



Perspectievolle combinaties voor energiebesparing en - opwekking op varkensbedrijven

Beschrijving van het rekenmodel en uitwerking van verschillende combinaties van maatregelen

Paria Sefeedpari, Emma van Boxmeer, Luuk Gollenbeek

Rapport 1497



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Perspectievolle combinaties voor energiebesparing en - opwekking op varkensbedrijven

Beschrijving van het rekenmodel en uitwerking van verschillende combinaties van maatregelen

Paria Sefeedpari, Emma van Boxmeer, Luuk Gollenbeek

Wageningen Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en de Coalitie Vitale Varkenshouderij, in het kader van de PPS "Vitale Varkenshouderij (LWV20173; BO-63-001-046)".

Wageningen Livestock Research
Wageningen, augustus 2024

Rapport 1497

Sefeedpari, P., E.G.G. van Boxmeer, L.R. Gollenbeek, 2024. *Perspectievolle combinaties voor energiebesparing en -opwekking op varkensbedrijven: Beschrijving van het rekenmodel en uitwerking van verschillende combinaties van maatregelen*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1497.

Deze rapportage is opgesteld in het kader van "Energiebalans voor bedrijf en keten" van de Publiek-Private Samenwerking (PPS) Vitale Varkenshouderij. Het belangrijkste doel van deze studie was het demonstren van de haalbaarheid van verschillende combinaties van maatregelen voor energieproductie en -consumptie op varkensbedrijven. Dit werd bereikt door modelberekening van technische-, economische- en milieueffecten. Zes verschillende combinaties van maatregelen zijn doorgerekend: 1) zonnepanelen op het dak, 2) energieopslag in batterij, 3) Zonnepanelen en stalkoelingsysteem, 4) dagontmesting in combinatie met mestvergisting (op drie varianten: A. maximale biogasopbrengst; B. 75% van de maximale biogasopbrengst and C. 50% van de maximale biogasopbrengst), 5) Warmtepomp (+ verwarmingsketel) (op twee varianten: A. 100% van de warmtepompcapaciteit en B. 80% van de warmtepompcapaciteit) en 6) Warmtepomp en warmteterugwinning uit luchtwater. Op basis van de resultaten uit het model bleek dat de combinatie van dagontmesting met mono-mestvergisting de meest haalbare maatregel is qua milieu- en technische aspecten (CO₂-eq. reductie), ondanks dat deze maatregel hoge investeringen vergt. Het implementeren van een warmtepomp in verschillende combinaties heeft een snelle terugverdientijd van de investering, maar de CO₂-eq. reductiepotentieel is beperkt. Op basis van de resultaten van de modelberekeningen bleken overige maatregelen zowel economisch als milieuaspecten haalbaar te zijn.

This report was prepared within the framework of the "Energy Balance for Farm and Chain" initiative from the Public-private partnership (PPP) "Vitale Varkenshouderij". The primary objective of this study was to demonstrate the feasibility of various combinations of measures for energy production and consumption on pig farms. This was achieved by modelling various aspects, including technical, economic, and environmental effects, for six different combinations of measures: 1) solar panels on the roof, 2) energy storage in a battery, 3) Solar panels and ban cooling system 4) manure digestion with frequent manure removal system (in three variants: A. maximum biogas yield, B. 75% of the maximum biogas yield and C. 50% of the maximum biogas yield), 5) Heat pump (+ boiler) (in twee variants: A. 100% of the heat pump capacity and B. 80% of the heat pump capacity) and 6) heat pump in combination with heat exchangers and heat recovery. Based on the modelling results, the combination of daily removal system of manure and digestion proves to be the most feasible measure regarding technical and environmental aspects (CO₂-eq. reduction), despite requiring high investment. Implementing a heat pump in various combinations provides a quick pay-back time, but the CO₂-eq. reduction potential remains limited. Based on the results of the model calculations, other measures proved to be both economically and environmentally feasible.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/670846> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2024.

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

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

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

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

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	6
1 Inleiding	11
1.1 Aanleiding	11
1.2 Doel	11
2 Beschrijving van het rekenmodel	13
2.1 Rekenregels	16
2.2 Gevoeligheids- en scenarioanalyses	18
2.3 Bedrijfskenmerken	18
3 Beschrijving van de combinaties en de aannames	20
3.1 Zonnepanelen (C1)	20
3.2 Zonnepanelen + batterij (C2)	22
3.3 Zonnepanelen + stalkoeling voor zeugenbedrijven (C3)	23
3.4 Dagontmesting + Monomestvergisten (C4)	24
3.5 Warmtepomp (+ CV-ketel) (C5)	26
3.6 Warmtepomp + warmteterugwinning uit luchtwater (C6)	27
4 Resultaten van combinatie van maatregelen	29
4.1 Zonnepanelen (C1)	29
4.1.1 Varianten op C1	30
4.1.2 Gevoeligheidsanalyse op de prijs van elektriciteit en de investeringen	33
4.2 Zonnepanelen + batterij (C2)	35
4.3 Zonnepanelen + stalkoeling (C3)	36
4.4 Dagontmesting en monomestvergisten (C4)	37
4.4.1 Scenarioanalyses voor subsidie op WKK	39
4.5 Warmtepomp (+ CV-ketel) (C5)	39
4.5.1 Gevoeligheidsanalyse op de COP van warmtepomp	40
4.6 Warmtepomp + warmteterugwinning uit luchtwater (C6)	41
4.6.1 Gevoeligheidsanalyse op de COP van warmtepomp	41
5 Discussie	43
5.1 Overzicht en vergelijking van alle combinaties	43
5.2 Overige mogelijkheden voor energieneutraal varkensbedrijf	49
5.3 Nauwkeurigheid van de resultaten	50
6 Conclusies	51
Literatuur	53
Bijlage 1 Gebruikte constanten en coëfficiënten	55
Bijlage 2 Aanvullende uitvoer van modelberekeningen	56



Woord vooraf

De Coalitie Vitale Varkenshouderij heeft de volgende opgaven en doelstellingen geformuleerd:

- Verminderen van de methaanemissie van de varkenshouderij, volgens de in de klimaattafel gestelde doelen en randvoorwaarden, door een brongerichte aanpak van gasvormige emissies in varkensstallen. Snelle verwijdering van mest uit stallen voor verwerking kan daar een belangrijk onderdeel van zijn.
- Uitvoeringsagenda Veehouderij en Klimaat, waarin de afspraken uit het Klimaatakkoord worden geconcretiseerd.
- Werken aan een energieleverende varkenshouderij door energiebesparing en groene energieproductie (i.e. zon, wind, biogas) en hergebruik van warmte in alle schakels van de keten.
- Energiebalans voor bedrijf en keten; hernieuwbare energie geproduceerd in de keten koppelen aan energiegebruik in de keten.

Deze rapportage is opgesteld in het kader van "Energiebalans voor bedrijf en keten". Uit een vorige publicatie 'Mogelijkheden voor besparing en opwekking duurzame energie op varkenshouderijbedrijven' van Boxmeer *et al.* (2023), waarin de mogelijkheden voor besparing en opwekking duurzame energie op varkenshouderijbedrijven werden beschreven aan de hand van zogenaamde Opportunity Dartboards, bleek dat het zinvol zou zijn de energie-opties die daarin kwalitatief en op zichzelf staand zijn benoemd, ook kwantitatief en in combinatie met andere opties door te rekenen.

Het onderzoeksprogramma Vitale Varkenshouderij is een Publiek Private Samenwerking. Het voorliggende onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research. De auteurs danken Nico Verdoes, senior onderzoeker bij Wageningen Livestock Research, voor zijn inspanningen bij het initiëren van dit project en voor zijn waardevolle bijdragen tot aan zijn pensioen. De auteurs danken de financiers en de klankbordgroep voor hun deskundige begeleiding van het onderzoek.

Namens het onderzoeksteam,

Luuk Gollenbeek, projectleider

Samenvatting

Het primaire doel van deze studie was het demonstreren van de prestatie van een aantal combinaties van maatregelen om energie op te wekken en te besparen op varkensbedrijven. Voor deze verschillende combinaties van maatregelen zijn diverse aspecten geëvalueerd, waaronder technische-, economische- en milieueffecten. In eerder onderzoek binnen de Publiek-Private Samenwerking (PPS) 'Vitale Varkenshouderij' zijn individuele maatregelen om energie te besparen kwalitatief in kaart gebracht, waarna het ook zinvol bleek de maatregelen kwantitatief en in combinatie met andere opties door te rekenen. Op basis van de Opportunity dartboards (van Boxmeer *et al.*, 2023) zijn zes combinaties van maatregelen geselecteerd (zie Tabel S1). Voor de combinaties met zonnepanelen zijn een aantal varianten voor zonnepaneel configuraties onderzocht, zoals curtailment (inperking tijdens piekmomenten), verschillen in aantal zonnepanelen en het vermogen van zonnepanelen.

Tabel S1 *Lijst met combinaties en varianten voor modelberekeningen*

Combinatie voor energiebesparing en -opwekking op varkensbedrijven

- (1) Zonnepanelen
- (2) Zonnepanelen + batterij
- (3) Zonnepanelen + stalkoeling
- (4A) Monovergisten + dagontmesting [maximale biogasopbrengst per kuub ingaande mest]
- (4B) Monovergisten + dagontmesting [75% van de maximale biogasopbrengst per kuub ingaande mest]
- (4C) Monovergisten [50% van de maximale biogasopbrengst per kuub ingaande mest]
- (5A) Warmtepomp (+ verwarmingsketel) [100% verwarming en warm water door warmtepomp]
- (5B) Warmtepomp (+ verwarmingsketel) [80% van verwarming en warm water door warmtepomp]
- (6) Warmtepomp + warmteterugwinning uit luchtwasser

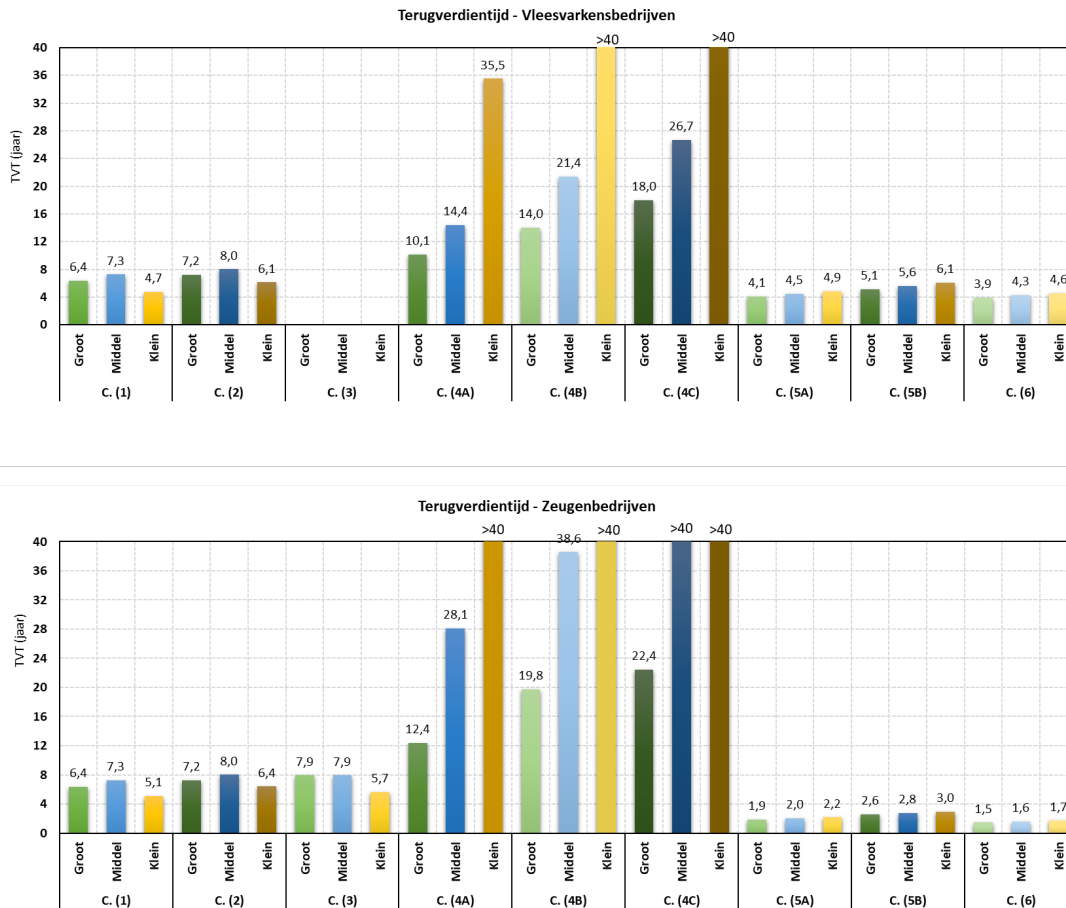
Er is een rekentool ontwikkeld waarmee deze zes combinaties zijn beoordeeld. De combinaties van maatregelen zijn doorgerekend voor een standaard vleesvarkens- en vermeerderingsbedrijf op basis van drie bedrijfsgroottes met betrekking tot het aantal dieren. Deze drie bedrijfsgroottes zijn gebaseerd op de dieraantallen genoemd in KWIN-Veehouderij 2022-2023 (KWIN, 2022).

De inputgegevens voor deze modelberekening zijn: het aantal dieren, de mestproductie, de richting en helling van het dak en de aan- of afwezigheid van een luchtwasser. De outputvariabelen zijn onder andere: elektriciteitsverbruik en -productie, gasverbruik, aantal zonnepanelen, biogasopbrengst, investeringen, jaarlijkse kosten en baten, jaarlijkse winst (profit) en jaarlijkse kasstroom (cash flow). De indicatoren om de combinaties te evalueren en te vergelijken waren: terugverdientijd (TVT), kosteneffectiviteit per ton CO₂-eq. reductiepotentieel (KE), winstgevendheidsindex (PI), kosten, winst en CO₂-eq. reductiepotentieel (of kort gezegd: CO₂-eq. reductie) per kilogram (kg) afgeleverd varkensvlees.

Bij de modelberekening zijn diverse aannames gehanteerd. De voornaamste aannames waren als volgt:

- Het aantal zonnepanelen is berekend op basis van het energieverbruik op het bedrijf (saldo verbruik-productie), waarbij het aansluitingstype dus niet verandert; bij kleine bedrijven gaat het om een kleine verbruikersaansluiting en saldering en middelgrote en grote bedrijven vallen onder grootverbruikers (> 3 x 80A aansluiting) en vallen hiermee onder de SDE++ subsidie (in dit rapport wordt het de SDE-subsidie genoemd).
- Bij maatregelen in combinatie met mono-mestvergisting is de capaciteit van de vergister berekend op basis van de mestproductie per bedrijfsgrootte en zijn er berekeningen gemaakt voor verschillende biogaspotentialen van de inputmest (40, 30 en 20 m³ biogas per m³ vleesvarkensmest en 20, 15 en 10 m³ biogas per m³ zeugenmest).
- Verschillende constanten zijn in het model opgenomen, zoals het elektriciteits-, gas- en brandstofverbruik per varken en mestproductie per diercategorie. Het is echter eenvoudig om deze

constanten in het model aan te passen. Voor elke bedrijfsgrootte zijn specifieke aannames gemaakt, die worden vermeld in de beschrijving van de bedrijfskenmerken.

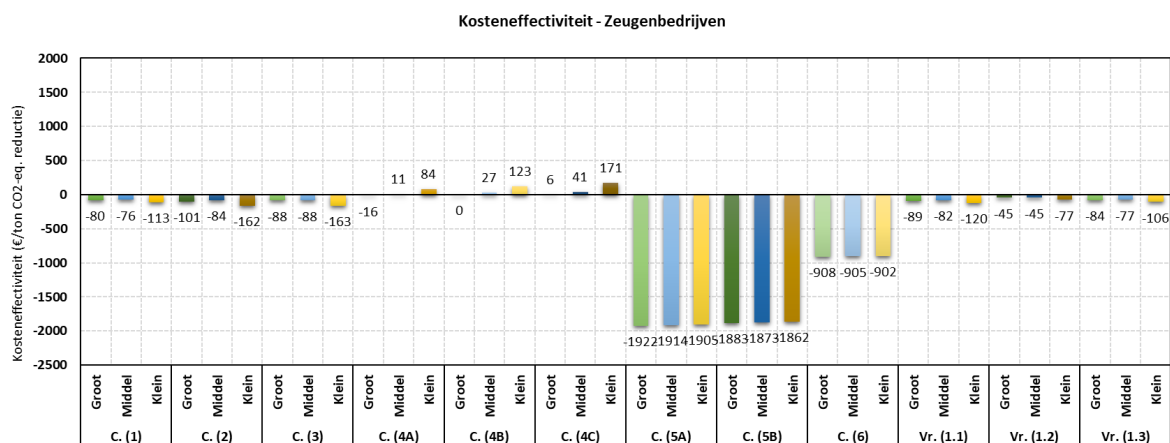
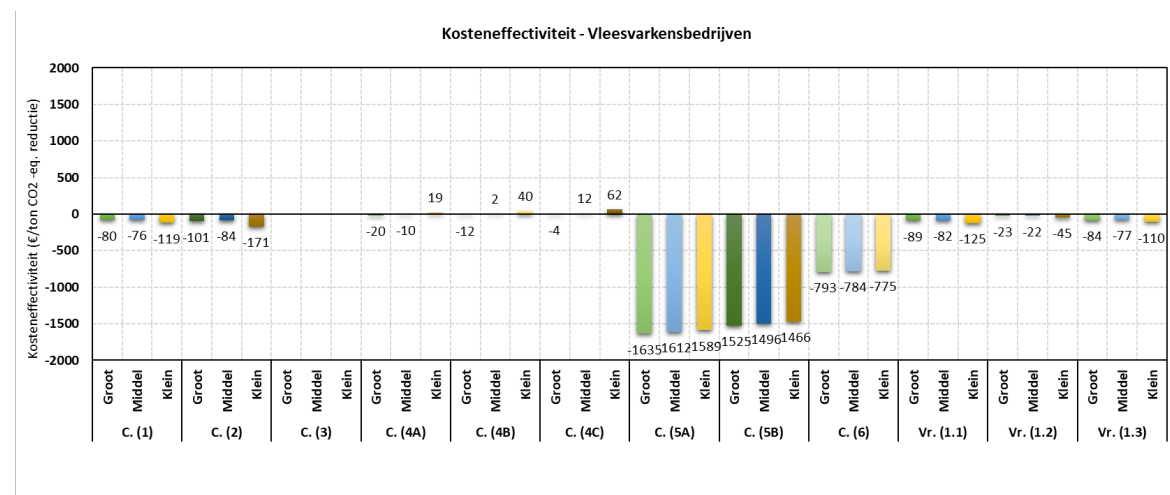


Figuur S1 De terugverdiertijd (TVT) van de verschillende combinaties voor vleesvarkens- en zeugenbedrijven.

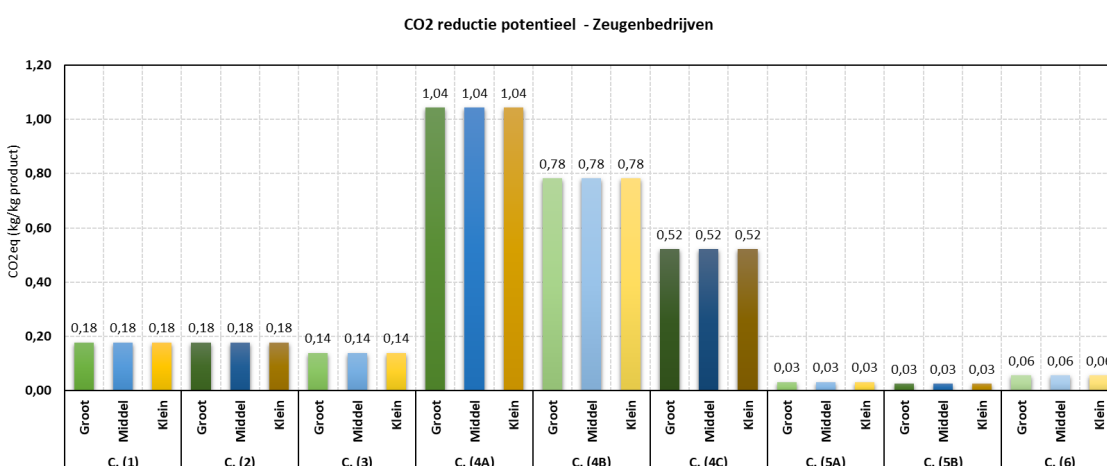
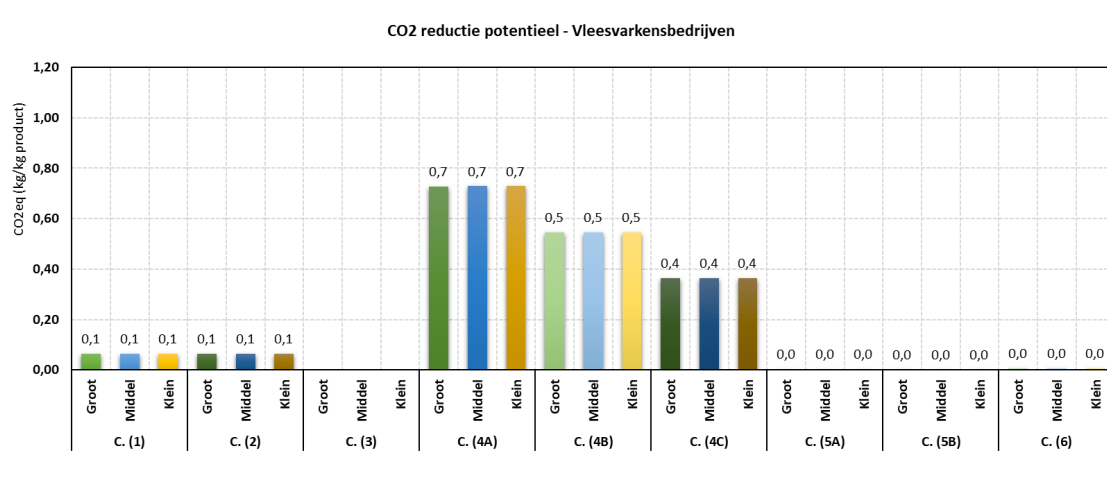
De resultaten (terugverdiertijd en kosteneffectiviteit) van de modelberekening voor de verschillende combinaties van maatregelen worden weergegeven in Figuur S1 – S3 en kunnen als volgt worden samengevat:

- De berekende TVT voor zonnepanelen (C1) varieert tussen 4,7 en 7,3 voor vleesvarkensbedrijven en 5,1 tot 7,3 voor zeugenbedrijven, met de kortste TVT voor kleinschalige bedrijven. Door de overtollige elektriciteit in een batterij op te slaan (C2), stijgt de TVT met minder dan 1 jaar op grote en middelgrote bedrijven en stijgt de TVT iets meer (circa 1,5 jaar) op kleinschalige bedrijven vanwege de hogere investeringsprijs per kWh van kleine batterijen.
- De kosteneffectiviteit van zowel scenario C1 en C2 is voor alle bedrijfsgroottes negatief. Reductie van CO₂-eq. via zonnepanelen (C1), eventueel in combinatie met batterijen (C2), levert dus geld op per ton gereduceerde CO₂-eq. (negatieve kosten = inkomsten). De kosteneffectiviteit is negatiever voor C2 vergeleken met C1, wat betekent dat CO₂-eq. reductie per ton CO₂-eq. reductie van C2 financieel voordeliger is dan van C1. Dit komt doordat de batterij opslag van de opgewekte elektriciteit op het eigen bedrijf mogelijk maakt, waardoor een veehouder minder elektriciteit meer hoeft in te kopen van het net.
- De combinatie van stalkoeling met een warmtewisselaar, warmtepomp en zonnepanelen (C3) is alleen doorgerekend voor zeugenbedrijven, vanwege het gebrek aan gegevens over toepasbaarheid van dit systeem op vleesvarkenshouders. Deze combinatie van maatregelen heeft een redelijke TVT van 7 jaar, gegeven het feit dat het bedrijf gasafhankelijk wordt of het gasverbruik sterk afneemt. De kosteneffectiviteit is gelijk aan C1 en C2. De negatieve KE laat zien dat deze maatregel per ton CO₂-eq.-reductie geld oplevert.

