. <https://www.rabobank.nl/kennis/d011417509-potentie-van-monomestvergistings-in-de-landbouwtransitie>

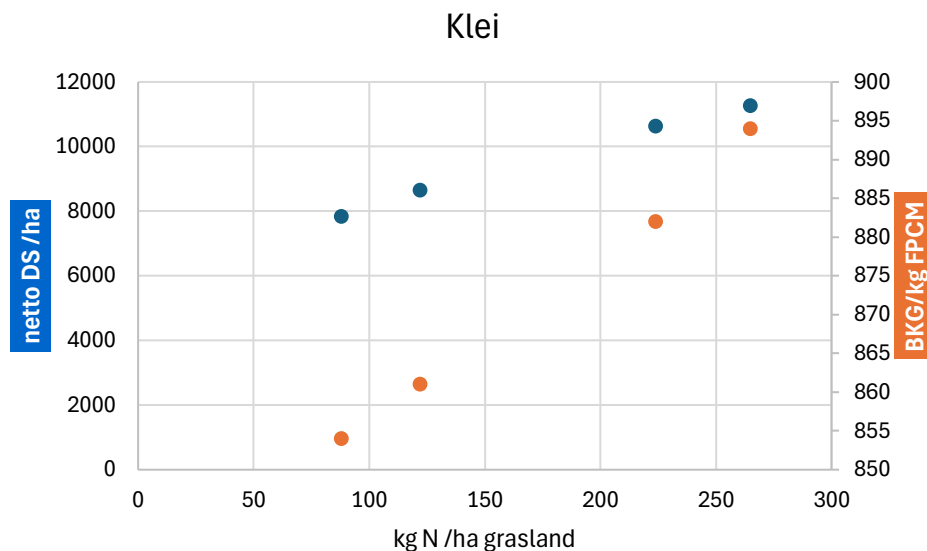
Bijlage 1 Gehanteerde prijzen

Bij de keuze voor gehanteerde prijzen is gebruikgemaakt van onder andere KWIN 2024-2025 en de Agrarische Prijzen-database (<https://agrimatie.nl/Prijzen.aspx?ID=15125>) van Wageningen Social & Economic Research.

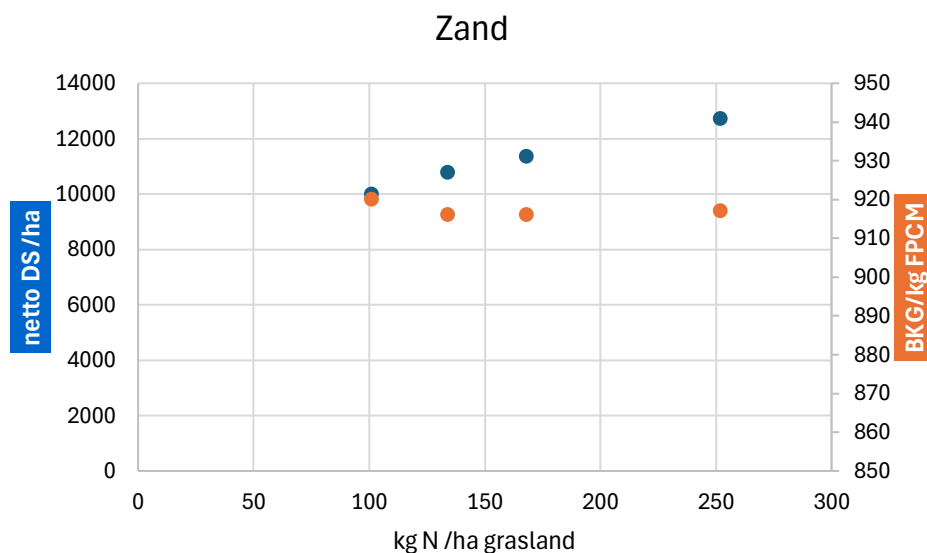
Soort kosten/opbrengsten	Waarde	Eenheid
Melkprijs	47,00	Euro/100 kg melk
Stikstofkunstmest	130	Euro/100 kg N
Fosfaatkunstmest	105	Euro/100 kg P ₂ O ₅
Kalikunstmest	65	Euro/100 kg K ₂ O
Krachtvoer 1	32,20	Euro/100 kg
Krachtvoer 2	33,00	Euro/100 kg
Krachtvoer 3	41,50	Euro/100 kg
Snijmais	0,13	Euro/kVEM
Kuilgras	0,112	Euro/kVEM
Mestafzet	20,00	Euro/m ³
Fosfaatrechten: leaseprijs niet-afromingsvrij	11,00	Euro/kg fosfaatrecht