- De combinatie van dagontmesting en mestvergisting (C4) resulteerde veelal in een TVT langer dan 15 jaar, behalve bij grote bedrijven (TVT van 10,1 en 12,4 jaar voor respectievelijk vleesvarkensbedrijven en zeugenbedrijven). De kortere TVT op grotere bedrijven wordt voornamelijk veroorzaakt door de hogere productiecapaciteit, waardoor de inkomsten hoger zijn dan de investeringen. De lagere biogasopbrengst van de zeugenmest is te wijten aan het lagere biogaspotentieel uit zeugenmest (verhoging van TVT).
- Uit de berekeningen bleek dat mono-mestvergisting in combinatie met dagontmesting (C4) het hoogste CO_{2-eq.} reductie heeft (impactvolle combinatie voor milieuaspecten), terwijl de TVT het langst is (financieel minder aantrekkelijk). Een belangrijke conclusie is dat deze combinatie kansrijk is bij toepassing op grote varkensbedrijven als gerekend wordt met de hoogste biogasopbrengsten (40 m³ per m³ vleesvarkensmest en 20 m³ per m³ zeugenmest), omdat dat de meeste CO₂ reductie behaald kan worden met een TVT van respectievelijk 10,1 en 12,4 jaar.
- Het CO_{2-eq.} reductie per kg afgeleverd varkensvlees is het laagst bij combinaties C5 (warmtepomp) en C6 (warmtepomp i.c.m. warmteterugwinning uit de luchtwasser). De hoogste CO_{2-eq.} reductie per kg afgeleverd varkensvlees is berekend voor de combinaties met mestvergisting (C4).
- Voor vleesvarkens is de TVT van C5 tussen 4,1 tot 4,9 jaar, wanneer 100% van de verwarmings- en warmwaterbehoefte door een warmtepomp wordt geleverd (C5A). Door met deze combinatie in 80% van de verwarmingsbehoefte te voorzien (C5B), varieerde de TVT tussen 5,1 en 6,1 jaar. Deze combinatie heeft de meest negatieve KE van alle combinaties, wat betekent dat het per ton vermeden CO_{2-eq.} het meeste geld oplevert. Het reductiepotentieel is daarentegen laag. Dit komt door het hoge energieverbruik (elektriciteitsvraag) van de warmtepomp. Om de milieuvriendelijkheid te verbeteren, kan groene stroom worden ingezet als vervangende energiebron.
- De combinatie van een warmtepomp met warmteterugwinning uit de luchtwasser levert de laagste TVT op (1,5 tot 4,6 jaar) en een behoorlijk negatieve KE (levert geld op). Op zeugenbedrijven is de TVT lager dan op vleesvarkensbedrijven en is de KE het meest negatief. Dit kan worden verklaard door de hoge inkomsten ten opzichte van de kosten (negatieve netto kosten = opbrengsten) en een relatief laag CO₂-reductiepotentieel.
- Voor alle combinaties behalve de combinaties met monovergister op middel- en kleinschalige bedrijven (C4B en C4C) is een negatieve KE berekend. De meeste maatregelen om CO_{2-eq.} te reduceren leveren dus meer op dan dat ze kosten (Figuur S2).
- Uit de gevoeligheidsanalyse van de elektriciteitsprijs en investeringen van zonnepanelen bleek dat een verandering van 10% in de terugleverprijs van elektriciteit of in de investeringen van zonnepanelen beide een beperkt effect op de TVT had (max. 0,5 jaar) voor alle bedrijfstypes en -groottes. Uit de scenarioanalyse van mono-mestvergisting met en zonder subsidie op de overtollige warmte bleek dat het afschaffen van de subsidie leidt tot een stijging van de TVT met 5 tot 9 jaar op grote en middelgrote vleesvarkensbedrijven en met 4 tot 13 jaar op zeugenbedrijven. Een verandering van 10% in het warmtepomp rendement (ook wel Coëfficiënt van Prestatie (COP) genoemd) gaf de hogere gevoeligheid voor de TVT voor de vleesvarkensbedrijven (1,8 tot 2,3 jaar).



Figuur S2 De kosteneffectiviteit van verschillende combinaties op vleesvarkens- en zeugenbedrijven. Negatieve getallen geven aan dat een combinatie van maatregelen meer geld oplevert dan dat het kost (negatieve kosten).



Figuur S3 Reductiepotentieel van CO₂-eq per kg afgeleverd varkensvlees op vleesvarkens- en zeugenbedrijven.

Samenvattend zijn door middel van modelberekeningen de kansen voor de varkenshouderij op het gebied van de energietransitie en het verkleinen van de CO₂ emissie uit energie in kaart gebracht. Sommige maatregelen zijn eenvoudiger te implementeren dan anderen en er zijn grote verschillen in investeringen en bijbehorende kosten. Varkenshouders hebben de meeste belangstelling voor maatregelen of combinaties van maatregelen met een korte TVT en lage investeringen. Echter hebben de (combinaties van) maatregelen met een groot CO₂-eq. reductie momenteel nog een hoge TVT en vragen hoge investeringen en dat maakt dat de implementatie van deze maatregelen afhankelijk is van een sterk stimuleringsbeleid. Monovergisting van verse mest toonde is een perspectievolle maatregel voor energieopwekking en op eigen varkensbedrijf, maar de schaal van de energieopwekking bleek een beperkende factor. Financieel gezien bleek dit systeem efficiënter op grotere bedrijven met een hogere mestproductie. Het implementeren van een warmtepomp bij de verschillende combinaties levert snel geld op, terwijl de CO₂-eq. reductie beperkt blijft ten opzichte van andere combinaties.

De berekeningen in deze studie zijn gebaseerd op het huidige beleid, de huidige regelgeving en de aannames die zijn beschreven. Het is belangrijk op te merken dat toekomstig beleid, zoals de afbouw van de SDE-subsidie en salderen voor zonnepanelen, de kosteneffectiviteit en terugverdientijd van de combinaties kan beïnvloeden.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het hoofddoel van het nationale Klimaatakkoord is om 55% van de totale uitstoot van broeikasgassen (in CO₂-eq.) te verminderen in 2030 ten opzichte van 1990, tot zelfs 95% in 2050. Daarnaast is in het Klimaatakkoord de ambitie vastgelegd om in 2030 70% van alle elektriciteit uit hernieuwbare bronnen te halen (Rooijers *et al.*, 2022). Ook de varkenshouderijsector heeft ambities om het energieverbruik te verminderen door minder gebruik te maken van energie uit fossiele brandstoffen en meer hernieuwbare energie te produceren. Deze ambities zijn een belangrijke aanjager voor de ontwikkeling van duurzame energieproductie, maar men stuit ook op de beperkingen van bijvoorbeeld financiering en bestaande infrastructuur (zoals oude stalgebouwen of netaansluitingen met een laag vermogen).

De varkenshouderij streeft naar een energie- en klimaatneutrale varkensvleesproductie in 2050 door middel van het verlagen van het energieverbruik en het verhogen van de productie van hernieuwbare energie (POV, 2023). Hierdoor wordt direct bijgedragen aan de klimaatopgaves (CO₂-eq. reductie) en de energietransitie. De verwachting is dat de directe energiebesparing zich op korte termijn terugbetaalt, terwijl de productie van duurzame energie door zonnepanelen, windenergie en warmtepompen zich op de langere termijn terugbetaalt (Lintmeijer *et al.*, 2019; van Boxmeer *et al.*, 2023). Om ervoor te zorgen dat nieuwe maatregelen perspectief bieden aan de varkenshouders, is een eenvoudige rekentool nodig die helpt bij het nemen van beslissingen over de (combinatie van) maatregelen, door de effecten van verschillende aspecten (technische, economische en milieueffecten) op de bedrijfsprestaties in kaart brengt.

Dit onderzoek is onderdeel van de Publiek-private samenwerking (PPS) Vitale Varkenshouderij, waarin vijf ambities zijn gesteld om de varkenshouderij te ontwikkelen tot een duurzame keten met goede zorg voor de leefomgeving, een centrale positie in de circulaire economie, die energie- en klimaatneutraal produceert, die robuuste en gezonde dieren voortbrengt en met nieuwe verdienmodellen werkt aan een stevige internationale marktpositionering. Dit rapport komt voort uit werkpakket 3 'Erkende bijdrage aan klimaat- en energietransitie', wat focust op vermindering van methaanemissies uit de varkenshouderij, het behalen van de doelen uit het Klimaatakkoord, mogelijkheden voor een energieleverende varkenshouderij en mogelijkheden om energie uit te wisselen binnen de varkensketen. van Boxmeer *et al.* (2023) hebben mogelijkheden voor besparing, hergebruik en opwekking van energie op varkenshouderijbedrijven beschreven. Deze maatregelen zijn gedemonstreerd in zogenaamde 'opportunity dartboards'. De opportunity dartboards zijn ontwikkeld om de terugverdientijd (jaar) en de kosteneffectiviteit van het CO₂-eq. reductie (€/ton CO₂-eq.) van deze individuele mogelijkheden visueel weer te geven. De dartboards zijn daarom ingevuld met kwalitatieve informatie en de maatregelen kunnen niet één op één worden opgeteld. Daarom zijn, in een aantal overleggen met de projectklankbordgroep, perspectievolle combinaties van maatregelen geselecteerd. Vervolgens is een rekenmodel ontwikkeld om deze combinaties door te rekenen en te vergelijken op basis van een aantal indicatoren (terugverdientijd, kosteneffectiviteit per ton CO₂-eq. reductie, winst (of profit) per kg afgeleverd varkensvlees en CO₂-eq. reductie per kg afgeleverd varkensvlees en winstgevendheidsindex). De huidige rapportage presenteert dit rekenmodel en de resultaten van de technische, economische en milieu effecten van verschillende combinaties van maatregelen.

1.2 Doel

Dit onderzoek focust zich op het ontwikkelen van een rekenmodel dat kosten, baten, kosteneffectiviteit, terugverdientijd en de CO₂-eq. reductie van een aantal combinaties van maatregelen voor energieopwekking (zoals zonnepanelen en mestvergisters) vergelijkt. In dit rapport is het rekenmodel beschreven en zijn de resultaten van de modelberekeningen van verschillende combinaties van maatregelen voor verschillende bedrijfstypes (vleesvarkens en zeugen) en bedrijfsgroottes (groot, middelgroot en klein) in de varkenssector

opgenomen. Het ontwikkelde rekenmodel kan op maat worden gemaakt voor varkensbedrijven waar nieuwe maatregelen worden gecombineerd met de huidige energiemaatregelen. Het model is echter te complex om deze zonder voorkennis te gebruiken en aan te passen. Vandaar dat gekozen is om deze tool niet openbaar beschikbaar te maken.

2 Beschrijving van het rekenmodel

In dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe het rekenmodel de kosten, baten, terugverdientijd en kosteneffectiviteit van verschillende energiemaatregelen berekent. Het rekenmodel is gemaakt in Excel en heeft de volgende drie tabbladen:

- **Dashboard** (invoergegevens)
- **Resultaten** (weergave van de resultaten)
- **Rekenregels en aannames** (per maatregel)

Op het gebied van energieverbruik vertonen de zeugenhouderij en de vleesvarkenshouderij aanzienlijke verschillen (van Boxmeer *et al.*, 2023). Vooral in de zeugenhouderij in het kraamhok en bij de opfok van biggen is verwarming van belang. Verwarming en ventilatie moeten goed op elkaar zijn afgestemd om efficiënt met energie om te gaan en het stalklimaat gezond te houden. Bij vleesvarkens wordt op een deel van de bedrijven (beperkt) verwarming gebruikt bij het opleggen van biggen. Daarnaast is er op beide bedrijfstypen elektriciteit nodig voor ventilatie- en voersystemen en luchtwassers (Agrimatie, 2022). Daarom zijn in dit rekenmodel varkensbedrijven gecategoriseerd op basis van twee criteria:

- Type: vleesvarkens- en zeugenbedrijven.
- Grootte: groot, middelgroot en klein (op basis van het aantal dierenplaatsen).

Voor vleesvarkensbedrijven is uitgegaan van 6.000, 4.200 of 2.000 vleesvarkensplaatsen per bedrijf. Voor zeugenbedrijven is uitgegaan van 1.200, 750 of 300 zeugen per bedrijf. Deze categorieën zijn gekozen op basis van ervaring van deskundigen en getallen uit KWIN (2022).

Bovendien zijn er verschillen in het elektriciteitsverbruik van varkensbedrijven op basis van het gebruik van een luchtwasser. In het rekenmodel is het mogelijk om via een drop-down menu te kiezen of er wel of geen luchtwasser aanwezig is.

Dashboard

Om het rekenmodel te gebruiken zijn enkele basisbedrijfsgegevens vereist, zoals het aantal dieren, de richting en helling van het dak en het gebruik van een luchtwasser (ja/nee). Op dit blad zijn de cellen gecodeerd met twee kleuren. De oranje gemarkeerde cellen zijn de essentiële invoervelden en de blauw gemarkeerde cellen zijn berekend (bevatten formules) of kunnen worden ingevuld als voor die parameters bedrijfsspecifieke informatie beschikbaar is. Een aantal input gegevens moet worden geselecteerd in de drop-down keuzelijst (bijvoorbeeld de aanwezigheid van een luchtwasser). Instructies om deze velden in te vullen staan ook omschreven op dit blad. Een voorbeeld van het dashboard blad is weergegeven in Figuur 1.

Rekenmodel voor Perspectievolle Combinaties Varkenshouderij CoVIVA

Kleurcode: Verplichte input Optionele input

Toelichting	Bedrijf gegevens	Eenheid	Vleesvarkens			Zeugen		
			Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
U kunt hier het juiste antwoord uit de lijst selecteren.	Aansluiting- type	[-]	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen
U kunt hier het juiste antwoord uit de lijst selecteren.	Wordt er een luchtwasser gebruikt?	[-]	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen
	Aantal zonnepanelen	[-]	Eigen definitie	Eigen definitie	Eigen definitie	Eigen definitie	Eigen definitie	Eigen definitie
U kunt hier de juiste nummers invullen.	Aantal_dierplaatsen	[stuk]						
U kunt hier het juiste antwoord uit de lijst selecteren.	Helling van het dak	[°]	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen
U kunt hier het juiste antwoord uit de lijst selecteren.	Richting van de stal	[-]	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen
U kunt hier het juiste antwoord uit de lijst selecteren.	Richting van de panelen	[-]	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen
Dit is voor kleine gebruikers en nog niet toegepast in deze versie	Percentage van de elektriciteitsproductie dat m	%						
U kunt definiëren op basis van het gebruik van een luchtwasser of niet.	Direct eigen gebruik	%						
Standaard zonder luchtwasser = 40%, met luchtwasser = 65%								
Deze input is vereist voor variant 2 (V2)	Aantal zonnepanelen (indien eigen definitie)	[stuk]						
Deze input is vereist voor variant 3 (V3)	Vermogen zonnepaneel	[Wp]						
U kunt hier de juiste nummers invullen	Dagen negatieve stroomprijs zonnepanelen	[dag]						
U kunt hier het juiste antwoord uit de lijst selecteren.	EIA voor batterij	[-]	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen
U kunt hier het juiste antwoord uit de lijst selecteren.	SDE voor zonnepanelen	[-]	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen	Kiezen
Dit kan worden berekend. Anders kunt u de juiste nummers invullen.	Stroomverbruik	[kWh/jaar]						
Dit kan worden berekend. Anders kunt u de juiste nummers invullen.	Gasverbruik	[m3/jaar]	-	-	-	-	-	-
Dit kan worden berekend. Anders kunt u de juiste nummers invullen.	Brandstofverbruik	[L/jaar]	-	-	-	-	-	-
Dit kan worden berekend. Anders kunt u de juiste nummers invullen.	Totale mest productie	[m3/jaar]	-	-	-	-	-	-
Dit kan worden berekend. Anders kunt u de juiste nummers invullen.	Ventilatie behoefte-min	[m3/uur]	-	-	-	-	-	-
Dit kan worden berekend. Anders kunt u de juiste nummers invullen.	Ventilatie behoefte-max	[m3/uur]	-	-	-	-	-	-
Dit kan worden berekend. Anders kunt u de juiste nummers invullen.	Oppervlakte op dak voor zonnepanelen	[m2]	-	-	-	-	-	-
Dit kan worden berekend. Anders kunt u de juiste nummers invullen.	Productie (varkensvlees)	[kg/jaar]	-	-	-	-	-	-

Figuur 1 Dashboard-blad met de benodigde invoergegevens in het rekenmodel. Gele velden zijn essentieel om in te vullen en het model werkt niet zonder deze input. Blauwe velden worden berekend (bevatten formules), maar kunnen ook ingevuld worden als deze specifieke informatie beschikbaar is.

Resultaten

Door de gewenste combinaties te selecteren, worden de resultaten weergegeven in zowel een tabel als in grafieken. Het is mogelijk om de de resultaten per combinatie te bekijken en samen te vatten op het resultatenblad. Een illustratie van dit blad is te vinden in Figuur 2.

Rekenmodel voor Perspectiefvolle Combinaties Varkenshouderij CoViVa	
Selecteer het scenario één voor één uit het menu en vul niet in door te slepen.	
(1) Zonnepanelen	Ja
(2) Zonnepanelen + batterij	Ja
(3) Zonnepanelen + stalkoeling	Kiezen
(4A) Monovergisten + dagontmesting [maximale biogasopbrengst per kuub ingaande mest]	Ja
(4B) Monovergisten + dagontmesting [75% lagere biogasopbrengst per kuub ingaande mest]	Kiezen
(4C) Monovergisten [50% lagere biogasopbrengst per kuub ingaande mest]	Kiezen
(5A) Warmtepomp (+ verwarmingsketel) [100% verwarming en warm water door warmtepomp]	Kiezen
(5B) Warmtepomp (+ verwarmingsketel) [80% van verwarming en warm water door warmtepomp]	Kiezen
(6) Warmtepomp + warmteterugwinning uit luchtwater	Kiezen
Selecteer de variant in het menu	
Vr. (1.1) - Curtailment tijdens pieken	Kiezen
Vr. (1.2) - Aantal zonnepanelen	Kiezen
Vr. (1.3) - Vermogen zonnepanelen	Nee
Selecteer de gewenste waarde voor de gevoeligheidsanalyse	
(1) Zonnepanelen -> op de Netto stroomprijs teruglevering (±)	0,1
(1) Zonnepanelen -> op de investeringskosten van zonnepanelen (±)	0,1

Vleesvarkens

Parameter	Eenheid	C. (1)			C. (2)		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	240.000	170.000	80.000	240.000	170.000	80.000
Gasverbruik	m3/jaar						
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	240.000	170.000	80.000	240.000	170.000	80.000
Totale netto investeringskosten	€	145.200	117.810	50.279	175.692	139.409	79.319
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	32.430	22.971	13.875	34.950	24.756	18.275
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	8.712	7.069	3.017	14.201	10.956	8.244
Jaarlijkse profit	€/jaar	23.718	15.902	10.858	20.749	13.800	10.031
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	29.526	20.615	12.869	29.606	20.672	14.946
Terugverdientijd	jaar	6,4	7,3	4,7	7,2	8,0	6,1
Kosteneffectiviteit	€/ton CO2-eq reductie	-80	-76	-119	-101	-84	-171
CO2eq reductie per kg product	kg CO2-eq/kg varkensvlees	0,064	0,065	0,064	0,064	0,065	0,064
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,01002	0,00960	0,01377	0,00877	0,00833	0,01272
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,00368	0,00427	0,00382	0,00600	0,00661	0,01045
Winstgevendheid index (PI)	-	3,1	2,7	4,0	1,9	1,6	2,1

Zeugen

Parameter	Eenheid	C. (1)			C. (2)		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	256.000	160.000	64.000	256.000	160.000	64.000
Gasverbruik	m3/jaar						
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	256.000	160.000	64.000	256.000	160.000	64.000
Totale netto investeringskosten	€	154.880	110.880	40.223	187.405	131.208	63.455
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	34.591	21.620	10.757	37.279	23.300	14.277
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	9.293	6.653	2.413	15.147	10.312	6.595
Jaarlijkse profit	€/jaar	25.299	14.967	8.343	22.132	12.988	7.681
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	31.494	19.402	9.952	31.580	19.456	11.614
Terugverdientijd	jaar	6,4	7,3	5,1	7,2	8,0	6,4
Kosteneffectiviteit	€/ton CO2eq	-80	-76	-113	-101	-84	-162
CO2eq reductie per kg product	kg CO2/kg varkensvlees	0,177	0,177	0,177	0,177	0,177	0,177
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,02756	0,02609	0,03635	0,02411	0,02264	0,03347
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,01012	0,01160	0,01052	0,01650	0,01797	0,02874
Winstgevendheid index (PI)	-	3,1	2,7	3,9	1,9	1,6	2,0

Figuur 2 Voorbeeld van het resultatenblad van het rekenmodel (boven: vervolgkeuzelijst om de gewenste combinaties te selecteren, beneden: de tabel met resultaten).

Naast de economische analyse voor elke combinatie zijn er gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op een aantal variabelen, zoals de investeringen of de prijs van de opgewekte energie. De gevoeligheidsanalyse wordt beschreven in paragraaf 2.2.

Aannames

Om de berekening uit te voeren, zijn een aantal parameters (zoals prijzen, technische gegevens en coëfficiënten) uit eerdere onderzoeken gehaald of zijn gebaseerd op marktwwaarden of persoonlijke communicatie. Uit de beschikbare normdocumenten is een aantal normen zoals emissiefactoren en conversiecoëfficiënten afgeleid (zie Bijlage 1). Deze informatie staat op een apart blad en wordt gebruikt in het rekenblad.

2.1 Rekenregels

Per combinatie en bedrijfstype zijn een aantal technische parameters berekend (o.a. energieproductie en -verbruik van een techniek, benodigde capaciteit van de combinatietechniek, overschot aan energie). In een volgende stap zijn een aantal parameters berekend: de investeringen, jaarlijkse onderhoudskosten en afschrijvingskosten als percentage van de investeringen, jaarlijkse kosten, besparingen en vermeden kosten, jaarlijkse baten, jaarlijkse kasstroom (cash flow) en het CO_{2-eq} reductiepotentieel. De jaarlijkse kasstroom (cash flow) is berekend op basis van de jaarlijkse baten minus de jaarlijkse kosten plus de afschrijvingskosten. Er wordt aangenomen dat de jaarlijkse kasstromen over de gehele levensduur van de investering gelijk zijn. De winst is berekend door de jaarlijkse kosten af te trekken van de jaarlijkse baten.

De terugverdientijd is de tijd die nodig is om met de opbrengsten de initiële investering terug te verdienen. In dit onderzoek werd de verdisconteerde terugverdientijd (VTVT), die in dit onderzoek TVT wordt genoemd, berekend. VTVT vertegenwoordigt de tijd die nodig is om de initiële investering terug te verdienen in termen van contante waarde. Oftewel de waarde van tijd wordt ook meegenomen in de berekening. Om de VTVT te bepalen zijn de investeringen gedeeld door de jaarlijkse kasstroom (cash flow) (zie vorige paragraaf), waarbij rekening wordt gehouden met de tijds waarde van geld door de toekomstige kasstromen te verdisconteren naar hun huidige waarde met behulp van rentetarieven (netto contante waarde (NCW)) (F.1).

$$TVT = \frac{\text{investeringskosten}}{\text{verdisconteerde jaarlijkse kasstroom (cashflow)}} \quad \text{F. 1}$$

Om de NCW te berekenen, worden de verwachte kasstromen over de looptijd van het project geschat en wordt de disconteringsvoet bepaald. De formule voor NCW is als volgt:

$$NCW = \sum_1^t \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad \text{F. 2}$$

Waarbij NCW de Netto Contante Waarde (d.w.z. Net Present Value) is, R_t de verwachte kasstroom op tijdstip t vertegenwoordigt, i de disconteringsvoet is (uitgaande van een disconteringsvoet van 4%) en t het aantal perioden is.

Kosteneffectiviteit van verschillende combinaties van maatregelen is berekend op basis van de netto kosten (kosten - inkomsten) die per ton CO_{2-eq} reductiepotentieel (of kort gezegd: CO_{2-eq}-reductie) gemaakt moeten worden (Lintmeijer *et al.*, 2019; van Boxmeer *et al.*, 2023). Bij een negatieve kosteneffectiviteit, zijn de jaarlijkse inkomsten dus hoger dan de jaarlijkse kosten. Kosteneffectiviteit van CO_{2-eq} reductie is een index om zowel de economische uitkomsten als de milieueffecten (CO_{2-eq} reductie) van één of meer maatregelen te onderzoeken in één kengetal. Het vergelijkt een maatregel met een andere maatregel (referentie situatie) door te schatten hoeveel het kost om een eenheid CO_{2-eq}-reductie te behalen gedurende de levensduur van de maatregel. De kosteneffectiviteit is een ratio van de netto kosten (kosten minus de inkomsten over de levensduur van de maatregel) gedeeld door veranderingen in de CO_{2-eq} reductie (F.3). De netto contante waarde van de kosten wordt op dezelfde methode geschat als in formule 2 beschreven. De CO_{2-eq} reductie (= vermeden CO_{2-eq}) is de som van de directe CO_{2-eq} reductie ten opzichte van de referentie systeem zonder de maatregel. Opgemerkt moet worden dat de CO_{2-eq} tijdens de productiecycclus van de technologieën (indirecte CO_{2-eq}) niet in de analyse zijn opgenomen (hieronder valt bijvoorbeeld CO_{2-eq} wat vrijkomt tijdens de productie van een zonnepaneel).

$$KE = \frac{NPV \text{ van kosten} - NPV \text{ van opbrengsten}}{CO_2 \text{ reductie over de levensduur}} \quad \text{F. 3}$$

Het kengetal kosteneffectiviteit KE, wordt vaak ingezet bij emissiereducerende maatregelen, die financieel meer kosten gedurende hun levensduur dan dat ze opleveren. In die gevallen is de KE positief en zijn maatregelen met een lage KE goedkoper per ton CO₂-eq. reductie dan maatregelen met een hoge KE. In dit rapport komen echter ook een aantal maatregelen voor waarbij de emissiereducerende maatregelen, over de gehele levensduur financieel meer opleveren dan dat ze kosten. In dat geval zal de KE van zo'n maatregel negatief zijn (de opbrengsten worden in dit kengetal weergegeven als negatieve kosten). Een maatregel die een sterk negatieve KE heeft, is dus financieel aantrekkelijk. Een maatregel met een voordelige kosteneffectiviteit, is niet per sé de beste maatregel, aangezien sommige maatregelen mogelijk een hele voordelige KE hebben (dus per ton CO₂ veel opleveren of weinig kosten), maar ook weinig reductiepotentieel hebben. Als liquiditeit en beschikbaarheid van geld om te investeren beperkt is, kan het dan interessant zijn om te investeren in maatregelen met een minder voordelige KE, maar een kortere TVT of groter CO₂-eq reductie. De KE is dus een nuttige index, die een beeld kan geven van de interactie tussen economische impact en reductie van CO₂-eq., maar brengt ook complexiteiten met zich mee die zorgvuldig in overweging moeten worden genomen. Daarom zijn ook andere indicatoren zoals kosten en winst per kg afgeleverd varkensvlees, CO₂-eq. reductie per kg afgeleverd varkensvlees en de winstgevendheidsindex (PI) berekend. Opgemerkt moet worden dat de KE alleen de kosteneffectiviteit voor de individuele varkensbedrijven omvat en niet de sociale of maatschappelijke KE, waarin ook de maatschappelijke kosten en baten van een maatregel worden meegenomen.

De kosten en winst per kg afgeleverd varkensvlees zijn berekend door de jaarlijkse kosten of jaarlijkse profit (winst) te delen door de kg afgeleverd varkensvlees (F. 4). De varkens- en biggenopbrengsten van de gemiddelde Nederlandse varkenshouderij zijn verkregen uit KWIN (2022) en staan weergegeven in Bijlage 1.

$$\text{Kosten (of winst) per eenheid product} = \frac{\text{Kosten (of winst)}}{\text{varkensvlees (kg levend gewicht)}} \quad \text{F. 4}$$

De CO₂-eq. reductie per kg afgeleverd varkensvlees is berekend voor het geschatte CO₂-eq. reductie, zoals hierboven beschreven, per kg aflevergewicht dat het bedrijf verlaat (F.5). Het levend eindgewicht van de varkens en biggen (afgeleverd varkensvlees) is berekend uit het gewicht van de vleesvarkens op vleesvarkensbedrijven en het gewicht van de verkochte biggen (Tabel B1.1).

$$\text{CO}_2 \text{ eq. reductie per kg afgeleverd gewicht} = \frac{\text{CO}_2 \text{ eq. reductiepotentieel}}{\text{varkensvlees (kg levend gewicht)}} \quad \text{F. 5}$$

De winstgevendheid index (PI, de zogenaamde profitability index) geeft de verhouding weer tussen de kosten en baten van een maatregel (F.6). Deze index geeft de aantrekkelijkheid van de investeringen weer. Een PI groter dan 1,0 vertegenwoordigt een investering die over de levensduur meer oplevert dan de initiële investering. Hogere waarden van de PI komen overeen met financieel aantrekkelijkere projecten.

$$PI = \frac{NPV \text{ kasstroom (cash flow)}}{\text{Totale investering}} \quad \text{F. 6}$$

2.2 Gevoeligheids- en scenarioanalyses

Voor enkele combinaties van maatregelen zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor een aantal onafhankelijk variabelen, zoals de hoogte van de investeringen of de prijs van de opgewekte energie per kWh. Het doel was om het effect van situaties te onderzoeken die, afhankelijk van de variabele, van invloed zijn op de TVT en de kosteneffectiviteit van CO₂-eq. reductie. De volgende gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd:

- Voor C1 zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor veranderingen in de prijs van teruggeleverde elektriciteit ($\pm 2,5\%$, $\pm 5\%$, $\pm 7,5\%$ and $\pm 10\%$) en de investeringen van zonnepanelen ($\pm 5\%$, $\pm 10\%$ and $\pm 15\%$). Ook worden de resultaten weergegeven voor situaties met SDE++-subsidie (met subsidie, in dit rapport wordt het SDE-subsidie genoemd) en zonder SDE-subsidie (zonder subsidie).
- Voor C4 zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor de verandering in de SDE-subsidie (met subsidie of zonder subsidie).
- Voor C5 en C6 zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor de verandering in de efficiëntie van de warmtepomp (Coëfficiënt van Prestatie (COP) van de warmtepomp ($\pm 5\%$, 10% , 15%)). Voor C5 en C6 is uitgegaan van een COP van 4, wat onder de maximale waarde van 5 ligt. Technologische vooruitgang kan de COP beïnvloeden, maar er zijn ook andere factoren die een rol spelen zoals seizoensvariëaties, slijtage en veroudering. Wel wordt aangenomen dat de investeringskosten constant blijven.

De formule voor het berekenen van de gevoeligheid kan worden weergegeven als:

$$GA_{TVT} = TVT \text{ na wijziging} - TVT \text{ voor wijziging} \quad \text{F. 7}$$

Waarbij GA_{TVT} is de gevoeligheid van TVT, $TVT \text{ na wijziging}$ is de uitkomst nadat de gespecificeerde parameter is gewijzigd. $TVT \text{ voor wijziging}$ is de uitkomst voordat de wijziging is doorgevoerd. Dezelfde formule werd gebruikt voor de gevoeligheidsanalyse van de kosteneffectiviteit (GA_{KE}). Een GA_{TVT} laat zien hoeveel de TVT verandert als gevolg van de verandering in de variabele van de gevoeligheidsanalyse. Een GA van $+0,5$ betekent bijvoorbeeld dat de TVT $0,5$ jaar langer wordt ten opzichte van de basis scenario (geen verandering in de onafhankelijke variabele). Wanneer de GA_{TVT} negatief is, wordt de TVT ingekort. Op dezelfde manier kan voor een positieve GA worden geïnterpreteerd dat de verandering in de onafhankelijke variabele heeft geresulteerd in minder geldelijke voordelen per ton CO₂-eq. reductie (een duurdere investering per ton CO₂-eq. reductie).

2.3 Bedrijfskenmerken

De belangrijkste bedrijfskenmerken voor de verschillende bedrijfstypes en -groottes zijn gegeven in Tabel 1. In de berekeningen in het model wordt er vanuit gegaan dat het type elektriciteitsaansluiting overeenkomt met de opgewekte elektriciteit. Daarom wordt het aantal zonnepanelen berekend op basis van het werkelijke elektriciteitsverbruik per bedrijfsgrootte. In deze berekeningen worden geen aanpassingen gedaan aan het type aansluiting. Als veehouders een grotere aansluiting willen, brengt dit aanvullende meerdere kosten en aanvragen met zich mee.

De beschikbare ruimte op het dak wordt berekend op basis van de standaard beschikbare ruimte per varken, het type bedrijf en het aantal dierplaatsen (zie Tabel B1.1 in Bijlage 1).

Tabel 1 Model bedrijfskenmerken van verschillende varkensbedrijven.

Bedrijf gegevens	Eenheid	Vleesvarkens			Zeugen		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Aantal dierplaatsen	stuk	6000	4200	2000	1200	750	300
Aansluiting	-	> 3 * 80A	> 3 * 80A	< 3 * 80A	> 3 * 80A	> 3 * 80A	< 3 * 80A
Stroomverbruik - zonder luchtwasser	kWh/jaar	140.000	100.000	50.000	223.000	140.000	56.000
Stroomverbruik - met luchtwasser	kWh/jaar	240.000	170.000	80.000	256.000	160.000	64.000
Gasverbruik	m ³ /jaar	21.000	14.700	7.000	78.000	48.750	19.500
Brandstofverbruik (diesel)	L/jaar	7.800	5.460	2.600	2.700	1.800	900
Mest productie	m ³ /jaar	7.200	5.040	2.400	6.360	3.975	15.90
Ventilatie behoefte - minimum	m ³ /uur	90.000	63.000	30.000	30.000	18.750	7.500
Ventilatie behoefte - maximum	m ³ /uur	480.000	336.000	160.000	180.000	112.500	45.000
Oppervlakte op dak voor zonnepanelen	m ²	6.200	4.300	2.100	2.100	1.300	500
Productie (afgeleverd varkensvlees)	kg/jaar	2.366.208	1.656.346	788.736	918.000	573.750	229.500

3 Beschrijving van de combinaties en de aannames

In dit hoofdstuk worden de combinaties van maatregelen beschreven, evenals de aannames van elke combinatie voor de modelberekening. De resultaten van de doorgerekende combinaties van maatregelen worden weergegeven in Hoofdstuk 4. De volgende combinaties van maatregelen zijn doorgerekend:

- (1) Zonnepanelen
- (2) Zonnepanelen + batterij
- (3) Zonnepanelen + stalkoeling
- (4A) Monovergisten + dagontmesting [maximale biogasopbrengst per kuub ingaande mest]
- (4B) Monovergisten + dagontmesting [75% van de maximale biogasopbrengst per kuub ingaande mest]
- (4C) Monovergisten [50% van de maximale biogasopbrengst per kuub ingaande mest]
- (5A) Warmtepomp (+ verwarmingsketel) [100% verwarming en warm water door warmtepomp]
- (5B) Warmtepomp (+ verwarmingsketel) [80% van verwarming en warm water door warmtepomp]
- (6) Warmtepomp + warmteterugwinning uit luchtwasser

3.1 Zonnepanelen (C1)

De eerste combinatie die doorgerekend is de productie van duurzame elektriciteit met zonnepanelen (C1). Omdat in de conventionele varkenshouderij de varkens in gesloten stallen worden gehouden, bieden de stallen een relatief groot dakoppervlak en heeft zonne-energie in de varkenshouderij grote potentie. Uiteraard kunnen er op bedrijfsniveau verschillen zijn in het beschikbare dakoppervlak, afhankelijk van de opzet van de varkensstallen. Om zoveel mogelijk zonnestralen te kunnen opvangen, zijn vooral de richting en helling van het dak van de stal van belang. In Tabel 2 is het effect van de richting en helling op de opbrengst van zonnepanelen weergegeven. In het rekenmodel dient deze maatregel (C1) als het referentiescenario voor combinaties C2 en C3.

Tabel 2 Effect van richting en helling van het dak op de elektriciteitsopbrengst van zonnepanelen (in%).

Richting van de panelen	Helling schuin dak			
	15°	30°	45°	60°
West	85%	80%	75%	70%
Zuidwest	90%	95%	95%	90%
Zuid	95%	100%	100%	95%
Zuidoost	90%	95%	90%	85%
Oost	85%	80%	75%	70%
Noordoost	75%	65%	55%	45%
Noord	75%	60%	45%	35%
Noordwest	75%	65%	55%	50%

* 100 procent betekent: de hoogst mogelijke opbrengst van zonnepanelen.

* Source: Milieucentraal (2023b)

Een lijst met de aannames voor de verschillende combinaties van maatregelen is opgenomen in Bijlage 1. In Tabel 3 zijn de aannames gegeven voor C1. De uitgangspunten voor deze combinatie zijn:

- Berekend is hoeveel wattpiek aan zonnepanelen gerealiseerd kan worden binnen de capaciteit van de huidige aansluiting van elk bedrijfstype en -grootte. Kosten die gepaard gaan met het aanpassen

van de netaansluiting zijn niet meegenomen in de berekeningen. De benodigde omvang van de installatie is zo berekend dat het eigen elektriciteitsverbruik wordt gecompenseerd.

- Het maximale aantal zonnepanelen is geoptimaliseerd voor het beschikbare dakoppervlak en de maximale belasting van de aansluiting. Er is geen rekening gehouden met bijvoorbeeld de draagkracht van de dakconstructie of benodigde bouwkundige aanpassingen.
- In dit rapport is uitgegaan van een zuidelijke richting en een hellingshoek van 45% voor de zonnepanelen op het dak. Er wordt verondersteld dat 10% van het dakoppervlak niet geschikt is vanwege obstakels, dakranden en sterkte van het dak.
- Het directe eigen verbruik¹ van de opgewekte elektriciteit voor alle bedrijfstypen met luchtwater is 65% en voor bedrijven zonder luchtwater 40%.
- Elektriciteit die niet zelf gebruikt wordt, wordt aan het net geleverd. Elektriciteit die op het moment van gebruik niet zelf geproduceerd wordt, wordt door het elektriciteitsnet geleverd. De veronderstelde terugleverprijs is €0,09 per kWh (exclusief de energiebelasting en de BTW).
- Er wordt uitgegaan van 1,1 Wattpiek (Wp) installatie per kWh op te wekken elektriciteit. Dit is een optimale opstelling van de PV-panelen gericht op het zuiden. Op basis van de richting en helling wordt op deze waarde een correctiecoëfficiënt uit Tabel 2 toegepast.
- De investeringen per Wp zijn €0,55 – 0,70 (excl. BTW).
- De jaarlijkse kosten voor schoonmaken en vervangen omvormers (na 10-15 jaar) bedragen 2% van de totale investering.
- Klein verbruikers (minder dan 3 x 80 A) kunnen gebruik maken van Energie-Investeringsaftrek (EIA) en kunnen salderen (KWIN, 2022). De EIA-subsidie is gesteld op 45% van de investeringen en het maximumbedrag is €750 per kW piekvermogen.
- In deze studie is de afschaffing van de saldering niet in overweging genomen.
- Grootverbruikers (meer dan 3 x 80 A) kunnen gebruik maken van SDE (KWIN, 2022). De SDE-subsidie is gesteld op €0,065 per kWh (aansluiting meer dan 3 x 80 A). Verwacht wordt dat deze subsidie na 2025 vervangen wordt met een versoberde maatregel, daarom is de situatie met SDE subsidie en zonder SDE subsidie doorgerekend.
- De CO₂-eq. reductie kan worden berekend als het verschil tussen de CO₂-eq van reguliere elektriciteit (volgens de Nederlandse elektriciteitsmix) en de groene stroom van zonnepanelen.

Tabel 3 Aannames van combinatie C1.

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron
Omrekenfactor WP-kWh	Wp/kWh	1,1	KWIN (2022)
Investerings	€/Wp	0,55 – 0,70	KWIN (2022)
Onderhoudskosten (% van investeringen)	%	2	KWIN (2022)
Netto SDE-subsidie	€	0,065	KWIN (2022)
Netto stroomprijs terugleverprijs	€	0,09	KWIN (2022)
Levensduur (panelen)	jaar	25	KWIN (2022)
Capaciteit zonnepaneel (bij 3 x 80 A)	Wp	370	Aanname (gegevens uit 2021)
Afmeting zonnepanelen (B x L)	m	1,8 x 1,0	Aanname

Varianten voor C1

De markt voor zonnepanelen verandert steeds meer, doordat de vraag naar duurzaam opgewekte elektrische energie groeit. Op zonnige dagen kunnen kleinverbruikers ($\leq 3 \times 80$ Ampère) last krijgen van omvormerstoringsen als gevolg van spanningsstijgingen. Voor grootverbruik aansluitingen heeft de sector al afspraken over lagere aansluitwaarden, die mogelijk ook in de SDE worden ingevoerd, waardoor stroom niet op elk moment volledig aan het net geleverd mag worden (RVO, 2022). Door deze uitdagingen en de te verwachten wijzigingen in de energiemarkt zijn in dit onderzoek 3 varianten van combinatie 1 doorgerekend:

V1. Curtailment tijdens pieken

Curtailment is de opzettelijke (tijdelijke) vermindering van de capaciteit om vraag (consumptie) en aanbod (productie) van energie in evenwicht te brengen of vanwege transmissiebeperkingen (RVO, 2022). Dit betekent dat zonnestroominstallaties op dagen met veel zon en wind uitgezet worden om overbelasting van

¹ Direct eigen verbruik is stroom die opgewekt wordt en meteen op bedrijf verbruikt wordt.

het netwerk te voorkomen. In deze variant hebben we onderzocht wat het gevolg is van curtailment op de business case. Curtailment is geschikt voor grootverbruikers met een elektriciteitsaansluiting die groter is dan 3x80 A (Liander, 2023). Bij curtailment wordt de elektriciteitsopwekking van zonnepanelen, en de daarmee gepaarde hoge terug-levering op het net, tijdelijk beperkt op momenten van hoge productie, door de zonnepanelen uit te schakelen. Door het uitschakelen van de zonnepanelen kan er minder worden verdiend aan de geleverde elektriciteit en daarom betaalt de energieleverancier een vergoeding voor het uitschakelen van de zonnepanelen. Voor de gemiste productie zal een bedrag van €0,08 per niet geproduceerde kWh aan de varkensbedrijven betaald worden.

Het aantal dagen per jaar dat dit zal optreden is ingeschat op basis van het voorkomen van negatieve energieprijzen. In dit rapport is geschat dat de energieprijzen gedurende 30 dagen ($30 \times 24 = 720$ uur) verspreid over een jaar negatief zijn.

V2. Aantal zonnepanelen

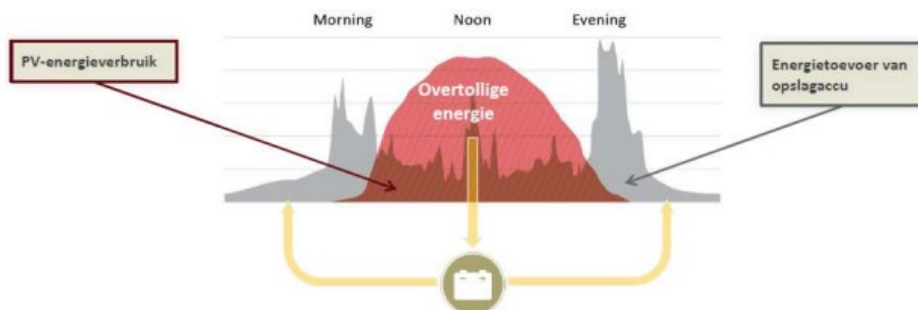
In het rekenmodel wordt het aantal zonnepanelen bepaald op basis van de werkelijke energievraag van het varkensbedrijf. In deze variant is de impact op de kosten en baten, CO₂-eq. reductie en kosteneffectiviteit van CO₂-eq. reductie onderzocht indien er sprake is van meer of minder zonnepanelen dan nodig voor het compenseren van het eigen elektriciteitsverbruik. In dit rapport wordt de impact onderzocht van het vergroten van het aantal zonnepanelen om de beschikbare oppervlakte op het dak te bedekken. Voor vleesvarkens- en zeugenhouderijen is het aantal zonnepanelen respectievelijk met een factor 2 en 1,5 verhoogd.