Bijlage 2 Onderbouwing maatregel minder N-kunstmest

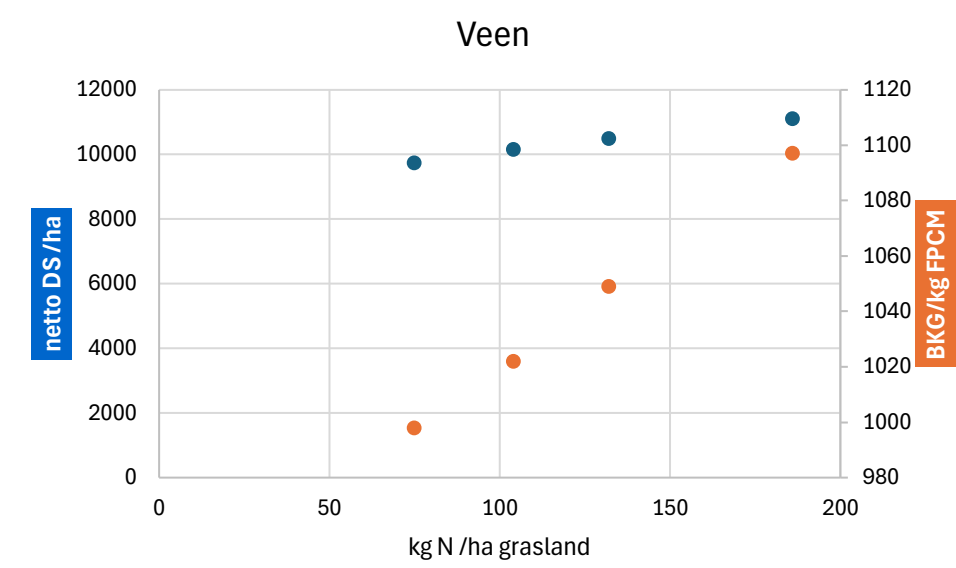
Voor het kleibedrijf is de keuze gemaakt om de kunstmestgift te verlagen omdat ondanks dat de grasproductie hierdoor daalt, daalt ook de BKG-emissie per kg melk.



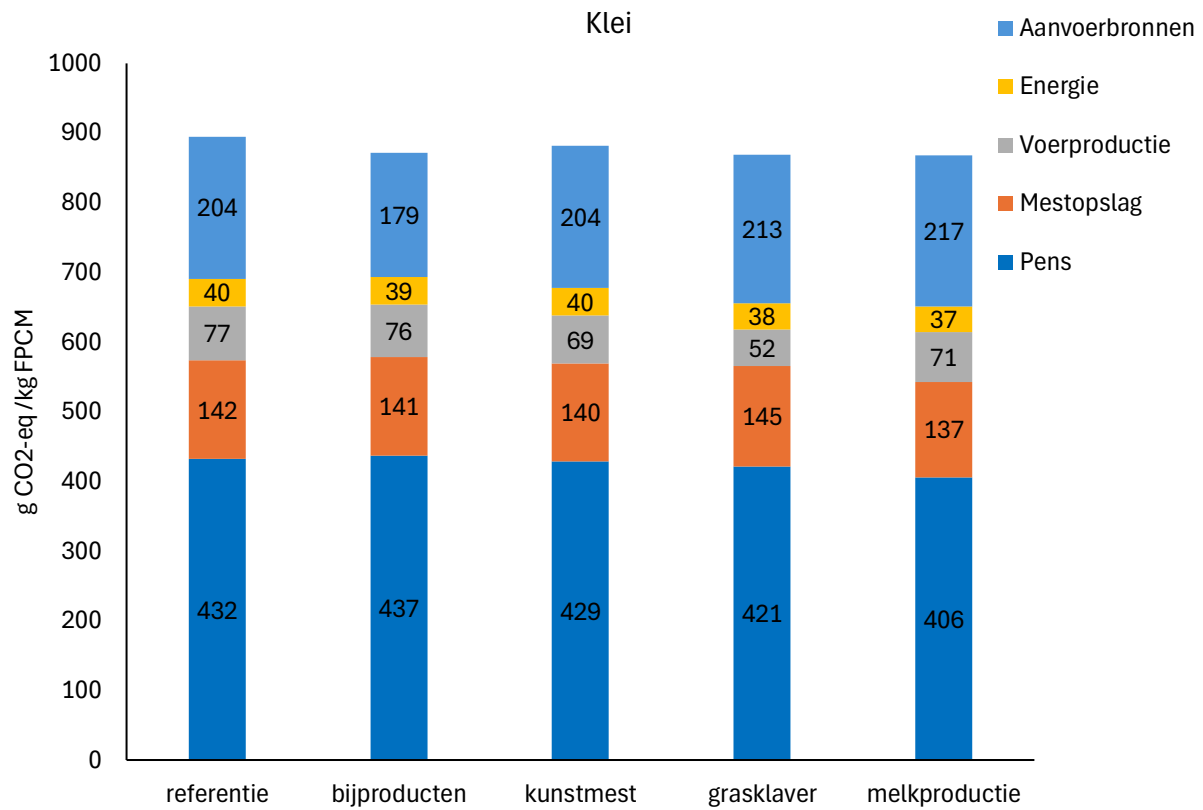
Voor het zandbedrijf is ervoor gekozen om de kunstmestgift niet verder te verlagen. Hiervoor is gekozen omdat de grasproductie daalt bij minder bemesting maar de BKG-emissies nagenoeg gelijk blijven.