V3. Vermogen zonnepanelen

Een andere mogelijkheid is om zonnepanelen van vergelijkbare oppervlakte te plaatsen met een hoger of lager vermogen (in Wp). In deze variant is onderzocht wat er gebeurt als het vermogen van zonnepanelen toeneemt van 370 naar 450 Wp bij gelijkblijvende investering; zodat alleen het effect van een hogere capaciteit op de kosten en baten kan worden beoordeeld. Door deze aanname is voorzichtigheid geboden bij de interpretatie van de resultaten in relatie tot de andere combinaties.

3.2 Zonnepanelen + batterij (C2)

De elektriciteit die wordt opgewekt door PV zonnepanelen kan worden opgeslagen in batterijen. Hiermee kan overdag opgewekte stroom bijvoorbeeld 's nachts worden gebruikt en hoeft deze energie niet terug geleverd te worden aan het elektriciteitsnet. Een conceptuele weergave van het combineren van batterijen met zonnepanelen is weergegeven in Figuur 3. Een stap verder is een systeem om slim energie aan te kopen en weer te verkopen. Zo wordt, afhankelijk van de elektriciteitsprijs, stroom opgewekt, opgeslagen, gebruikt, gekocht of verkocht. Hiermee wordt overbelasting van het net voorkomen en dergelijke systemen kunnen de netbeheerkosten verlagen. In gebieden met een beperkte netcapaciteit biedt dit uitkomst (RVO, 2022). De komende jaren wordt, gedreven door netcongestie, een sterke groei van grootschalige batterijen achter-de-meter verwacht (RVO, 2023).



Figuur 3 Schematische weergave van het combineren van batterijen met zonnepanelen (Spruijt and Terbijhe, 2016).

Een lijst met de aannames voor deze combinatie is in Tabel 4 weergegeven. De uitgangspunten voor deze combinatie zijn:

- Overtollige elektriciteit die wordt opgewekt door zonnepanelen wordt opgeslagen in de batterij. Deze elektriciteit wordt gebruikt tijdens de nacht of op bewolkte dagen wanneer de productie van zonne-energie minimaal is. Daarom worden de kosten en baten van het plaatsen van zonnepanelen op het dak in C1 (behalve de baten van elektriciteit opgeslagen in de batterij voor verder gebruik en niet terug geleverd aan het net) meegenomen.
- Er is geen sprake van salderen en het deel van de opgewekte elektriciteit wat niet direct zelf gebruikt wordt, is als overtollig gedefinieerd. De overtollige productie wordt opgeslagen in batterijen voor gebruik tijdens de nacht of op bewolkte dagen.
- Op basis van het overschot aan elektriciteit word de benodigde batterijcapaciteit berekend.
- In deze modelberekeningen is geen rekening gehouden met een systeem voor slim beheer van de batterij en de optimalisatie van de stroomtoevoer en -afname van het net en prijschommelingen.
- De investeringen en terugverdientijd worden sterk beïnvloed door de batterijcapaciteit. De investeringen van een kleine batterij (< 40 kWh) wordt ingeschat op €800 per kWh en van een grote batterij (> 40 kWh) op €500 per kWh.
- De levensduur van een batterij is 15 jaar.
- Jaarlijkse onderhoudskosten zijn 2% van de investeringen.
- De vermeden kosten van deze combinatie worden veroorzaakt door de opslag van opgewekte elektriciteit uit zonnepanelen en het gebruik daarvan op het varkensbedrijf op het moment dat er geen zonnestroom wordt geproduceerd.
- De CO₂-eq. reductie is berekend door de geschatte CO₂-eq. reductie van alle opgewekte elektriciteit op het bedrijf.
- De CO₂-eq. reductie van de combinatie van de elektriciteitsopwekking door de zonnepanelen en batterij komt door de lagere carbon footprint van geproduceerde groene stroom i.p.v. grijze stroom (emissiefactor voor reguliere elektriciteit volgens de Nederlandse elektriciteitsmix in tabel B1.2).

Tabel 4 Aannames van combinatie C2.

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron
Investeringen- batterij groot (> 40 kWh)	€/kWh	500	Veefkind (2019); Boerderij (2022)
Investeringen- batterij klein (< 40 kWh)	€/kWh	800	Veefkind (2019); Boerderij (2022)
Levensduur (batterij)	jaar	15	Aanname
Onderhoudskosten (% van investeringen)	%	2	Aanname

3.3 Zonnepanelen + stalkoeling voor zeugenbedrijven (C3)

Om het stalklimaat in de zomer voldoende koel te houden, kunnen varkensstallen worden gekoeld met een koelsysteem. Eén van deze koelsystemen werkt met een koelmachine om water af te koelen tot 10°C en dit op te slaan in een buffervat. Vanuit het buffervat gaat het koude water naar een warmtewisselaar bij de luchtinlaat van de stal, waar de inkomende lucht gekoeld wordt. Het opgewarmde water gaat terug naar het buffervat, waar het vervolgens weer gekoeld wordt door de koelmachine (bijvoorbeeld zoals ontwikkeld door Inno+). Stalkoeling met een koelmachine in combinatie met zonnepanelen kan een optimale combinatie zijn, omdat op warme dagen de koeltevraag (dus het energieverbruik van de stalkoeling) het hoogst is, maar ook de productie van zonne-energie dan piekt. Bijkomend voordeel is dat het verbeterde stalklimaat kan leiden tot betere prestaties van de dieren en een lagere ventilatiebehoefte.

Een lijst met de uitgangspunten voor deze combinatie zijn opgenomen in tabel 5. De uitgangspunten voor deze combinatie zijn:

- Dit scenario is alleen berekend voor zeugenbedrijven. Voor vleesvarkensbedrijven zou dit systeem ook geschikt zijn, maar vanwege een gebrek aan betrouwbare economische informatie is dit scenario voor deze categorie niet doorgerekend.
- Het is aangenomen dat met dit systeem 3 - 5 graden temperatuurdaling van de inkomende lucht naar zeugen afdelingen kan worden behaald.

- Het is aangenomen dat het stal koelsysteem aan gaat als de temperatuur buiten de stal hoger is dan 17-18°C. Per jaar is dit gemiddeld 2.000 uur.
- Om de benodigde koelcapaciteit te berekenen, is de gemiddelde hoeveelheid ventilatie geschat aan de hand van de maximale ventilatiebehoefte voor een zeugenstal.
- Om de totale kWh-elektriciteitsbehoefte voor dit systeem te berekenen, wordt het benodigde vermogen (kW) bepaald op basis van de energiebehoefte voor het verlagen van de temperatuur van de binnenkomende lucht. Wetende dat 1 kW elektriciteit 2,7 kW koelenergie kan produceren (EER – Energy Efficiency Ratio van een koelsysteem), kan worden berekend hoeveel elektriciteit nodig is om een bepaalde koeling (in dit geval 5 graden) te leveren binnen werkuren van 2.000 per jaar voor dit systeem 9totake uren wanneer de buitentemperatuur te hoog is).
- Het extra aantal zonnepanelen dat nodig is om duurzame elektriciteit op te wekken voor het stalkoelingssysteem is berekend met dezelfde aannames en berekeningsmethode als beschreven voor C1. Het geschatte aantal zonnepanelen is bedoeld om de benodigde elektriciteit voor het stalkoelingssysteem te leveren. Daarom zijn de extra zonnepanelen in deze combinatie alleen bedoeld voor stalkoeling.
- Er zijn twee baten berekend namelijk: 1) bij de zeugen kan een verbeterd klimaat en koeling in de warme periodes mogelijk leiden tot meer biggen (0,45 biggen per zeug)(Inno+, 2022b); en 2) vermindering van de vereiste ventilatiecapaciteit, omdat op warme dagen minder geventileerd hoeft te worden (Inno+, 2021b, a).
- In dit scenario wordt de CO₂-reductie veroorzaakt door een verminderde ventilatie vergeleken met het referentiescenario, waarin geen stalkoeling wordt toegepast en de ventilatie-energie uit grijze stroom wordt geleverd. Er is van uitgegaan dat het energiegebruik van het stalkoelingssysteem uit groene stroom wordt geleverd. De instraling/warmteaanvoer via de stal zelf wordt in deze berekeningen niet meegerekend.
- In deze modelberekening is geen rekening gehouden met andere aspecten, zoals bijvoorbeeld een beter stalklimaat, hogere voerefficiëncy en verhoging dierenwelzijn.

Tabel 5 Aannames van combinatie C3.

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron
Gemiddelde koelperiode	uur/jaar	2000	Inno+ (2022b)
Verminderde ventilatie behoefte	%	30	Inno+ (2022b)
Energieverbruik ventilatie	%	70	Kramer <i>et al.</i> (2006); Kasper and Ellen (2014)
Vermogen (koeling : elektriciteit)	kW/kW	2,7	Inno+ (2022a)
	€/zeug	200	Aanname
Jaarkosten (onderhoud)	%	3	Aanname
Verhoging productiviteit- zeugen bij verbetering stalklimaat	big/zeug	0,45	Inno+ (2022a)

3.4 Dagontmesting + Monomestvergisten (C4)

Bij mestvergisting wordt organische stof in de mest door bacteriën omgezet in biogas. Deze omzetting vindt in elke mestopslag al plaats, maar in een mono-mestvergister gebeurt dit onder gecontroleerde en optimalere omstandigheden en wordt het geproduceerde gas opgevangen. De hoogste biogasopbrengst kan behaald worden door de mest zo vers mogelijk te vergisten. Hiervoor dient de mest dagelijks uit de stallen verwijderd te worden (dagontmesting). Met mono-mestvergisting wordt hernieuwbare energie geproduceerd, namelijk elektriciteit of gas door warmte en elektriciteit via warmtekrachtkoppeling (WKK). Naast de productie van duurzame energie wordt de emissie van broeikasgassen uit de mest verminderd. Dagontmesting kan de totale emissies van methaan uit mest met meer dan 85% reduceren (Booijen *et al.*, 2023).

De voordelen en de vermeden kosten door het vergisten van de mest zijn:

- SDE-subsidie voor de opgewekte elektriciteit van WKK;
- Voordelen van het verbruiken van duurzame elektriciteit in plaats van grijze stroom;
- Vermeden kosten door de vermindering van het volume van de mestafvoer;
- Levering van overtollige elektriciteit aan het net.

Een lijst met de aannames en uitgangspunten zijn in onderstaande opsomming gegeven, verderop in Tabel 6 zijn de veronderstelde waarden gegeven.

- Deze combinatie gaat uit van een varkenshouderij met een dagontmestingsstelsel en een mono-mestvergister op het eigen bedrijf, waarna het geproduceerde biogas door middel van een WKK omgezet wordt in elektriciteit en warmte.
- Er zijn berekeningen gemaakt voor verschillende biogaspotentialen van de invoermest (40 m³ als maximaal biogaspotentieel (C4A), 30 m³ als 75% van het maximale biogaspotentieel (C4B) en 20 m³ als 50% van het maximale biogaspotentieel per m³ vleesvarkensmest en 20, 15 en 10 m³ biogas per m³ zeugenmest, met dezelfde naamgeving van de scenario's).
- Er wordt bij C4B en C4C oudere mest vergist, dus minder biogas gewonnen. Die systemen stoten dus meer methaan uit de stal uit. Daarom komen de combinaties C4B en C4C uit op een methaanreductie van 75% en 50% uit de stal in plaats van 85% bij C4A.
- Voor deze combinatie zijn de investeringen voor de aanleg voor het dagontmestingsstelsel meegenomen. De kosten zijn gebaseerd op de kosten per vleesvarken van de Stal van de Toekomst (Persoonlijke communicatie met varkenshouders van de Stal van de Toekomst, 2022). Voor zeugen werden de kosten berekend op basis van de benodigde oppervlakte per dier.
- Omdat de energetische waarde van dagverse mest een factor 4 hoger is dan van mest die van enkele weken oud is, wordt aangenomen dat 1 kuub dagverse vleesvarkensmest gemiddeld 40 m³ biogas oplevert. Omdat in de praktijk mest van verschillende ouderdom wordt vergist, zijn verschillende gasopbrengsten doorgerekend. Naast 40 m³ biogas per kuub mest zijn ook gasopbrengsten van 30 en 20 m³ gas per kuub mest doorgerekend. Zeugenmest bevat minder organische stof daarom zijn hier de biogas opbrengsten gehalveerd namelijk 20, 15 en 10 m³ biogas per kuub zeugenmest (Gollenbeek, 2021).
- De elektriciteit die voor de vergister nodig is, wordt afgenomen van de eigen opgewekte elektriciteit (6% van de totale met biogas opgewekte elektriciteit).
- De vollasturen van de vergister zijn ingeschat op 6.374 uur per jaar (van der Welle *et al.*, 2020).
- Het veronderstelde elektrische en thermische rendement van de WKK is respectievelijk 32% en 45%.
- De investeringen van de vergister, WKK, WKK-container, gasdicht maken van bestaande mestopslag zijn gebaseerd op de totale investeringen van mono-vergisters op verschillende schalen per varkenscategorie van het rekenmodel van het project NL Next Level Mestverwaarden (Gollenbeek, 2021).
- Voor de onderhoudskosten is uitgegaan van 6% van de totale investeringen.
- De netto SDE-subsidie op elektriciteit is gesteld op €0,065 per kWh.
- De netto prijs voor teruggeleverde elektriciteit is gesteld op €0,09 per kWh.
- De veronderstelling is dat het deel van de warmte dat ingezet wordt voor het verwarmen van de vergistingsinstallatie niet gesubsidieerd wordt (dit deel van de warmte-energie valt niet onder de SDE-subsidie). Voor de resterende geproduceerde warmte geldt een SDE-subsidie.
- Het volume van het digestaat zal door het vergistingsproces met 5% afnemen ten opzichte van de ingaande mest. Daarom is ervan uitgegaan dat de mestafvoerkosten van het digestaat 5% lager zijn dan de mestafvoerkosten in de reguliere situatie.
- Voor de afzetkosten van digestaat is uitgegaan van €18 per m³, gelijk aan de mestafzetkosten.
- Potentieel voor CO₂-eq. reductie is berekend door vervanging van grijze stroom door groene stroom uit biogas.
- Er is uitgegaan van een lekkage van methaan uit de vergisters en de WKK-installatie van 2,5% (Hou, 2016; Pardo *et al.*, 2017).

Tabel 6 Aannames van combinatie C4.

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron
Investeringen - dagontmesting - Klein - VI.V.	€/vleesvarken plaats	150	Persoonlijke communicatie, Stal van de Toekomst
Investeringen - dagontmesting - Middel - VI.V.	€/vleesvarken plaats	125	Persoonlijke communicatie, Stal van de Toekomst
Investeringen - dagontmesting - Groot - VI.V.	€/vleesvarken plaats	100	Persoonlijke communicatie, Stal van de Toekomst
Investeringen - dagontmesting - Klein - zeug	€/zeugenplaats	500	Persoonlijke communicatie, Stal van de Toekomst
Investeringen - dagontmesting - Middel - zeug	€/zeugenplaats	400	Persoonlijke communicatie, Stal van de Toekomst
Investeringen - dagontmesting - Groot - zeug	€/zeugenplaats	300	Persoonlijke communicatie, Stal van de Toekomst
Investeringen - mono-vergister - Klein - VI.V.	€	330.862	Gollenbeek (2021)
Investeringen - mono-vergister - Middel - VI.V.	€	388.178	Gollenbeek (2021)
Investeringen - mono-vergister - Groot - VI.V.	€	458.506	Gollenbeek (2021)
Investeringen - mono-vergister - Klein - zeug	€	306.109	Gollenbeek (2021)
Investeringen - mono-vergister - Middel - zeug	€	340.404	Gollenbeek (2021)
Investeringen - mono-vergister - Groot - zeug	€	335.992	Gollenbeek (2021)
Maximale biogasopbrengst per kuub VI.V.mest	m ³ /m ³ mest	40	Aanname
Maximale biogasopbrengst per kuub zeug.mest	m ³ /m ³ mest	20	Aanname
75% van de maximale biogasopbrengst per kuub VI.V.mest	m ³ /m ³ mest	30	Aanname
75% van de maximale biogasopbrengst per kuub zeug.mest	m ³ /m ³ mest	15	Aanname
50% van de maximale biogasopbrengst per kuub VI.V.mest	m ³ /m ³ mest	20	Aanname
50% van de maximale biogasopbrengst per kuub zeug.mest	m ³ /m ³ mest	10	Aanname
Elektrisch rendement WKK	%	32	van der Welle <i>et al.</i> (2020)
Thermische rendement WKK	%	47	van der Welle <i>et al.</i> (2020)
Interne elektriciteitsverbruik [% groene elektriciteit]	%	6	van der Welle <i>et al.</i> (2020)
CH ₄ -lekkage uit installatie en WKK	%	2,5	Hou (2016); Pardo <i>et al.</i> (2017)
Netto SDE - subsidie - WKK	€/kWh	0,065	KWIN (2022)
Netto teruglevering prijs - stroom	€/kWh	0,09	KWIN (2022)
Vollasturen - kleinschalig	uur/jaar	6.374	van der Welle <i>et al.</i> (2020)
Digestaat productie - varkensmest	% invoer	95	ENEA (2009) - CRPA (2012)
Digestaatafzetkosten	€/m ³	18**	KWIN (2022)
CH ₄ :CO ₂ ratio (volume)	-	60:40	Petersen <i>et al.</i> (2020)
Levensduur	jaar	20	van der Welle <i>et al.</i> (2020)

* VI.V.: vleesvarken

** 80% lange afstand, 20% korte afstand

3.5 Warmtepomp (+ CV-ketel) (C5)

Een lucht/water warmtepomp is relatief makkelijk te gebruiken bij bestaande bouw en kan daarom een CV-ketel (deels) vervangen. Een hybride warmtepomp kan warmte uit de lucht onttrekken, maar wanneer dit onvoldoende is, kan de CV-ketel bijspringen.

In de combinatie zijn twee varianten doorgerekend:

- A) Alle benodigde warmte voor verwarming en warm water wordt geproduceerd door een warmtepomp.
- B) 80% van de benodigde warmte voor verwarming en warm water wordt door een warmtepomp geproduceerd en de rest door de bestaande CV-ketel.

De aannames zijn in Tabel 7 weergegeven. De uitgangspunten bij deze combinatie zijn:

- Voor de investeringen is uitgegaan van €9,50 per vleesvarken plaats (gecorrigeerd voor het inflatiepercentage van 3,12%) (Aarnink *et al.*, 2014; DLVadvies, 2023) en €62 per zeugenplaats (Van Wagenberg *et al.*, 2005; DLVadvies, 2023).
- Omdat gemiddelde investeringen alleen in de literatuur zijn gevonden, zijn voor dit onderzoek de investeringen gecorrigeerd met de aanname dat op grotere bedrijven de investeringen lager zullen zijn dan op kleinschalige bedrijven (gecorrigeerde coëfficiënt was 95% voor de grootschalige bedrijven, 105% voor kleinschaligheid en voor middelgrote bedrijven werd gebruik gemaakt van de beschikbare investeringen in de literatuur, zie tabel 7).
- Er wordt aangenomen dat deze combinatie grijze elektriciteit gebruikt.
- De investeringen voor de warmtepomp zijn in beide varianten (C5A en C5B) gelijk zijn.
- Het extra elektriciteitsverbruik is berekend aan de hand van de COP (Coëfficiënt of Performance) waarde (4,0) en de verhouding tussen energie-inhoud van aardgas en elektriciteit. Oftewel een warmtepomp met een COP waarde van 4 kan 1 kW elektriciteit omzetten in 4 kW warmte.

Tabel 7 Aannames van combinatie C5.

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron
Investeringen	€/vleesvarken plaats	9,50	(Aarnink <i>et al.</i> , 2014; DLVadvies, 2023)
	€/zeugen plaats	62	(Van Wagenberg <i>et al.</i> , 2005; DLVadvies, 2023)
Jaarkosten (onderhoud)	%	3	Aanname
COP warmtepomp	-	4,0	(GeisslerMarketing, 2022)

3.6 Warmtepomp + warmteterugwinning uit luchtwasser (C6)

Sinds kort zijn er nieuwe richtlijnen voor het stalklimaat geïntroduceerd en wordt meer ventilatie aanbevolen (Lamers, 2021). Om te zorgen dat er meer geventileerd kan worden dient de temperatuur waarboven de ventilator sneller gaat draaien lager ingesteld te worden. Dit kan alleen als het temperatuurverschil tussen de inkomende en uitgaande lucht niet te groot is. Om voldoende te kunnen ventileren tijdens koude dagen is het voorverwarmen van de binnenkomende lucht nodig (Lesscher, 2022). Om een sterke verhoging van het energieverbruik op het varkensbedrijf te voorkomen, is de combinatie van een warmtepomp met een warmtewisselaar bij de luchtwasser een optie. Hiermee wordt de binnenkomende lucht opgewarmd met de warmte die normaliter de stal via de luchtwasser verlaat.

Tijdens het was-proces in de luchtwasser komt warme lucht uit de stal in de luchtwasser terecht. Met behulp van een warmtewisselaar kan deze warmte worden teruggewonnen, waardoor de ingezette warmtepomp een hogere COP kan bereiken tijdens koudere perioden dan bij het gebruik van de relatief koude buitenlucht. Door warmteterugwinning (WTW) uit de luchtwasser hoeft de warmtepomp minder te verwarmen. De aannames zijn in Tabel 8 opgenomen. De uitgangspunten zijn:

- Het elektriciteitsverbruik van een warmtepomp met WTW is 80% lager dan de situatie met warmtepomp en zonder WTW.
- Aangenomen is dat de investeringen van alleen een warmtepomp of warmtepomp met warmteterugwinning vaak niet veel van elkaar verschillen (ervan uitgaande dat er al vloerverwarming aanwezig is en er dus maar een beperkt aantal warmtewisselaars nodig zijn). Daarom zijn de investeringen gelijkaan combinatie C5.
- Het energiegebruik van de WTW is berekend op 1,83 kWh/GJ. Dit is geschat op basis van het elektriciteitsverbruik van WTW per kubieke meter gasbesparing, d.w.z. 36 kWh elektriciteitsverbruik om 620 m³ gas te besparen (Milieucentraal, 2023a). Dit komt overeen met 545 MJ/kWh (aangezien de warmtewaarde van aardgas 31,65 MJ/m³ bedraagt). Dit leidt tot een elektriciteitsverbruik van 1,83 kWh per GJ.
- De overige uitgangspunten voor de warmtepomp zijn gelijk aan combinatie C5.

Table 8 *Aannames van combinatie C6.*

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron
Investerings (WTW + warmtepomp)			
• Vleesvarkens	€/varken	13	KWIN (2022)
• Zeugen	€/varken	40	KWIN (2022)
Verlaagde energiekosten door WTW	%	80	Milieucentraal (2023a)
Energieverbruik WTW	kWh/GJ	1,83	Geschat

4 Resultaten van combinatie van maatregelen

In dit rapport is een model gepresenteerd waarmee zes combinaties van energie opwek- en besparingsmaatregelen zijn doorgerekend. De combinaties zijn geëvalueerd vanuit verschillende aspecten (technisch, economisch en milieu). Voor het technische aspect zijn het potentieel voor energieopwekking en het energie-overschot berekend op basis van de kenmerken van de in Hoofdstuk 3 gedefinieerde varkensbedrijven. Voor het economische aspect zijn de terugverdientijd (TVT), investeringen per afgeleverd (varkensvlees of biggen) en winstgevendheid index (PI) berekend. De milieueffecten zijn beoordeeld door de CO₂-eq. reductie te berekenen, waarbij de opgewekte duurzame energie afgezet is tegen het gebruik van energie uit fossiele brandstoffen. Ook is de kosteneffectiviteit per ton CO₂-eq. reductie en de CO₂-eq. reductie per kg product (aflevergewicht van vleesvarkens of biggen) berekend (Tabel B1.1, Bijlage 1). Het rekenmodel evalueerde ook een aantal varianten binnen een combinatie en de scenario- en gevoeligheidsanalyse van enkele parameters op de resultaten van de combinaties. Deze resultaten worden per combinatie gepresenteerd.

De gepresenteerde resultaten zijn uitkomsten van de modelberekeningen en het detailniveau (met cijfers achter de komma) moet niet verward worden met de betrouwbaarheid van de cijfers in de praktijk. Initiatieven op bedrijfsschaal zullen voor de bedrijfsspecifieke situatie doorgerekend moeten worden.

4.1 Zonnepanelen (C1)

Deze maatregel dient als basis voor andere combinaties waarbij zonne-energie wordt opgewekt. De resultaten voor de situatie zonder luchtwasser of met SDE-subsidie zijn weergegeven in Bijlage 2.

Het aantal zonnepanelen dat het model berekent voor de bedrijfsgroottes van groot naar klein was respectievelijk 714, 505 en 238 bij vleesvarkensbedrijven en 761, 476 en 190 voor zeugenbedrijven (uitgaande van bedrijven met een luchtwasser). Doordat het model de vereiste capaciteit van de PV-installatie berekent op basis van het energieverbruik, is het aantal zonnepanelen bij het gebruik van een luchtwasser hoger dan bij bedrijven zonder luchtwassers

Voor de situatie met luchtwasser varieert de TVT van 4,7 tot 7,3 jaar met de hoogste TVT voor de middelgrote bedrijven en de laagste TVT voor de kleine bedrijven bij zowel vleesvarkens- als zeugenbedrijven. Zonder luchtwasser varieert de TVT van 5,6 tot 8,8 jaar. De modelberekeningen voor TVT zijn vergelijkbaar voor de situatie met en zonder luchtwasser (Figuur B2.1). Zonder SDE-subsidie wordt verwacht dat de TVT voor grote en middelgrote bedrijven met 4 tot 5 jaar zal toenemen (Figuur B2.2 – B2.3). Afschaffing van de SDE-subsidie zorgt dus voor een forse verhoging van de TVT. Het plan om na de afschaffing van de SDE-subsidie een alternatieve (kostenbesparende) regeling in te voeren, zal de combinatie wellicht weer gunstiger maken.

De kosten per ton afgeleverd varkensvlees liggen rond de 4 €/ton voor de vleesvarkens en 11 €/ton voor de zeugenbedrijven. De jaarlijkse winst per ton varkensvlees is berekend op gemiddeld 11 €/ton voor de vleesvarkens en 30,00 €/ton voor de zeugenbedrijven. Alle bedrijfstypen en -groottes hadden een winstgevendheid index (PI) hoger dan 1 (gemiddeld 3,3 wanneer er sprake is van SDE-subsidie) met de hoogste PI's bij kleinschalige bedrijven. Als er gerekend wordt zonder SDE-subsidie daalt de PI met 1 punt naar 2,3. Dit impliceert de winstgevendheid van deze investering voor alle soorten bedrijven.

De kosteneffectiviteit (kosten per vermeden CO₂-eq.) varieert tussen -76 tot -119 €/ton CO₂-eq. reductie. Voor kleine bedrijven was de kosteneffectiviteit negatiever ten opzichte van grotere bedrijven wat betekent dat

CO₂-eq. reductie via kleine bedrijven financieel voordeliger is per ton CO₂-eq. reductie dan grotere bedrijven. De CO₂-eq. reductie per ton afgeleverd varkensvlees is berekend op respectievelijk 65 en 177 kg CO₂-eq./ton voor vleesvarkensbedrijven en zeugenbedrijven.

Tabel 9 Resultaten van modelberekeningen voor C1 op varkensbedrijven met een luchtwasser.

Vleesvarkens / met Luchtwasser	Eenheid	C1		
		Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	240.000	170.000	80.000
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	240.000	170.000	80.000
Totale netto investeringen	€	145.200	117.810	50.279
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	32.430	22.971	13.875
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	8.712	7.069	3.017
Jaarlijkse winst	€/jaar	23.718	15.902	10.858
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	29.526	20.615	12.869
Terugverdientijd	jaar	6,4	7,3	4,7
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-80	-76	-119
CO ₂ -eq. reductie per kg product	kg CO ₂ -eq./kg	0,064	0,065	0,064
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,010	0,010	0,014
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,004	0,004	0,004
Winstgevendheid index (PI)	-	3,1	2,7	4,0

Tabel 10 Resultaten van modelberekeningen voor C1 op zeugenbedrijven met een luchtwasser.

Zeugen / met Luchtwasser	Eenheid	C1		
		Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	256.000	160.000	64.000
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	256.000	160.000	64.000
Totale netto investeringen	€	154.880	110.880	40.223
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	34.591	21.620	10.757
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	9.293	6.653	2.413
Jaarlijkse winst	€/jaar	25.299	14.967	8.343
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	31.494	19.402	9.952
Terugverdientijd	jaar	6,4	7,3	5,1
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-80	-76	-113
CO ₂ -eq. reductie per kg varkensvlees	kg CO ₂ -eq./kg	0,177	0,177	0,177
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,028	0,026	0,036
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,010	0,012	0,011
Winstgevendheid index (PI)	-	3,1	2,7	3,9

4.1.1 Varianten op C1

De resultaten van C1 zijn gedaan op basis van enkele aannames, waaronder dat het aantal zonnepanelen wordt bepaald aan de hand van de elektriciteitsvraag van het varkensbedrijf en dat kleine varkensbedrijven gebruik maken van de salderingsregeling en de grote varkensbedrijven profiteren van de SDE-subsidie. Er kan in de toekomst echter nieuwe regelgeving van kracht worden, zoals het afbouwen van het salderen en SDE-subsidies en maatregelen rondom netcongestiemanagement. Om de impact van toekomstige aanpassingen op de zonne-energiemarkt in kaart te brengen zijn drie varianten beoordeeld: inperking van de zonnepanelen bij hoge productietijden (curtailment) (V1), verandering in het aantal zonnepanelen (V2) en verandering in vermogen van de zonnepanelen (V3). In deze paragraaf wordt de impact van deze drie

varianten met luchtwasser gepresenteerd (Tabel 11 - 12) en in Bijlage 2 is de situatie zonder luchtwasser weergegeven (Figuur B2.4 – B2.6).

Curtailement (V1)

Door het toepassen van inperking, waarbij zonnepanelen 30 dagen worden uitgeschakeld en de varkenshouder een vergoeding krijgt van €0,08 per kWh voor de gemiste productieperiode bij grote en middelgrote bedrijven, wordt de TVT verkort met ongeveer 0,5 jaar. Omdat de kleinschalige boerenbedrijven gebruik maken van salderen, is voor dit type bedrijven de inperking (V1) niet berekend.

Aantal zonnepanelen (V2)

In C1 werd het aantal zonnepanelen berekend op basis van de werkelijke elektriciteitsvraag van de bedrijven. Hierdoor werd niet het volledige dakoppervlak bedekt met zonnepanelen (ca. 60% op vleesvarkensbedrijven en ca. 40% op zeugenbedrijven), waardoor er mogelijk meer energie opgewekt kan worden. Daarom is in de nieuwe variant van dit scenario er van uitgegaan dat het aantal zonnepanelen op het dak zou kunnen worden verhoogd om de beschikbare benutting te verhogen, terwijl andere factoren, zoals het type aansluiting, hetzelfde zouden blijven. Het aantal zonnepanelen is geselecteerd als: 1500, 1060 en 500 bij de vleesvarkensbedrijven (met een factor 2 verhoogd) en 1250, 780 en 315 bij de zeugenbedrijven (met een factor 1,5 verhoogd), respectievelijk voor de bedrijfsgroottes van groot naar klein. Bij vleesvarkensbedrijven blijft na de uitbreiding van het aantal zonnepanelen 40% van het totale dakoppervlak aan beide zijden over. Bij zeugenbedrijven daarentegen vereiste het verdubbelen van het aantal zonnepanelen meer dakoppervlak dan beschikbaar was, daarom werd voor deze bedrijven het aantal zonnepanelen verhoogd met een factor 1,5 om het hele dak te bedekken.

Door het aantal zonnepanelen uit te breiden tot het gehele dakoppervlak is gevuld, terwijl het vermogen en de investeringen van de zonnepanelen constant blijven, wordt de TVT verlengd met gemiddeld 0,5 tot 1 jaar vergeleken met C1 (voor respectievelijk zeugen- en vleesvarkensbedrijven) en resulteerde het in een verlaging van de kosteneffectiviteit met ongeveer 40%. De kosteneffectiviteit kan wellicht worden vergroot door de opgewekte elektriciteit aan te wenden voor andere activiteiten op het boerenbedrijf die zouden leiden tot CO₂-reductie of productie van producten met toegevoegde waarde (zoals mest-droging of compostering waarbij gedroogde mest voor tuincentra ontstaat (Visser *et al.*, 2020)).

Vermogen per zonnepaneel (V3)

Door toename van 10% in het vermogen van zonnepanelen (van 370 naar 425 Wp) is de TVT voor alle bedrijven met ongeveer 0,5 jaar verkort. Dit kwam door de hogere productie van zonne-energie als gevolg van een toename van het vermogen, terwijl de investeringen constant waren. Deze laatste veronderstelling kan in de praktijk anders zijn. Daarom moet voorzichtigheid worden betracht bij de interpretatie van deze variant.

Tabel 11 Resultaten van drie varianten voor de vleesvarkensbedrijven met een luchtwasser. V1: inperking van de zonnepanelen bij hoge productietijden (curtailment), V2: verandering in het aantal zonnepanelen, V3: verandering in vermogen van de zonnepanelen.

Vleesvarkens	Eenheid	V1			V2			V3		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	240.000	170.000	80.000	240.000	170.000	80.000	240.000	170.000	80.000
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	220.274	170.000	80.000	504.545	356.545	168.182	275.676	195.270	91.892
Totale netto investeringen	€	145.200	117.810	50.279	305.250	215.710	90.429	145.200	117.810	50.279
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	34.008	24.089	14.401	56.239	39.760	18.725	35.640	25.245	14.529
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	8.712	7.069	3.017	18.315	12.943	5.426	8.712	7.069	3.017
Jaarlijkse winst	€/jaar	25.296	17.020	11.384	37.924	26.817	13.299	26.928	18.177	11.512
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	31.104	21.733	13.395	50.134	35.446	16.916	32.736	22.889	13.523
Terugverdientijd	jaar	5,6	6,5	4,3	7,2	7,2	6,3	6,1	6,9	4,2
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-89	-82	-125	-23	-22	-45	-84	-77	-110
CO ₂ -eq. reductie per kg varkensvlees	kg CO ₂ -eq./kg	0,059	0,060	0,059	0,135	0,137	0,135	0,074	0,075	0,074
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,011	0,010	0,014	0,016	0,016	0,017	0,011	0,011	0,015
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,004	0,004	0,004	0,008	0,008	0,007	0,004	0,004	0,004
Winstgevendheid index (PI)	-	3,3	2,9	4,2	2,6	2,6	2,9	3,5	3,0	4,2

Tabel 12 Resultaten van drie varianten voor de zeugenbedrijven met een luchtwasser. V1: inperking van de zonnepanelen bij hoge productietijden (curtailment), V2: verandering in het aantal zonnepanelen, V3: verandering in vermogen van de zonnepanelen.

Zeugen	Eenheid	V1			V2			V3		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	256.000	160.000	64.000	256.000	160.000	64.000	256.000	160.000	64.000
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	234.959	146.849	58.740	392.424	242.929	93.434	294.054	183.784	73.514
Totale netto investeringen	€	154.880	110.880	40.223	237.417	146.972	56.528	154.880	110.880	40.223
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	36.275	22.672	11.177	46.870	29.083	12.376	38.016	23.760	11.280
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	9.293	6.653	2.413	14.245	8.818	2.848	9.293	6.653	2.413
Jaarlijkse winst	€/jaar	26.982	16.019	8.764	32.625	20.265	9.527	28.724	17.107	8.866
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	33.177	20.454	10.373	42.121	26.144	11.426	34.919	21.543	10.475
Terugverdientijd	jaar	5,6	6,5	4,7	7,1	7,0	5,4	6,1	6,9	4,6
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-89	-82	-120	-45	-45	-77	-84	-77	-106
CO ₂ -eq. reductie per kg product	kg CO ₂ -eq./kg	0,007	0,007	0,007	0,011	0,011	0,010	0,008	0,008	0,008
Winst per kg product	€/kg	0,029	0,028	0,038	0,036	0,035	0,042	0,031	0,030	0,039
Kosten per kg product	€/kg	0,010	0,012	0,011	0,016	0,015	0,012	0,010	0,012	0,011
Winstgevendheid index (PI)	-	3,3	2,9	4,0	2,8	2,8	3,8	3,5	3,0	4,1

4.1.2 Gevoeligheidsanalyse op de prijs van elektriciteit en de investeringen

De gevoeligheid van de TVT is berekend ten opzichte van de prijs van geretourneerde elektriciteit en de investeringen (Tabel 24). Een verandering van 10% in de terugleverprijs van elektriciteit had een beperkt effect op de TVT (max. 0,5 jaar). Een verandering van 10% in de investeringen van de zonnepanelen resulteerde ook in een maximale verandering in TVT van 0,5 jaar voor alle bedrijven (Tabel 13).

De resultaten voor elke 10% verandering in de relevante parameter is weergegeven in (Tabel 14). De kosteneffectiviteit volgde dezelfde trend als de TVT voor de verschillende bedrijfstypes. Door de terugleverprijs van elektriciteit te verhogen en de investeringen te verlagen, werden combinaties kosteneffectiever. In Bijlage 2 is de situatie zonder luchtwasser weergegeven (Figuur B2.7).

Tabel 13 Resultaten van 10% veranderingen in terugleverprijs van elektriciteit op terugverdientijd (jaar) en kosteneffectiviteit (€/ton CO₂-eq. reductie) bij verschillende varkensbedrijven met een luchtwasser (C1). De negatieve waarde van kosteneffectiviteit laat zien dat de KE is verbeterd (d.w.z. de maatregel minder kostbaar is).

Netto stroomprijs teruglevering = ±0,1	C1					
	Vleesvarkens			Zeugen		
	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Gevoeligheidsanalyse (effect op TVT)						
- 10%	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4
+ 10%	-0,5	-0,4	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4
Gevoeligheidsanalyse (effect op Kosteffectiviteit)						
- 10%	1,00	3,52	5,41	1,00	3,52	5,41
+ 10%	-6,04	-3,52	-5,41	-6,04	-3,52	-5,41

Tabel 14 Resultaten van 10% veranderingen in investeringen van zonnepanelen op terugverdientijd (jaar) en kosteneffectiviteit (€/ton CO₂-eq. reductie) bij verschillende varkensbedrijven met een luchtwasser (C1). De negatieve waarde van kosteneffectiviteit laat zien dat de KE is verbeterd (d.w.z. de maatregel minder kostbaar is).

Gevoeligheidsanalyse (effect op TVT)	C1					
	Vleesvarkens			Zeugen		
	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
- 10%	-0,5	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,5
+ 10%	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5
Gevoeligheidsanalyse (effect op Kosteffectiviteit)						
- 10%	-7,52	-5,73	-6,37	-7,52	-5,73	-6,37
+ 10%	2,48	5,73	6,37	2,48	5,73	6,37

4.2 Zonnepanelen + batterij (C2)

In deze combinatie wordt de combinatie van zonnepanelen en batterijen besproken als alternatief voor het terug leveren van overtollige elektrische energie aan het net in tijden dat de opgewekte elektriciteit niet direct op het bedrijf wordt gebruikt. De werking van een slim systeem en de optimalisatie van de stroomtoevoer en -afname van het net en prijsschommelingen zijn in dit huidige onderzoek niet meegenomen. In Tabel 15 - Tabel 16 zijn de resultaten van C2 weergegeven. In Bijlage 2 is de situatie zonder luchtwasser weergegeven (Figuur B2.8).

Ervan uitgaande dat de batterij de overtollige elektriciteit (die niet direct gebruikt kan worden) opslaat, varieerde de TVT van ongeveer 6 jaar voor kleinschalige bedrijven (batterij van 16 - 20 kWh) tot 8 jaar bij middelgrote bedrijven (batterij van 41 en 43 kWh) en 7 jaar bij grote bedrijven in zowel vleesvarkens- als zeugenbedrijven. Bovendien is subsidie aanvragen voor energieopslag in 2023 recent ingevoerd in de Energie-investerings aftrek (EIA) (Energykonnex, 2023; RVO, 2023). Als wordt uitgegaan van een EIA-voordeel van 11,7% van de investeringen, wordt de TVT circa 0,2 jaar korter.

Voor C2 is een hogere kosteneffectiviteit berekend ten opzichte van C1. Dit impliceert dat investeringen in een batterij voordelen zullen opleveren door de opslag van groene elektriciteit voor gebruik op het eigen bedrijf. De kosten per kg afgeleverd varkensvlees waren gemiddeld 8 €/ton afgeleverd varkensvlees voor vleesvarkensbedrijven en 21 €/ton afgeleverd varkensvlees voor zeugenbedrijven. De investeringen zijn ten opzichte van C1 toegenomen door de investeringen in de batterij. De winst per kg afgeleverd varkensvlees was gemiddeld 10 €/ton afgeleverd varkensvlees voor vleesvarkensbedrijven en 27 €/ton afgeleverd varkensvlees voor zeugenbedrijven. De CO₂-eq. reductie potentieel was 65,0 en 177,0 kg CO₂-eq. per ton afgeleverd varkensvlees.

Ondanks een afname van de winst per kilogram product, zowel voor grote als kleine bedrijven als gevolg van de investering in de batterij, blijft de winstgevendheidsindex (PI) bij alle bedrijfsgroottes groter dan 1 (gem. 1,9). Dit impliceert dat de investering in deze combinatie financieel aantrekkelijk is. De PI is echter gedaald in vergelijking met C1, wat verklaard kan worden door de hogere investering in de batterij (bij het vergelijken van de PI van C2 met C1). Deze combinatie zou gunstiger zijn voor varkensbedrijven als zij betalen voor de geleverde elektriciteit. Daarom wordt het gebruik van batterijen sneller rendabel als de overtollige elektriciteit niet verkocht hoeft te worden.

Tabel 15 Resultaten van modelberekeningen voor C2 op vleesvarkensbedrijven met een luchtwasser.

Vleesvarkens	Eenheid	C2		
		Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	240.000	170.000	80.000
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	240.000	170.000	80.000
Totale netto investeringen	€	175.692	139.409	79.319
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	34.950	24.756	18.275
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	14.201	10.956	8.244
Jaarlijkse winst	€/jaar	20.749	13.800	10.031
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	29.606	20.672	14.946
Terugverdientijd	Jaar	7,2	8,0	6,1
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-101	-84	-171
CO ₂ -eq. reductie per kg varkensvlees	kg CO ₂ -eq./kg	0,064	0,065	0,064
Winst per kg product	€/kg	0,009	0,008	0,013
Kosten per kg product	€/kg	0,006	0,007	0,010
Winstgevendheid index (PI)	-	1,9	1,6	2,1

Tabel 16 Resultaten van modelberekeningen voor C2 op zeugenbedrijven met een luchtwasser.

Zeugen	Eenheid	C2		
		Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	256.000	160.000	64.000
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	256.000	160.000	64.000
Totale netto investeringen	€	187.405	131.208	63.455
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	37.279	23.300	14.277
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	15.147	10.312	6.595
Jaarlijkse winst	€/jaar	22.132	12.988	7.681
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	31.580	19.456	11.614
Terugverdientijd	Jaar	7,2	8,0	6,4
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-101	-84	-162
CO ₂ -eq. reductie per kg varkensvlees	kg CO ₂ -eq./kg	0,177	0,177	0,177
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,024	0,023	0,033
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,017	0,018	0,029
Winstgevendheid index (PI)	-	1,9	1,6	2,0

4.3 Zonnepanelen + stalkoeling (C3)

Dit scenario is alleen berekend voor zeugenbedrijven, omdat enkel data beschikbaar was met betrekking tot de zeugenstallen. De resultaten van C3 zijn weergegeven in Tabel 17. In Bijlage 2 is de situatie zonder luchtwasser weergegeven (Figuur B2.6).

Uit de resultaten bleek dat de TVT voor grotere zeugenbedrijven 7,9 jaar is. Voor kleine bedrijven wordt die TVT korter (5,7 jaar). De KE van deze combinatie bedraagt gemiddeld - €113 per ton CO₂-eq. reductie. De berekende kosten en de winst per ton product waren respectievelijk €23 en €27 per ton afgeleverd varkensvlees. De PI (> 1) impliceert dat deze combinatie financieel aantrekkelijk is op alle typen bedrijven, met de hoogste haalbaarheid voor de kleinschalige varkensbedrijven (2,3). De lagere investeringen en jaarlijkse kosten resulteren in een proportioneel hogere winstgevendheid op een klein bedrijf. Dit kan worden verklaard door de lagere koelvraag van kleine bedrijven en door het hanteren van constante investeringen per dieraantal. Hierdoor zijn de berekende kosten lager op kleine bedrijven. In de praktijk kunnen de investeringen verschillend zijn voor verschillende schaalgroottes.