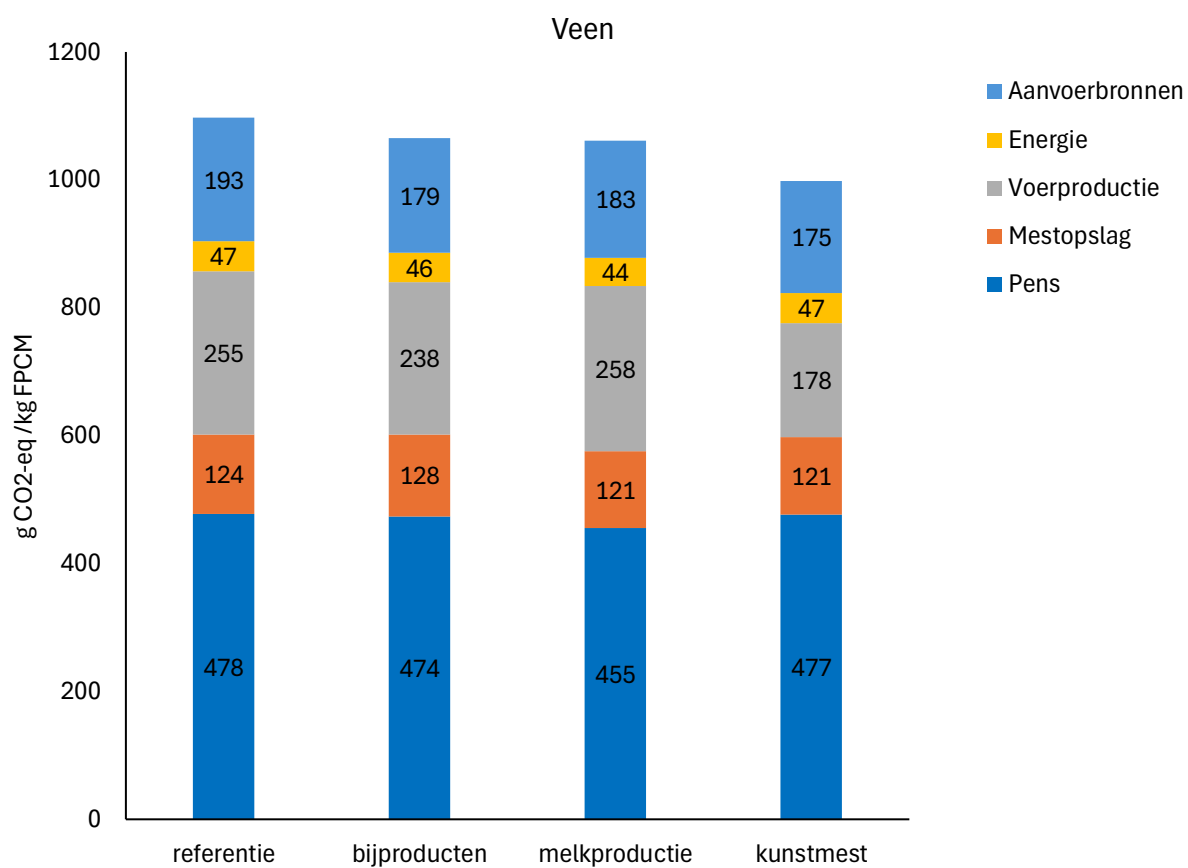
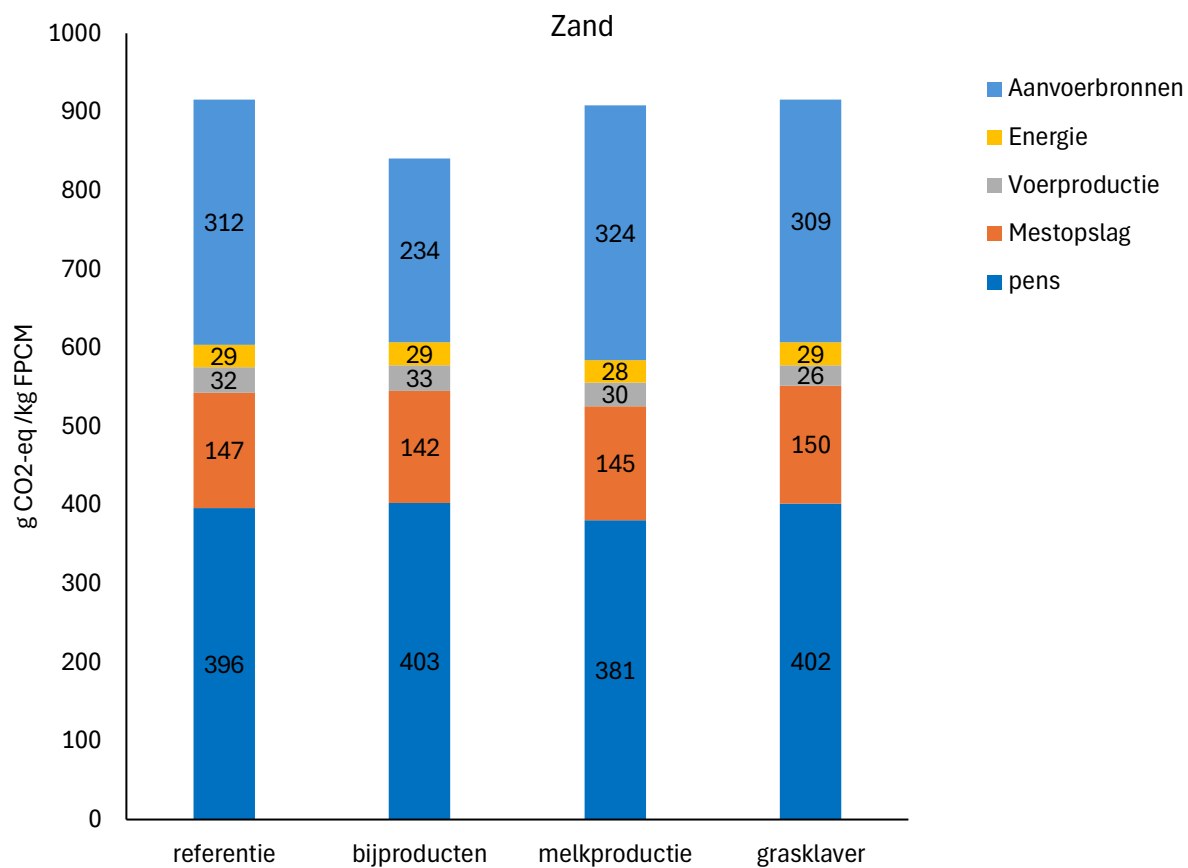