Het geschatte elektriciteitsverbruik van dit luchtkoelsysteem is groter dan de vermindering van de ventilatie. Omdat dit systeem echter wordt gecombineerd met elektriciteit uit zonnepanelen, kan voor deze combinatie de overeenkomstige CO₂-reductie ten opzichte van het referentiescenario zonder koeling en gebruik van grijze elektriciteit voor ventilatie in aanmerking worden genomen.

Tabel 17 Resultaten van modelberekeningen voor C3 op zeugenbedrijven met een luchtwasser.

Zeugen	Eenheid	C3		
		Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	346.741	216.713	86.685
Elektriciteitsverbruik- stalkoeling ¹	kWh/jaar	90.741	56.713	22.685
Verminderde ventilatie	kWh/jaar	53.760	33.600	13.440
Totale netto investeringen	€	240.000	150.000	60.000
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	41.624	26.015	13.660
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	20.800	13.000	5.200
Jaarlijkse winst	€/jaar	20.824	13.015	8.460
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	36.824	23.015	12.460
Terugverdientijd	Jaar	7,9	7,9	5,7
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-88	-88	-163
CO ₂ -eq. reductie per kg varkensvlees	kg CO ₂ -eq./kg	0,140	0,140	0,140
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,023	0,023	0,037
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,023	0,023	0,023
Winstgevendheid index (PI)	-	1,7	1,7	2,3

¹ koeling + chiller + pompen

4.4 Dagontmesting en monomestvergisten (C4)

De berekende parameters voor de combinatie dagontmesting en mono-mestvergisting (C4) zijn weergegeven in Tabel 18 - Tabel 19. In Bijlage 2 is de situatie zonder luchtwasser weergegeven (Figuur B2.10). In de varianten C4B en C4C is aangenomen dat het biogaspotentieel met 25% en 50% afneemt ten opzichte van de maximale opbrengst doordat er gebruik gemaakt wordt van oudere mest in de vergister.

Op vleesvarkensbedrijven is de berekende investering van mono-vergisters en het aanleggen van dagontmesting, bijna 1.000.000 €. Uit de resultaten bleek dat de TVT van C4 op een groot vleesvarkensbedrijf en de hoogste biogasopbrengst 10 jaar bedraagt. De TVT is korter bij vleesvarkensbedrijf dan bij zeugenbedrijven (12,4 jaar) vanwege de hogere biogasopbrengst uit vleesvarkensmest. Bij middelgrote en kleine bedrijven stijgt de TVT naar 14,4 en 35,5 jaar bij invoer van verse varkensmest (C4A). Deze resultaten geven aan dat mestvergisting op kleine schaal niet rendabel is vanwege de hoge investeringen voor de lage hoeveelheden mest, terwijl op middelgrote en grootschalige vleesvarkensbedrijven monovergisting financieel interessant is bij invoer van verse mest. Bij C4B en C4C bevat de mest minder organische stof (lagere biogasproductie), wat resulteerde in een langere TVT (14,0 en 18,0 jaar op grootschalige vleesvarkensbedrijven). Bij middelgrote en kleine vleesvarkensbedrijven is de TVT nog langer (> 20 jaar). Wanneer verse zeugenmest aan de monovergister wordt gevoerd (C4A), bedraagt de TVT voor de grote en middelgrote bedrijven 12,4 en 28,1 jaar. Op kleinschalige bedrijven is de TVT nog langer, wat bevestigt dat de toepassing van monovergisting van zeugenmest op dergelijke bedrijven financieel niet aantrekkelijk is vanwege de hoge investeringen voor de lage mesthoeveelheden. Bij een afname van 25% in het biogasopbrengst ten opzichte van het basisscenario wordt de TVT langer (19,8 en 22,4 jaar) voor scenario's C4B en C4C op grote zeugenbedrijven. De TVT wordt heel lang voor kleine bedrijven bij een lager biogaspotentieel t.o.v. het basisscenario (C4A).

Op een grootschalig bedrijven is de berekende investering van mono-vergisters en het aanleggen van dagontmesting rond de 1 en 0,7 mln. euro voor vleesvarken- en zeugenbedrijven.

Uitgaande van de kosteneffectiviteit per ton CO₂-eq. reductie blijkt dat de vergisting van verse mest de gunstigste kosteneffectiviteit heeft op grootschalige varkensbedrijven (-20 en -16 €/ton CO₂-eq. reductie op resp. vleesvarkens en zeugenbedrijven). Bij andere bedrijfsgroottes en door het verlagen van het biogaspotentieel is de kosteneffectiviteit minder gunstig, zoals weergegeven in Tabel 16 en 17.

De kosten per eenheid eindproduct tussen grote en kleine bedrijven lagen tussen €39 – €73 per ton afgeleverd varkensvlees voor vleesvarkensbedrijven en €68 – €192 per ton afgeleverd varkensvlees voor zeugenbedrijven in C4A. Zowel voor de kleine vleesvarkensbedrijven als voor de kleine zeugenbedrijven is de winst per eenheid eindproduct negatief. Dit benadrukt dat scenario C4 financieel gering aantrekkelijk is op bedrijven met een lage mestproductie. Zoals hierboven blijkt: als mest voor langere tijd wordt opgeslagen voordat deze naar de vergister wordt geëxporteerd en daardoor de biogasopbrengst afneemt, stijgt de TVT voor langere tijd. Deze resultaten suggereren dat monovergisting gunstig is voor alle drie onderzochte aspecten in dit onderzoek (technisch, economisch en milieueffecten), wanneer er verse of relatief verse mest in de vergister wordt gevoerd.

Tabel 18 Resultaten van modelberekeningen voor combinaties van mono-mestvergisting op vleesvarkensbedrijven met een luchtwasser. C4A, C4B en C4C geven combinaties aan met het 100%, 75% en 50% van de maximale biogasopbrengst op basis van het hoogste biogaspotentieel van 40 per m³ vleesvarkens.

Vleesvarkens	Eenheid	C4A			C4B			C4C		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	240.000	170.000	80.000	240.000	170.000	80.000	240.000	170.000	80.000
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	512.563	358.794	170.854	384.422	269.096	128.141	256.282	179.397	85.427
Totale netto investeringen	€	1.058.506	913.178	630.862	1.047.944	904.861	625.802	1.027.023	888.388	615.782
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	169.141	118.719	56.380	138.076	96.973	46.025	107.010	75.227	35.670
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	92.436	79.450	57.395	91.274	78.535	56.838	46.973	39.973	34.736
Jaarlijkse winst	€/jaar	76.705	39.269	-1.015	46.802	18.438	-10.813	60.038	35.255	934
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	129.630	84.928	30.529	99.199	63.681	20.477	81.389	53.424	16.723
Terugverdientijd	Jaar	10,1	14,4	35,5	14,0	21,4	57,2	18,0	26,7	70,9
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-20	-10	19	-12	2	40	-4	12	62
CO ₂ -eq. reductie per kg product	kg CO ₂ -eq./kg	0,728	0,728	0,728	0,546	0,546	0,546	0,364	0,364	0,364
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,032	0,024	-0,001	0,020	0,011	-0,014	0,025	0,021	0,001
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,039	0,048	0,073	0,039	0,047	0,072	0,020	0,024	0,044
Winstgevendheid index (PI)	-	2,4	1,9	1,0	1,9	1,4	0,7	1,6	1,2	0,5

Tabel 19 Resultaten van modelberekeningen voor combinaties van mono-mestvergisting op zeugenbedrijven met een luchtwasser. C4A, C4B en C4C geven combinaties aan met het 100%, 75% en 50% van de maximale biogasopbrengst op basis van het hoogste biogaspotentieel van 20 per m³ zeugenmest.

Zeugen	Eenheid	C4A			C4B			C4C		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	256.000	160.000	64.000	256.000	160.000	64.000	256.000	160.000	64.000
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	226.382	141.489	56.596	169.787	106.117	42.447	113.191	70.744	28.298
Totale netto investeringen	€	695.992	640.404	456.109	762.078	635.165	453.273	747.860	624.788	447.657
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	101.566	63.479	25.391	87.845	54.903	21.961	74.125	46.328	18.531
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	62.159	58.444	44.172	69.429	57.868	43.860	42.665	35.727	32.742
Jaarlijkse winst	€/jaar	39.407	5.034	-18.781	18.417	-2.965	-21.899	31.460	10.601	-14.211
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	74.206	37.054	4.025	56.521	28.793	765	50.853	26.841	672
Terugverdientijd	Jaar	12,4	28,1	238,5	19,8	38,6	1288,6	22,4	41,2	1450,3
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-16	11	84	-0,42	27	123	6	41	171
CO ₂ -eq. reductie per kg varkensvlees	kg CO ₂ -eq./kg	1,043	1,043	1,043	0,782	0,782	0,782	0,521	0,521	0,521
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,043	0,009	-0,082	0,020	-0,005	-0,095	0,034	0,018	-0,062
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,068	0,102	0,192	0,076	0,101	0,191	0,046	0,062	0,143
Winstgevendheid index (PI)	-	2,1	1,2	0,2	1,5	0,9	0,0	1,4	0,9	0,0

4.4.1 Scenarioanalyses voor subsidie op WKK

De impact van SDE-subsidie op de combinatie met mestvergisting (C4 A – C) is onderzocht. Zonder subsidie op de overtollige warmte (de warmte die wordt gebruikt voor de verwarming van de vergister wordt niet gesubsidieerd), stijgt de TVT van 5 tot 9 jaar op grote en middelgrote vleesvarkensbedrijven en van 4 tot 13 jaar op respectievelijke zeugenbedrijven. Dit wordt veroorzaakt door de invloed van subsidie op de opbrengsten van de investeringen (inkomsten), wat resulteert in een ongunstigere kosteneffectiviteit van dit scenario. De resultaten per scenario zijn weergegeven in Bijlage 2 (Tabel B2.1).

4.5 Warmtepomp (+ CV-ketel) (C5)

De berekende parameters voor de combinatie CV-ketel en warmtepomp (C5) zijn weergegeven in Tabel 20 en Tabel 21. Bij de varianten van deze combinatie (C5A) wordt ervan uitgegaan dat 100% van de warmtebehoefte door de warmtepomp wordt geleverd, terwijl bij een andere variant 80% van de warmte wordt geleverd (C5B).

Bij het voorzien van 100% van de warmtebehoefte door de warmtepomp bedraagt de TVT op verschillende vleesvarkensbedrijven 4,1, 4,5 en 4,9 jaar op respectievelijk grote, middelgrote en kleine bedrijven. De TVT op zeugenbedrijven bedraagt respectievelijk 1,9, 2,0 en 2,2 jaar. De kosteneffectiviteit ligt tussen -€1635 tot -€1589 en -€1922 tot -€1905 per ton vermeden CO₂-eq. voor vleesvarkensbedrijven en zeugenbedrijven. De kosteneffectiviteit is het gunstigste voor grootschalige bedrijven. C5A heeft een gunstigere kosteneffectiviteit vergeleken met de voorgaande scenario's, dus deze maatregel is per ton CO₂-eq. reductie goedkoper. De winstgevendheid index (PI) is gemiddeld 5,19 en 14,04, respectievelijk voor vleesvarkens- en zeugenbedrijven en voor C5A.

Indien slechts 80% van de verwarming wordt geleverd door de warmtepomp en de overige 20% door de (bestaande) CV-ketel wordt geleverd (C5B), is de TVT langer. Bij de vleesvarkensbedrijven ligt de TVT tussen 5,1 tot 6,1 jaar en voor zeugenbedrijven tussen 2,6 tot 3,0 jaar. Deze langere TVT kan veroorzaakt worden door de veronderstelde gelijke investeringen voor de warmtepomp in beide combinaties, terwijl er in de praktijk mogelijk minder investeringen nodig zijn bij de warmtepomp met een lager capaciteit van combinatie C5B (80% capaciteit ten opzichte van C5A).

De TVT voor zeugenbedrijven ligt in beide combinaties lager, omdat op deze bedrijven meer energie wordt gebruikt voor verwarming. Door de energievoorziening van de warmtepomp terug te brengen naar 80% in plaats van 100%, daalt de PI en wordt de kosteneffectiviteit ongunstiger (minder negatief).

Tabel 20 Resultaten van modelberekeningen voor C5A - B op vleesvarkensbedrijven met een luchtwasser.

Vleesvarkens	Eenheid	C5A			C5B		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Gasverbruik	m ³ /jaar	21.000	14.700	7.000	21.000	14.700	7.000
Totale netto investeringen	€	54.150	39.900	19.950	54.150	39.900	19.950
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	26.460	18.522	8.820	21.168	14.818	7.056
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	14.447	10.173	4.873	11.882	8.378	4.018
Jaarlijkse winst	€/jaar	12.013	8.349	3.947	9.286	6.440	3.038
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	14.721	10.344	4.945	11.993	8.435	4.036
Terugverdientijd	jaar	4,1	4,5	4,9	5,1	5,6	6,1
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-1635	-1612	-1589	-1525	-1495	-1466
CO ₂ -eq. reductie per kg varkensvlees	kg CO ₂ -eq./kg	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006
Winstgevendheid index (PI)	-	5,4	5,2	5,0	4,4	4,2	4,0

Tabel 21 Resultaten van modelberekeningen voor C5A - B op zeugenbedrijven met een luchtwasser.

Zeugen	Eenheid	C5A			C5B		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Gasverbruik	m ³ /jaar	78.000	48.750	19.500	78.000	48.750	19.500
Totale netto investeringen	€	70.680	46.500	19.530	70.680	46.500	70.680
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	98.280	61.425	24.570	78.624	49.140	98.280
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	49.746	31.161	12.492	40.221	25.208	49.746
Jaarlijkse winst	€/jaar	48.534	30.264	12.078	38.403	23.932	48.534
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	52.068	32.589	13.054	41.937	26.257	52.068
Terugverdientijd	jaar	1,9	2,0	2,2	2,6	2,8	1,9
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-1922	-1913	-1905	-1883	-1873	-1922
CO ₂ -eq. reductie per kg varkensvlees	kg CO ₂ -eq./kg	0,018	0,018	0,018	0,014	0,014	0,018
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,053	0,053	0,053	0,042	0,042	0,053
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,058	0,058	0,059	0,048	0,048	0,058
Winstgevendheid index (PI)	-	14,7	14,0	13,4	11,9	11,3	14,7

4.5.1 Gevoeligheidsanalyse op de COP van warmtepomp

De resultaten zijn geanalyseerd op gevoeligheid voor veranderingen in de COP (Coëfficiënt van Prestatie) van de warmtepompen van combinaties C5A, C5B (zie Tabel 22).

Bij een daling van de COP met 10% wordt de TVT gemiddeld met 1,1 jaar verlengd in C5A (met een bereik van 0,7 – 1,8 jaar in vleesvarkens- en zeugenbedrijven). Een stijging van de COP met 10% resulteert in een verlaging van de TVT met 0,7 jaar (met een bereik van 0,4 – 1,5 jaar in vleesvarkens- en zeugenbedrijven). Bij C5B is de gevoeligheid van de TVT voor veranderingen in COP vrijwel gelijk aan die bij C5A.

Bij een afname van COP is de KE nog steeds negatief maar wordt minder gunstig terwijl de toename van COP een gunstigere KE veroorzaakt. Dit komt voornamelijk door het lagere CO₂-eq. reductiepotentieel waardoor er minder gasbesparing wordt behaald.

Tabel 22 Resultaten van 10% verandering in COP van warmtepomp in combinaties C5A en C5B op terugverdientijd (jaar) en kosteneffectiviteit (€/ton CO₂-eq. reductie) bij verschillende varkensbedrijven met een luchtwasser.

COP van warmtepomp = ±0,1	C5A					
	Vleesvarkens			Zeugen		
	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Gevoeligheidsanalyse (effect op TVT, jaar)						
- 10%	0,7	0,8	1,8	0,9	1,0	1,0
+ 10%	-0,4	-1,5	-0,6	-0,5	-0,6	-0,6
Gevoeligheidsanalyse (effect op Kosteffectiviteit, €/ton)						
- 10%	-184	-174	-164	-307	-303	-300
+ 10%	33	29	26	75	74	73

COP van warmtepomp = ±0,1	C5B					
	Vleesvarkens			Zeugen		
	Groot	Middel	Klein	Middel	Klein	Groot
Gevoeligheidsanalyse (effect op TVT, jaar)						
- 10%	1,4	1,5	2,4	0,1	0,2	0,2
+ 10%	-0,8	-0,9	-1,0	-0,7	-0,7	-0,7
Gevoeligheidsanalyse (effect op Kosteffectiviteit, €/ton)						
- 10%	-137	-124	-112	-290	-286	-281
+ 10%	509	504	500	562	560	559

4.6 Warmtepomp + warmteterugwinning uit luchtwasser (C6)

De berekende parameters voor de combinatie warmteterugwinning uit luchtwasser en warmtepomp (C6) zijn weergegeven in Tabel 23 en Tabel 24. Uit deze resultaten bleek dat de TVT van deze combinatie voor vleesvarkensbedrijven gemiddeld 4,2 jaar is en voor zeugenbedrijven gemiddeld 1,6 jaar. Wederom hebben de gasprijs, elektriciteitsprijs en COP waarde van de warmtepomp een grote invloed op de TVT. Net als bij C5, is de KE bij deze combinatie gunstiger vergeleken met de voorgaande scenario's (C1 t/m C4), dus deze maatregel is per ton CO₂-eq. reductie goedkoper. De PI voor vleesvarkens is gemiddeld 6,0 en voor zeugen 16,3, wat aangeeft dat deze combinatie zéér financieel aantrekkelijk is op beide typen varkensbedrijven. Het verschil in bedrijfsgrootte is voor alle berekende indices beperkt, maar over het algemeen kan worden vastgesteld dat bij kleinere bedrijven de TVT en KE en PI ongunstiger zijn.

Tabel 23 Resultaten van modelberekeningen voor C6 op vleesvarkensbedrijven met een luchtwasser.

Vleesvarkens	Eenheid	C6		
		Groot	Middel	Klein
Gasverbruik	m ³ /jaar	21.000	14.700	7.000
Totale netto investeringen	€	54.150	39.900	19.950
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	26.460	18.522	8.820
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	12.187	8.591	4.119
Jaarlijkse winst	€/jaar	14.273	9.931	4.701
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	16.980	11.926	5.698
Terugverdientijd	jaar	3,9	4,3	4,6
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-793	-784	-775
CO ₂ -eq. reductie per kg varkensvlees	kg CO ₂ -eq./kg	0,005	0,005	0,005
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,006	0,006	0,006
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,006	0,006	0,006
Winstgevendheid index (PI)	-	6,3	6,0	5,7

Tabel 24 Resultaten van modelberekeningen voor C6 op zeugenbedrijven met een luchtwasser.

Zeugen	Eenheid	C6		
		Groot	Middel	Klein
Gasverbruik	m ³ /jaar	78.000	48.750	19.500
Totale netto investeringen	€	70.680	46.500	19.530
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	98.280	61.425	24.570
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	41.353	25.916	10.394
Jaarlijkse winst	€/jaar	56.927	35.509	14.176
Jaarlijkse kasstroom (cash flow)	€/jaar	60.461	37.834	15.152
Terugverdientijd	jaar	1,5	1,6	1,7
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-908	-905	-902
CO ₂ -eq. reductie per kg varkensvlees	kg CO ₂ -eq./kg	0,045	0,045	0,045
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,062	0,062	0,062
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,049	0,049	0,050
Winstgevendheid index (PI)	-	17,1	16,3	15,5

4.6.1 Gevoeligheidsanalyse op de COP van warmtepomp

De resultaten zijn geanalyseerd op gevoeligheid voor veranderingen in de COP van de warmtepompen van combinaties C6 (zie Tabel 25).

In C6 is de gevoeligheid voor een stijging van de COP met 10% voor alle varkensbedrijven gemiddeld minder dan 0,2 jaar en wanneer de COP daalt naar 10%, neemt de TVT gemiddeld 0,3 jaar toe. De verlengde TVT bij een daling van COP kan worden verklaard door het extra energieverbruik van het warmterugwinningssysteem.

Bij een afname van COP is de KE nog steeds negatief maar wordt minder gunstig terwijl de toename van COP een gunstigere KE veroorzaakt. Dit komt voornamelijk door het lagere CO₂-eq. reductie waardoor er minder gasbesparing wordt behaald.

Tabel 25 Resultaten van 10% verandering in COP van warmtepomp in C6 op terugverdientijd (jaar) en kosteneffectiviteit (€/ton CO₂-eq. reductie) bij verschillende varkensbedrijven met een luchtwasser.

COP van warmtepomp= ±0,1	C6					
	Vleesvarkens			Zeugen		
Gevoeligheidsanalyse (effect op TVT, jaar)	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
- 10%	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2
+ 10%	-0,3	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1
Gevoeligheidsanalyse (effect op Kosteffectiviteit, €/ton)	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
- 10%	-103	-101	-99	-125	-124	-124
+ 10%	59	58	57	71	71	71

Een bespreking van de resultaten van elke combinatie is te vinden in Hoofdstuk 5, paragraaf 5.1. Daarnaast is er een vergelijking gemaakt tussen de verschillende combinaties.

5 Discussie

In dit hoofdstuk worden eerst de resultaten uit Hoofdstuk 4 besproken. Vervolgens worden de mogelijkheden om de varkenshouderij verder energieneutraal te maken besproken. Tot slot wordt de nauwkeurigheid van de resultaten gediscuteerd.

5.1 Overzicht en vergelijking van alle combinaties

In Tabel 26 en Tabel 27 is een samenvatting van de resultaten voor alle combinaties weergegeven. De combinaties in deze paragraaf zijn met gebruik van luchtwasser en SDE subsidie. De resultaten voor combinaties zonder luchtwassers zijn weergegeven in bijlage Figuur B2.11 – B2.13.

Voor vleesvarkensbedrijven is de TVT van de combinaties Zonnepanelen (C1) en Warmtepomp en warmtewisselaar (C6) het kortst. Voor zeugenbedrijven is de TVT het kortst voor combinatie Warmtepomp (+ CV-ketel) (C5) en Warmtepomp + warmteterugwinning uit luchtwasser (C6). Bij de varianten van de C5 is de TVT van de C5B gemiddeld 1 jaar langer dan die van de C5A. Deze langere TVT kan worden veroorzaakt door de veronderstelling dat de investeringen voor de warmtepomp in beide combinaties gelijk zijn. In de praktijk kan een lagere investering nodig zijn voor C5B met een lagere capaciteit heeft (80% capaciteit t.o.v. C5A), maar vanwege de onzekerheid in prijswijzigingen vanwege technische aspecten, is dit niet meegenomen in de berekening. De verhouding tussen de gasprijs en de elektriciteitsprijs heeft een grote invloed op de TVT, samen met de COP-waarde van de warmtepomp. Uit de energie-inhoud van gas ten opzichte van elektriciteit blijkt dat 1 m³ aardgas ongeveer evenveel energie bevat als 10 kWh elektriciteit. Een warmtepomp met een COP-waarde van 4 kan 1 kW elektriciteit omzetten in 4 kW warmte. Dit leidt tot een prijs van €1,26 per m³ gas vergeleken met (10/4 * €0,25 =) €0,63 voor dezelfde hoeveelheid warmte geproduceerd door de warmtepomp. Wanneer de gas- en elektriciteitsprijs stijgen of dalen of de COP-waarde van de warmtepomp anders is, dan verschuift het evenwicht.

De berekende TVT voor zonnepanelen (C1) en een combinatie van zonnepanelen en een batterij (C2) is het laagst voor kleinschalige bedrijven (Figuur 4). Lagere investeringen voor batterijen door subsidies of gezamenlijk gebruik van grotere batterijen (met lagere investeringen per kWh) kunnen de TVT van de batterijen verlagen. Het is aannemelijk dat door te concentreren op flexibele tarieven, waarbij rekening wordt gehouden met dag- en nachtpatronen (piekafvlakking of vertraagde levering) en door een slim management van de batterijsystemen, de installatie van batterijen efficiënter zou kunnen worden dan berekend voor de varkenssector. Naast de toepassing van individuele batterijen achter de meter, kunnen batterijen ook worden ingezet voor buffercapaciteit binnen energiehubs. Deze hubs zijn slimme, lokale energiesystemen waarbij opwekking, opslag, consumptie en mogelijk conversie naar andere energiedragers op lokaal niveau worden gecoördineerd tussen verschillende partijen. Een energiehub heeft als doel het elektriciteitsnetwerk te ontlasten en wordt daarom beschouwd als een oplossing voor netcongestie. Momenteel worden energiehubs enkel nog in de vorm van pilots ontwikkeld (RVO, 2023). In het huidige onderzoek is echter geen rekening gehouden met de mogelijkheid van extra zonnepanelen op het dak samen met smart beheer van het batterijsysteem. Slim beheer van batterijsystemen is zeer complex en moeilijk te modelleren. De toepassing kan echter de gerapporteerde uitkomsten in dit rapport beïnvloeden en in specifieke situaties kansen bieden voor varkensbedrijven.

De combinatie van stalkoeling door een warmtewisselaar, warmtepomp en zonnepanelen (C3) heeft een redelijke TVT (7 jaar) op zeugenbedrijven. Deze combinatie zorgt voor minder ventilatiebehoefte in de stal door de inkomende lucht naar de stal te conditioneren. De benodigde energie voor dit systeem (koeling, koelmachine en pompen) is groter dan de energie die nodig is voor een verminderde ventilatie. Daarom kan dit systeem milieuvriendelijker gemaakt worden door het te combineren met zonnepanelen. Dit is een gunstige combinatie, want op momenten dat er vraag naar koeling is, is er vaak ook veel zonne-energie beschikbaar. Echter, airconditioning in de zomer zou essentieel kunnen worden bij varkensbedrijven. Andere effecten, zoals impact op de luchtkwaliteit (gasconcentraties) in de varkensstal als gevolg van minder

ventilatie zijn hier niet onderzocht. Daarom moet het systeem bij implementatie in de praktijk niet alleen worden geoptimaliseerd voor de temperatuur, maar ook voor de luchtkwaliteit in de stal.

De combinatie van dagontmesting en mestvergisting (C4) resulteerde veelal in TVT langer dan 12 jaar, behalve voor grootschalige bedrijven (circa 10 jaar). De langere TVT van de zeugenbedrijven t.o.v. vleesvarkensbedrijven wordt vooral veroorzaakt door de samenstelling van de mest.

Combinatie C4 is in vergelijking met de andere onderzochte combinaties niet erg kosten positief. Dit betekent dat de andere combinaties goedkoper zijn om CO₂-eq. te reduceren. Alhoewel alternatieve combinaties goedkoper zijn per ton CO₂-eq. reductie, hebben zij niet hetzelfde totale reductiepotentieel als C4. Deze combinatie draagt bij aan de hoogste CO₂-eq. reductie per kg afgeleverd varkensvlees van het product (kg varkensvlees). Uit deze resultaten toonden aan dat mono-mestvergisting in combinatie met dagontmesting vanuit milieuaspecten het meest impactvol is van alle combinaties. Doordat deze combinatie ervoor zorgt dat er minder methaan uit mest vrijkomt op het bedrijf (Booijen et al., 2023). Echter de combinatie is momenteel economisch het minst aantrekkelijk voor varkenshouders.

In Figuur 5 zijn de resultaten van de kosteneffectiviteit per ton CO₂-eq. reductie weergegeven. Combinaties C5 en C6 zijn het meest kosteneffectief. Dit betekent dat C5 en C6 het goedkoopst zijn per ton CO₂-reductie. Alle combinaties, behalve die met een vergister op middelgrote en kleine bedrijven (C4), hebben een negatieve kosteneffectiviteit. Dit betekent dat deze combinaties niets kosten en zelfs inkomen genereren voor boeren die deze maatregelen nemen. De positieve kosteneffectiviteit van de C4 combinaties impliceren dat het reduceren van broeikasgassen, via deze combinaties wel geld kost voor de varkenshouder.

In Figuur 6 worden de resultaten van alle combinaties weergegeven voor het CO₂-eq. reductie per kg afgeleverd varkensvlees. Het hoogste CO₂-eq. reductie is berekend voor de combinaties met een vergister op beide vleesvarkens- en zeugenbedrijven (C4). De tweede plaats qua reductiepotentieel wordt ingenomen door de combinaties met zonne-energieproductie. Het CO₂-eq. reductie is het laagst voor de combinatie met een warmtepomp (C5). Om de milieuvriendelijkheid te verbeteren, kan groene stroom worden ingezet als vervangende energiebron. Het gebruik van warmte uit de luchtwasser kan leiden tot verbeterde prestaties van de dieren doordat het klimaat in de stal stabiel is en de kans op tocht kleiner wordt (Ellen et al., 2014). Dit voordeel is niet opgenomen in de modellering. In bijlage 2 zijn de resultaten voor alle combinaties zonder luchtwasser weergegeven (Figuren B2.8 - 10).

Tabel 26 Samenvattend overzicht van de uitgewerkte combinaties en indicatoren op vleesvarkensbedrijven met een luchtwasser.

Parameter	Eenheid	C1*			C2**			C4A			C4B			C4C		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Terugverdientijd	Jaar	6,4	7,3	4,7	7,2	8,0	6,1	10,1	14,4	35,5	14,0	21,4	57,2	18,0	26,7	70,9
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-80	-76	-119	-101	-84	-171	-20	-10	19	-12	2	40	-4	12	62
CO ₂ -eq. reductie per kg varkensvlees	kg CO ₂ -eq./kg	0,064	0,065	0,064	0,064	0,065	0,064	0,728	0,728	0,728	0,546	0,546	0,546	0,364	0,364	0,364
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,010	0,010	0,014	0,009	0,008	0,013	0,032	0,024	-0,001	0,020	0,011	-0,014	0,025	0,021	0,001
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,004	0,004	0,004	0,006	0,007	0,010	0,039	0,048	0,073	0,039	0,047	0,072	0,020	0,024	0,044
Winstgevendheid index (PI)	-	3,1	2,7	4,0	1,9	1,6	2,1	2,4	1,9	1,0	1,9	1,4	0,7	1,6	1,2	0,5

* met luchtwasser en SDE subsidie voor grootbedrijven

** met luchtwasser, SDE subsidie en zonder EIA subsidie voor de batterij

Tabel 26 (vervolg) Samenvattend overzicht van de uitgewerkte combinaties en indicatoren op vleesvarkensbedrijven.

Parameter	Eenheid	C5A			C5B			C6		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Terugverdientijd	jaar	4,1	4,5	4,9	5,1	5,6	6,1	3,9	4,3	4,6
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-1635	-1612	-1589	-1525	-1495	-1466	-793	-784	-779
CO ₂ -eq. reductie per kg varkensvlees	kg CO ₂ -eq./kg	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,005	0,005	0,005
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,006	0,006	0,006
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
Winstgevendheid index (PI)	-	5,4	5,2	5,0	4,4	4,2	4,0	6,3	6,0	5,7

Tabel 27 Samenvattend overzicht van de uitgewerkte combinaties en indicatoren op zeugen bedrijven met een luchtwasser.

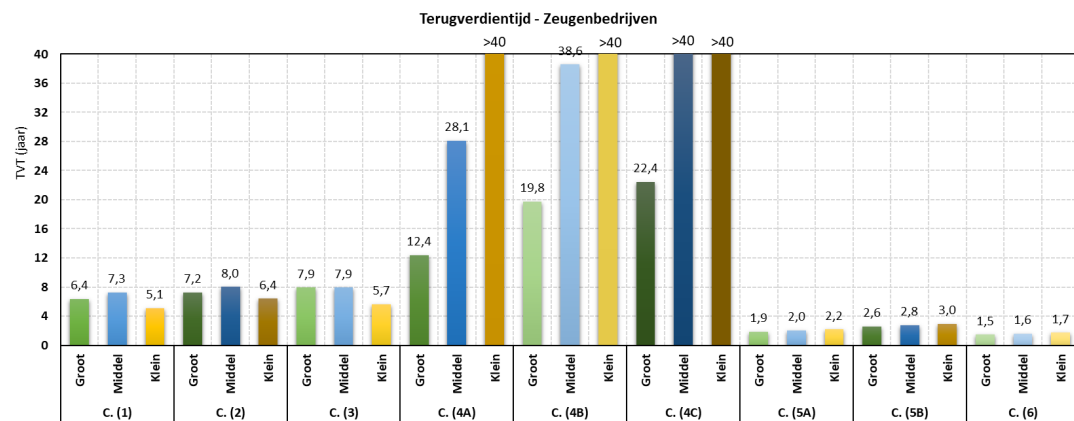
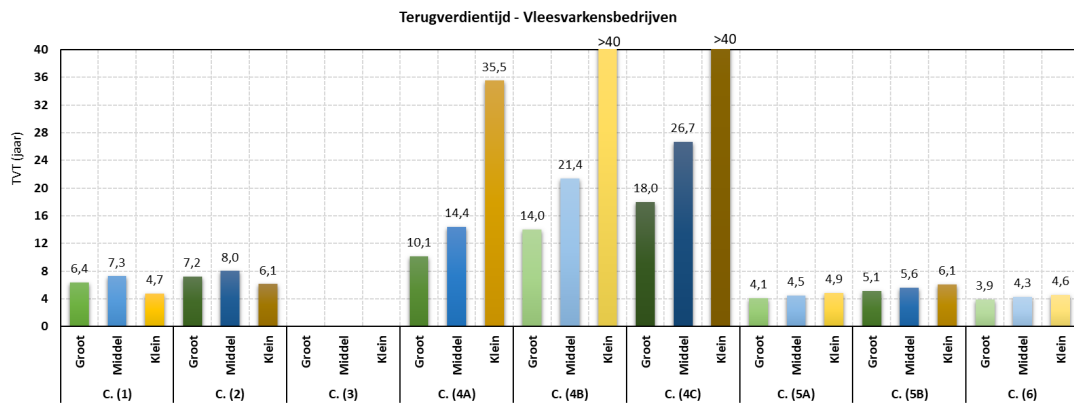
Parameter	Eenheid	C1*			C2**			C3			C4A			C4B			C4C		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Terugverdientijd	jaar	6,4	7,3	5,1	7,2	8,0	6,4	7,9	7,9	5,7	12,4	28,1	238,5	19,8	38,6	1288,6	22,4	41,2	1450,3
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-80	-76	-113	-101	-84	-162	-88	-88	-163	-16	11	84	-0,42	27	123	6	41	171
CO ₂ -eq. reductie per kg varkensvlees	kg CO ₂ -eq./kg	0,177	0,177	0,177	0,177	0,177	0,177	0,140	0,140	0,140	1,043	1,043	1,043	0,782	0,782	0,782	0,521	0,521	0,521
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,028	0,026	0,036	0,024	0,023	0,033	0,023	0,023	0,037	0,043	0,009	-0,082	0,020	-0,005	-0,095	0,034	0,018	-0,062
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,010	0,012	0,011	0,017	0,018	0,029	0,023	0,023	0,023	0,068	0,102	0,192	0,076	0,101	0,191	0,046	0,062	0,143
Winstgevendheid index (PI)	-	3,1	2,7	3,9	1,9	1,6	2,0	1,7	1,7	2,3	2,1	1,2	0,2	1,5	0,9	0,0	1,4	0,9	0,0

* met luchtwasser en SDE subsidie voor grootbedrijven

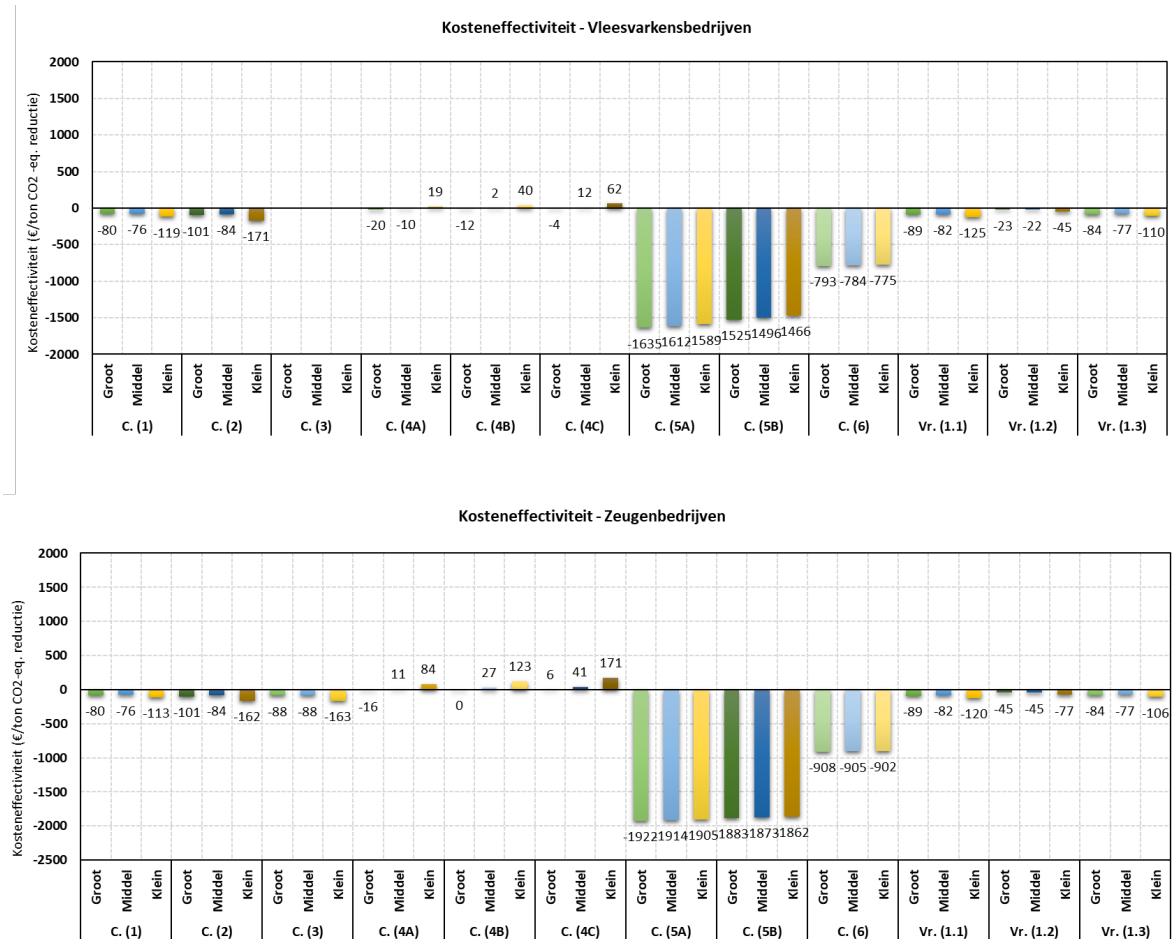
** met luchtwasser, SDE subsidie en zonder EIA subsidie voor de batterij

Tabel 27 (vervolg) Samenvattend overzicht van de uitgewerkte combinaties en indicatoren op zeugen bedrijven.

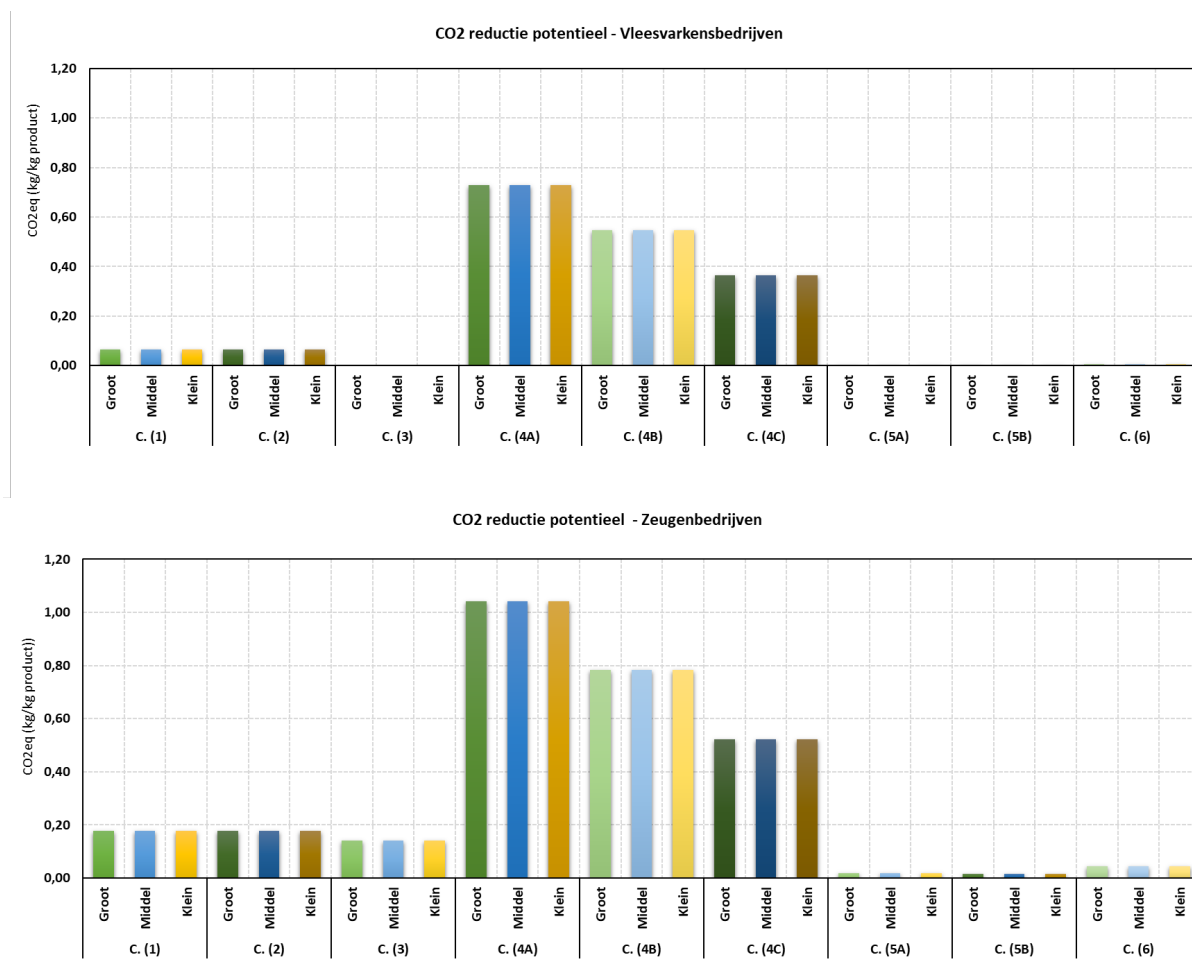
Parameter	Eenheid	C5A			C5B			C6		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Terugverdientijd	jaar	1,9	2,0	2,2	2,6	2,8	3,0	1,5	1,6	1,7
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq. reductie	-1922	-1913	-1905	-1883	-1873	-1862	-908	-905	-902
CO ₂ -eq. reductie per kg varkensvlees	kg CO ₂ -eq./kg	0,018	0,018	0,018	0,014	0,014	0,014	0,045	0,045	0,045
Winst per kg varkensvlees	€/kg	0,053	0,053	0,053	0,042	0,042	0,042	0,062	0,062	0,062
Kosten per kg varkensvlees	€/kg	0,058	0,058	0,059	0,048	0,048	0,048	0,049	0,049	0,050
Winstgevendheid index (PI)	-	14,7	14,0	13,4	11,9	11,3	10,8	17,1	16,3	15,5



Figuur 4 Terugverdiëntijd per verschillende combinatie op vleesvarken- en zeugenbedrijven met luchtwasser. Voor C5 - C6 is geen onderscheid gemaakt tussen bedrijven met of zonder luchtwasser, aangezien deze combinaties geen invloed hebben op het elektriciteitsverbruik van de luchtwasser. De balken tonen de berekende TVT van minder dan 40 jaar omdat langere TVT dan 40 jaar niet als realistisch worden beschouwd.



Figuur 5 Kosteneffectiviteit voor het reductie van CO₂-eq. op zowel vleesvarkens- als zeugenbedrijven met luchtwater. Voor C5 - C6 is geen onderscheid gemaakt tussen bedrijven met of zonder luchtwater, aangezien deze combinaties geen invloed hebben op het elektriciteitsverbruik van de luchtwater



Figuur 6 Reductie van CO_{2-eq} per kg product op zowel vleesvarkens- als zeugenbedrijven met luchtwater. Voor C5 - C6 is geen onderscheid gemaakt tussen bedrijven met of zonder luchtwater, aangezien deze combinaties geen invloed hebben op het elektriciteitsverbruik van de luchtwater.