Voor het veenbedrijf is er wel voor gekozen om de kunstmestgift verder te verlagen omdat zowel de grasproductie als ook de BKG-emissies dalen.



Bijlage 3 Verdeling BKG-emissies over verschillende bronnen, per maatregel, per bedrijfstype





Bijlage 4 Economische berekeningen in euro/100 kg melk en euro/ha

Euro/100kg melk

a) <i>Bedrijfstype: Veen</i>	bijprod	Minder kunstmest	Melkprod.	Pakket
Mutatie jaaropbrengsten en -kosten (in euro/100 kg melk)				
Opbrengsten uit primaire productie (melk, vlees, ruwvoer) (a)	0,27	-0,91	4,60	4,53
TOTAAL OPBRENGSTEN	0,27	-0,91	4,60	4,53
Toegerekende kosten (aankoop veevoer, meststoffen, etc.) (d)	0,89	-1,08	0,37	2,64
Niet toeg. kosten als gevolg van investering (onderh., verz., afschr. en rente) (e)	0,15	0,16	2,42	4,62
Overige niet toegerekende kosten (f)	0,13	-0,18	1,50	1,17
TOTAAL KOSTEN	1,17	-1,10	4,29	8,44
Netto economisch effect (=a+b+c-d-e-f)	-0,90	0,19	0,32	-3,91

b) <i>Bedrijfstype: Klei</i>	Bijprod	Klaver	Melkprod.	Pakket
Mutatie jaaropbrengsten en -kosten (in euro/100 kg melk)				
Opbrengsten uit primaire productie (melk, vlees, ruwvoer) (a)	0,24	0,00	4,70	4,72
TOTAAL OPBRENGSTEN	0,24	0,00	4,70	4,72
Toegerekende kosten (aankoop veevoer, meststoffen, etc.) (d)	0,39	-0,19	1,13	3,60
Niet toeg. kosten als gevolg van investering (onderh., verz., afschr. en rente) (e)	0,18	0,10	2,05	3,42
Overige niet toegerekende kosten (f)	-0,04	-0,32	0,69	0,21
TOTAAL KOSTEN	0,53	-0,40	3,87	7,23
Netto economisch effect (=a+b+c-d-e-f)	-0,29	0,40	0,83	-2,51

c) <i>Bedrijfstype: Zand</i>	Bijprod	Klaver	Melkprod.	Pakket
Mutatie jaaropbrengsten en -kosten (in euro/100 kg melk)				
Opbrengsten uit primaire productie (melk, vlees, ruwvoer) (a)	0,00	0,00	4,19	4,19
TOTAAL OPBRENGSTEN	0,00	0,00	4,19	4,19
Toegerekende kosten (aankoop veevoer, meststoffen, etc.) (d)	0,36	-0,04	0,91	3,24
Niet toeg. kosten als gevolg van investering (onderh., verz., afschr. en rente) (e)	0,37	0,02	2,04	2,99
Overige niet toegerekende kosten (f)	-0,38	0,19	0,81	0,47
TOTAAL KOSTEN	0,34	0,17	3,76	6,71
Netto economisch effect (=a+b+c-d-e-f)	-0,34	-0,17	0,42	-2,52

Euro/ha

a) Bedrijfstype: Veen				
	Bijprod	Minder kunstmest	Melkprod.	Pakket
Mutatie jaaropbrengsten en -kosten (in euro/ha)				
Opbrengsten uit primaire productie (melk, vlees, ruwvoer) (a)	34	-114	651	640
TOTAAL OPBRENGSTEN	34	-114	651	640
Toegerekende kosten (aankoop veevoer, meststoffen, etc.) (d)	112	-135	52	374
Niet toeg. kosten als gevolg van investering (onderh., verz., afschr. en rente) (e)	19	20	342	654
Overige niet toegerekende kosten (f)	17	-22	212	166
TOTAAL KOSTEN	147	-137	606	1.193
Netto economisch effect (=a+b+c-d-e-f)	-113	23	45	-553
b) Bedrijfstype: Klei				
	Bijprod	Klaver	Melkprod.	Pakket
Mutatie jaaropbrengsten en -kosten (in euro/ha)				
Opbrengsten uit primaire productie (melk, vlees, ruwvoer) (a)	40	0	881	885
TOTAAL OPBRENGSTEN	40	0	881	885
Toegerekende kosten (aankoop veevoer, meststoffen, etc.) (d)	65	-32	212	675
Niet toeg. kosten als gevolg van investering (onderh., verz., afschr. en rente) (e)	30	18	385	641
Overige niet toegerekende kosten (f)	-7	-53	129	40
TOTAAL KOSTEN	89	-68	726	1.356
Netto economisch effect (=a+b+c-d-e-f)	-49	68	155	-471
c) Bedrijfstype: Zand				
	Bijprod	Klaver	Melkprod.	Pakket
Mutatie jaaropbrengsten en -kosten (in euro/ha)				
Opbrengsten uit primaire productie (melk, vlees, ruwvoer) (a)	0	0	1.394	1.394
TOTAAL OPBRENGSTEN	0	0	1.394	1.394
Toegerekende kosten (aankoop veevoer, meststoffen, etc.) (d)	109	-13	302	1.080
Niet toeg. kosten als gevolg van investering (onderh., verz., afschr. en rente) (e)	111	6	680	997
Overige niet toegerekende kosten (f)	-116	58	270	157.108
TOTAAL KOSTEN	105	50	1.181	2.162
Netto economisch effect (=a+b+c-d-e-f)	-105	-50	213	-768

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



Wageningen Social & Economic Research
Postbus 88
6700 AB Wageningen
T 0317 48 48 88
E info.wser@wur.nl
wur.nl/social-and-economic-research

Rapport 2025-158



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, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 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.