5.2 Overige mogelijkheden voor energieneutraal varkensbedrijf

Op zeugenbedrijven lijkt het omzetten van geproduceerd biogas in warmte en elektriciteit via een warmtekrachtkoppeling (WKK) de meest aantrekkelijke mogelijkheid. Dit komt wellicht doordat de warmte die op de zeugenbedrijven wordt opgewekt, efficiënt kan worden gebruikt in de kraamzeugenstallen, waar het grootste deel van de energie wordt verbruikt. Hierdoor wordt de varkenshouderij onafhankelijk van het gas. Op vleesvarkensbedrijven wordt beperkt verwarmd, waardoor de geproduceerde energie niet op het bedrijf zelf kan worden benut. Dit systeem zal bij vleesvarkens financieel voordeliger kunnen worden als de met de WKK geproduceerde warmte wel nuttig wordt ingezet. Bijvoorbeeld bij het gebruik van warmte voor verwarming van de woonruimtes, mestdrogen, of andere technieken zoals het onttrekken van ammoniak aan de dunne fractie. Dit levert vleesvarkensbedrijven daarnaast een reductie van de mestafzetkosten. Een ander product van mono-mestvergisting is het digestaat wat overblijft na het vergistingsproces. Dit kan worden verder gebruikt als meststof op akkerbouwbedrijven. Opwaarderen van biogas naar groengas behoort ook tot de mogelijkheden, echter dit is vanwege hoge investeringen alleen rendabel op grote bedrijven of bij samenwerkingsvormen. Op een vleesvarkensbedrijf met minimaal 20.000 vleesvarkens, wordt het opwaarderen van biogas naar groen gas pas rendabel (Lamers, 2023). Een gesubsidieerd systeem

zou ervoor kunnen zorgen dat kleinere groengasinstallaties op een bedrijf ook financieel aantrekkelijk kunnen zijn. Coöperatieve productie zoals decentrale mono-vergisters met gecentraliseerde gasverzamelpunten, of het leveren van het opgewekte gas door individuele varkensbedrijven aan een grotere gasverbruiker, zoals voer- en mestverwerkingsbedrijven, kan ook een optie zijn. Dit laatste wordt door een aantal melkveehouders in Nederland in de praktijk gebracht.

Als er mest wordt vergist, maar geen dagontmesting plaatsvindt, wordt er dus dan oudere mest vergist (Variant C4B en C4C). Deze situatie leidt tot een langere TVT (gemiddeld 7 jaar langer op vleesvarkensbedrijven en 8 jaar op zeugenbedrijven) en de CO₂-eq. reductie daalt enorm (50% lager vergeleken met de C4A waarbij verse mest in de vergister wordt gevoerd). Dit komt doordat er tijdens een langere opslagperiode al meer methaan in de stal is geëmitteerd. Hierdoor is het vergisten van de mest minder kosteneffectief per ton CO₂-eq. reductie.

5.3 Nauwkeurigheid van de resultaten

Zowel voor vleesvarkens- als zeugenbedrijven lijken voldoende perspectiefvolle mogelijkheden aanwezig om duurzame energie op te wekken of een groot deel van de (duurzaam) opgewekte energie op eigen bedrijf te gebruiken. De verwachting is dat niet alle beschreven opties op één bedrijf kunnen worden toegepast. De mogelijkheden verschillen per bedrijfstype en -grootte en per individueel bedrijf. De resultaten van de modelberekeningen van de combinaties bestaan uit verschillende indicatoren, zodat ondernemers in de varkenshouderij kunnen zien welke mogelijkheden geschikt zijn voor hun specifieke doel. Het is echter cruciaal om elke combinatie afzonderlijk te beoordelen op basis van de unieke bedrijfssituatie.

De modelberekeningen bevatten veel aannames en invoergegevens die uit eerdere onderzoeken zijn gehaald, zijn gebaseerd op informatie van experts of zijn aangenomen. Bovendien veranderen prijzen en regelgeving zoals subsidies voor zonnepanelen of andere duurzame energieproductietechnieken. Voor relatief kleine monomestvergisters wordt een hoger SDE++ tarief aangehouden. Deze wijziging is nog niet in het gebruikte model opgenomen. Daarnaast was het niet mogelijk om alle vermeden kosten en emissies mee te nemen in dit onderzoek, omdat deze lastig te kwantificeren zijn. Voor andere bedrijven die deze combinaties willen berekenen moet daarom worden nagegaan of de in dit onderzoek gebruikte waarden en aannames representatief zijn voor de specifieke situatie. Verder zijn nog niet alle bijkomende voordelen en nadelen van de combinaties in kaart gebracht, bijvoorbeeld op het gebied van klimaat, dierenwelzijn en management.

Opgemerkt moet worden dat de CO₂-eq. reductie tijdens het productieproces van de technologie niet in de analyse zijn opgenomen. Daarom wordt aanbevolen om een LCA-analyse per combinatie uit te voeren, zodat de gehele levenscyclus van de combinatiemaatregelen in kaart wordt gebracht. Daarbij moet vermeld worden dat in dit onderzoek alleen de baten en kosten voor de varkenshouder zijn meegenomen en geen externe effecten zoals sociale/maatschappelijke kosten of indirecte effecten op gezondheid van de dieren.

6 Conclusies

Op basis van de resultaten zijn de volgende conclusies getrokken:

- Beide bedrijfstypen (varkens en zeugen) kunnen de investering in zonnepanelen naar verwachting in ongeveer 6 jaar terugverdienen (met de SDE-subsidie voor grootverbruikers en salderingsregeling voor kleinverbruikers). Op kleinschalige bedrijven (2.000 vleesvarkens en 300 zeugen) worden de investeringen sneller TVT (circa 5 jaar), dan op grote (6,4 jaar voor zowel vleesvarkens als zeugen met 6000 en 1200 varkens) en middelgrote bedrijven (7,3 jaar voor zowel vleesvarkens als zeugen met 4200 en 450 varkens). De lagere TVT van de kleine bedrijven kan worden verklaard door de saldering en lagere investeringen, terwijl de grote en middelgrote bedrijven worden gesubsidieerd voor de elektriciteitsopwekking uit zonnepanelen. De kosteneffectiviteit (kosten per eenheid CO₂-eq. reductie) van de grotere bedrijven was ongunstiger dan die van de kleinere bedrijven, wat betekent dat CO₂-reductie voor grotere bedrijven relatief duurder is dan voor kleine en middelgrote bedrijven.
- Het toepassen van curtailment (of inperking, het uitschakelen van de zonnepanelen om productie en verbruik op de piekuren in balans te brengen) (V1) resulteerde in een 0,5 jaar lagere TVT vergeleken met de combinatie zonder curtailment, door uitbetaling van 0,080 €/kWh. Meer zonnepanelen op het dak plaatsen (V2) (rekening houdend met het vaste vermogen en de investeringen per zonnepaneel) verhoogt de TVT met 1 jaar ten opzichte van situatie waarin alleen de elektriciteitsbehoefte van het bedrijf wordt gedekt (C1). Door het hogere vermogen van de zonnepanelen (V3) kan er meer capaciteit behaald worden tegen constante kosten waardoor de TVT daalt (ten opzichte van C1).
- Door een batterij te installeren om de overtollige elektriciteit op te slaan die wordt opgewekt door zonnepanelen en die niet direct op de bedrijven wordt gebruikt (C2), hebben grote bedrijven een TVT van 6 - 8 jaar (voor de gehele investering in zonnepanelen en batterij), terwijl die van kleinschalige bedrijven 6 jaar is. Deze laatste kortere TVT heeft een grote impact vergeleken met salderen. De kosteneffectiviteit bij grote bedrijven is gunstiger dan op kleinschalige bedrijven vanwege de lagere investeringen van grotere batterijen in vergelijking met batterijen met een kleine capaciteit.
- De combinatie van zonnepanelen en een stalkoelingssysteem (C3) heeft op zeugenbedrijven een TVT van gemiddeld 7,2 jaar. Op de grotere bedrijven is de TVT langer. Op vleesvarkensbedrijven kon deze analyse door gebrek aan data niet worden uitgevoerd.
- De combinatie van dagontmesting en een mono-vergister met WKK (C4) leidt tot een TVT van 10,1, 14,4 en 35,5 jaar voor respectievelijk de grote, middelgrote en kleinschalige vleesvarkensbedrijven. De TVT voor grote en middelgrote zeugenbedrijven is respectievelijk: 12,4 en 28,1 jaar. Op de kleine bedrijven is de TVT erg hoog en is het niet meer rendabel. Dit heeft te maken met de schaal van de installatie bij deze bedrijven en lagere biogasopbrengst van de zeugenmest. De TVT voor deze combinatie wordt langer wanneer oudere mest wordt gebruikt en er dus minder biogas kan worden geproduceerd. Bij een lagere biogasopbrengst wordt er ook minder elektriciteit en warmte geproduceerd. In deze berekening is geen rekening gehouden met de voordelen van de door WKK geproduceerde warmte. Als de warmte voor andere activiteiten op de varkenshouderij (zoals drogen van mest) of verwarming van varkensstal wordt gebruikt, kan dit systeem potentieel hogere positieve economische en milieueffecten kunnen opleveren.
- Een combinatie van een warmtepomp (C5) (mogelijk met bijverwarming van de bestaande CV-ketel) is een andere optie die een eenvoudig alternatief is om het gasgebruik op bestaande varkensbedrijven te verminderen. Het inzetten van de warmtepomp voor alle warmtebehoefte (inclusief warm water) leidt tot TVT van gemiddeld 4,5 jaar en 2,0 jaar voor vleesvarkens- en

zeugenbedrijven respectievelijk. Wanneer de warmtepomp in 80% van de warmtevraag voorziet, stijgt de TVT tot 5,6 en 2,8 jaar op vleesvarkens- en zeugenbedrijven. Voor zeugenbedrijven bleek dit systeem gunstiger te zijn dan voor vleesvarkensbedrijven, omdat zeugenbedrijven meer verwarming nodig hebben voor de biggen. Het vergelijken van de kosteneffectiviteit van deze twee combinaties (100% warmtepomp versus 80% warmtepompvoorziening) impliceert dat door een hogere inzet van de warmtepomp een betere kosteneffectiviteit kan worden verwacht (hogere inkomens en een hoger CO₂-eq. reductie).

- Door toepassing van de warmtepomp en warmtewisselaar (C6) op bedrijven met een luchtwasser kan op vleesvarkensbedrijven een iets kortere TVT verwacht worden (4,2 jaar) en op zeugenbedrijven blijft de TVT lager dan C5A (1,6 jaar). Door het rendement van de warmtepompen (COP) met 10% te verhogen, wordt de TVT 0,3 jaar verkort.

Op basis van deze resultaten kan redelijkerwijs worden geconcludeerd dat varkenshouders kunnen profiteren van investeringen in maatregelen voor de productie van hernieuwbare energie terwijl die tegelijkertijd ook bijdragen aan de vermindering van de emissie. Op basis van de uitgevoerde berekeningen wordt geconcludeerd dat het financiële haalbaarheid van monomestvergisters voor de kleinere varkensbedrijven vergroot kan worden met stimuleringsregelingen, zoals subsidies voor dagontmesting in combinatie met monovergisters op de varkensbedrijven, voor het opwekken van duurzame energieproductie en het beperken van emissies. Hierbij moet gezegd worden dat de SDE++ subsidie zoals deze eind 2024 opengesteld wordt op dit punt verbeterd is. Voor relatief kleine monomestvergisters wordt deze techniek gunstiger vanwege een hoger SDE++ tarief.

Vanwege netbeperkingen moet de productie van hernieuwbare energie, zoals door zonnepanelen of biogasproductie, worden geoptimaliseerd op basis van de netcapaciteit en het type aansluiting. Opties zoals het gebruik van batterijen voor het opslaan van overtollige elektriciteit bieden kansen voor de varkenshouder en dragen daarnaast bij aan het verminderen van overbelasting van het net. In de volgende stappen van dit project zullen de mogelijkheden worden geëvalueerd om de opgewekte energie te verdelen binnen en buiten de varkensketen.

Deze modelberekening bevestigt dat er al veel combinaties beschikbaar zijn die varkenshouders kunnen toepassen voor een transitie naar energieneutraliteit. Bovendien lijken de onderzochte combinaties van maatregelen, met uitzondering van C4 voor kleine varkensbedrijven, rendabel te zijn volgens de modelberekeningen met de huidige subsidieregelingen. Wanneer financiering geen probleem is en de maatregel milieutechnisch haalbaar is, zou dit een goede investering zijn voor varkenshouders op basis van de gepresenteerde berekeningen.

Literatuur

- Aarnink, A.J.A., Verhoijssen, R., Bokma, S., 2014. Naar energieneutrale varkensstallen met luchtrecirculatie: de Enerlatiestal= Towards energy neutral pig houses with recirculation of air: the Enerlatiestal. Wageningen UR Livestock Research.
- Agrimatie, 2022. Varkenshouderij - Energie - Energiegebruik en efficiëntie.
- Boerderij, 2022. Besparen op energiekosten met energieopslag in een batterij. boerderij.
- Booijen, M., Wagenveld, J., van Riel, J., de Mol, R., Aarnink, A., 2023. Emissiereductie methaan, ammoniak en geur in varkensstallen met dagontmesting. Wageningen Livestock Research.
- DLVadvies, 2023. Beperkte verlaging kostprijs, grote inkomenswinst.
- Energykonnex, 2023. Subsidie Energie Investeringsaftrek 2023.
- GeisslerMarketing, 2022. Warmtepomp voor comfort verwarmde biggennesten, zonder gas. Milieutechniek, Veehouderij.
- Gollenbeek, L.R., van Gastel, J.P.B.F., Casu, F.A.M., Verdoes, N., 2021. Emissies en kosten van verschillende scenario's voor verwaarding van varkensmest; NL Next Level Mestverwaarden. NWageningen Livestock Research.
- Hou, Y., 2016. Towards improving the manure management chain. Wageningen University and Research.
- Inno+, 2021a. New livestock cooling concept of Inno+.
- Inno+, 2021b. Producten - Triple EEE warmteterugwinning voor stallen. .
- Inno+, 2022a. Droge koeling in berenstallen – rendement op investering 2 jaar.
- Inno+, 2022b. Optimaal klimaat met mechanische koeling – Zeugenhouderij Rotink Aalten.
- IPCC, 2021. Summary for policymakers. in: Climate change 2021: The physical science basis. contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896. .
- Kasper, G., Ellen, H., 2014. EnerVatiestal: energiebesparende en-opwekkende technieken: bijdrage aan een energieneutrale stal voor de varkenshouderij. Wageningen UR Livestock Research.
- Kramer, K., Hoste, R., van Dooren, H., 2006. Energie in de varkensketen. LEI.
- KWIN, 2022. KWIN 2022-2023: Kwantitatieve Informatie Veehouderij.
- Lamers, J., 2021. Nieuwe klimaatrichtlijnen voor stal zijn noodzaak. Varkens.
- Lamers, J., 2023. Monomestvergisting is interessant voor varkens- en rundveehouders.
- Lesscher, I., 2022. Nieuwe richtlijnen voor stalklimaat: ventilatie omhoog, temperatuur omlaag. nieuweoogst.
- Liander, 2023. Congestie management.
- Lintmeijer, N., Warnars, J., Ouden, B.d., 2019. De technologische industrie: aanjager van de energietransitie, Routekaart voor CO2-reductie in de technologische industrie.
- Milieucentraal, 2023a. Hybride warmtepomp.
- Milieucentraal, 2023b. Zonnepanelen: hoe geschikt is je dak?
- Pardo, G., Moral, R., Del Prado, A., 2017. SIMSWASTE-AD-A modelling framework for the environmental assessment of agricultural waste management strategies: Anaerobic digestion. Science of The Total Environment 574, 806-817.
- Petersen, S.O., Lee, D., Kim, D.-H., 2020. Effects of storage temperature on CH4 emissions from cattle manure and subsequent biogas production potential. Waste management 101, 35-43.
- POV, 2023. Onderzoeks- en innovatieagenda varkenssector 2021 - 2027. RVO website.
- Rooijers, F., Breman, S., Hoen, A., Warringa, G., Schellekens, J., den Ouden, B., Kerkhoven, J., Terwel, R., Hanemaaijer, N., 2022. Aanvullend klimaatbeleid voor 2030. Delft.
- RVO, 2022. Handreiking energieopslag en netinpassing voor installateurs zonnestroom.
- RVO, 2023. Routekaart Energieopslag.
- Spruijt, J., Terbijhe, A., 2016. Perspectief zonnestroom in de agrarische sector. ACRRES-Wageningen UR.

van Boxmeer, E., Sefeedpari, P., Verdoes, N., Gollenbeek, L., 2023. Mogelijkheden voor besparing en opwekking duurzame energie op varkenshouderijbedrijven: Ontwikkeling van 'opportunity dartboards'. Wageningen Livestock Research.

van der Welle, A., Cleijne, H., Lensink, S., 2020. CONCEPTADVIES SDE++ 2021.

Van Wagenberg, A., Claessen, P., Binnendijk, G., 2005. Optimaal klimaat en energiebesparing in de kraamstal: Vloerkoeling voor zeugen. Animal Sciences Group/Praktijkonderzoek.

Veefkind, W., 2019. Energieopslag in batterijen.

Visser, A., Bos, B., Gollenbeek, L., Migchels, G., Stortelder, J., Veefkind, W., van der Voort, M., 2020. Zonder netverzwaring maximaal hernieuwbare energie produceren: Ontwerpen voor melkveehouderij en akkerbouw om meer hernieuwbare energie te produceren door energieproductie op het eigen bedrijf flexibel te benutten. Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research.

Bijlage 1 Gebruikte constanten en coëfficiënten

De prijzen die zijn gebruikt in de economische analyses zijn gebaseerd op marktprijzen, zoals te zien in Tabel B1.1.

Tabel B1.1 Marktprijzen en overige constanten

Parameter	Eenheid		Bron
Aardgas	€/m ³	1,26 ¹	Gemiddelde waarde in 2022
Elektriciteit	€/kWh	0,25 ¹	Gemiddelde waarde in 2022
Big	€/stuk	48,75	KWIN (2022)
Varkensvlees	€/kg	1,525	KWIN (2022)
Mestafzetkosten	€/m ³	18,00	KWIN (2022)
Levend eindgewicht (afgeleverd varkensvlees)	kg	124,8	KWIN (2022)
Omzetsnelheid per vleesvarken, inclusief uitvalpercentage van 2,4%	-	3,16	KWIN (2022)
Aantal verkochte biggen van 25 kg	stuk per zeug	30,6	KWIN (2022)
Gem. dagelijkse gewichtstoename	g/dag	875	KWIN (2022)
oppervlakte per vlees varken	m ² /vleesvarken	1,14	Aarnink <i>et al.</i> (2014)
oppervlakte per zeug	m ² /zeug	1,90	Aanname ²
Energie-inhoud aardgas	MJ/Nm ³	35,17	

¹ excl. BTW en incl. energiebelasting

² aangenomen is dat de oppervlakte van de vleesvarkens 60% van de zeugen is.

De CO_{2eq.} emissie factoren en het Global Warming Potential (GWP) van de energiebronnen zijn weergegeven in Tabel B1.2. Hiermee is berekend hoeveel CO_{2eq.} met een combinatie bespaard kan worden.

Tabel B1.2 CO₂ equivalenten van energiebronnen en de Global Warming Potential (GWP) van emissiebronnen

Parameter	Eenheid		Bron
Energiebronnen			
Aardgas	kg CO ₂ /m ³	1,8	Ecoinvent
Grijze stroom	kg CO ₂ /kWh	0,65	Ecoinvent
Groene stroom	kg CO ₂ /kWh	0,015	Ecoinvent
Diesel	kg CO ₂ /L	2,6	Ecoinvent
Kerosene	kg CO ₂ /L	2,5	Ecoinvent
LNG	kg CO ₂ /m ³	1,11	Ecoinvent
BioLNG	kg CO ₂ /m ³	0,222	Ecoinvent
Global Warming Potential (100 jaar)			
Methaan	kg CO _{2eq.} /kg CH ₄	27	(IPCC, 2021)
Lachgas	kg CO _{2eq.} /kg N ₂ O	273	(IPCC, 2021)
Koolstofdioxide	kg CO _{2eq.} /kg CO ₂	1	(IPCC, 2021)

Bijlage 2 Aanvullende uitvoer van modelberekeningen

Vleesvarkens

Parameter	Eenheid	C. (1)		
		Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	140.000	100.000	50.000
Gasverbruik	m ³ /jaar			
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	140.000	100.000	50.000
Totale netto investeringskosten	€	84.700	69.300	31.424
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	16.488	11.777	8.028
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	5.082	4.158	1.885
Jaarlijkse profit	€/jaar	11.406	7.619	6.143
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	14.794	10.391	7.400
Terugverdientijd	jaar	7,4	8,8	5,6
Kosteneffectiviteit	€/ton CO₂-eq reductie	-64	-59	-106
CO₂eq reductie per kg product	kg CO₂-eq/kg varkensvlees	0,038	0,038	0,040
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,00482	0,00460	0,00779
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,00215	0,00251	0,00239
Winstgevendheid index (PI)	-	2,7	2,3	3,7

Zeugen

Parameter	Eenheid	C. (1)		
		Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	223.000	140.000	56.000
Gasverbruik	m ³ /jaar			
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	223.000	140.000	56.000
Totale netto investeringskosten	€	134.915	97.020	35.195
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	26.262	16.488	9.198
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	8.095	5.821	2.112
Jaarlijkse profit	€/jaar	18.167	10.666	7.086
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	23.564	14.547	8.494
Terugverdientijd	jaar	7,4	8,8	5,4
Kosteneffectiviteit	€/ton CO₂eq	-64	-59	-110
CO₂eq reductie per kg product	kg CO₂/kg varkensvlees	0,154	0,155	0,155
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,01979	0,01859	0,03088
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,00882	0,01015	0,00920
Winstgevendheid index (PI)	-	2,7	2,3	3,8

Figuur B2.1 Resultaten van modelberekeningen voor C1 op varkensbedrijven zonder luchtwasser (beide tabellen tonen de resultaten met subsidie).

Vleesvarkens

Parameter	Eenheid	C. (1)		
		Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	240.000	170.000	80.000
Gasverbruik	m3/jaar			
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	240.000	170.000	80.000
Totale netto investeringskosten	€	145.200	117.810	50.279
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	16.830	11.921	13.875
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	8.712	7.069	3.017
Jaarlijkse profit	€/jaar	8.118	4.852	10.858
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	13.926	9.565	12.869
Terugverdientijd	jaar	14,0	17,4	4,7
Kosteneffectiviteit	€/ton CO2-eq reductie	-18	-12	-119
CO2eq reductie per kg product	kg CO2-eq/kg varkensvlees	0,064	0,065	0,064
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,00343	0,00293	0,01377
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,00368	0,00427	0,00382
Winstgevendheid index (PI)	-	1,5	1,3	4,0

Zeugen

Parameter	Eenheid	C. (1)		
		Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	256.000	160.000	64.000
Gasverbruik	m3/jaar			
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	256.000	160.000	64.000
Totale netto investeringskosten	€	154.880	110.880	40.223
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	17.951	11.220	10.757
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	9.293	6.653	2.413
Jaarlijkse profit	€/jaar	8.659	4.567	8.343
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	14.854	9.002	9.952
Terugverdientijd	jaar	14,0	17,4	5,1
Kosteneffectiviteit	€/ton CO2eq	-18	-12	-113
CO2eq reductie per kg product	kg CO2/kg varkensvlees	0,177	0,177	0,177
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,00943	0,00796	0,03635
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,01012	0,01160	0,01052
Winstgevendheid index (PI)	-	1,5	1,3	3,9

Figuur B2.2 Resultaten modelberekeningen voor C1 zonder subsidie op varkensbedrijven met luchtwasser.

Vleesvarkens

Parameter	Eenheid	C. (1)		
		Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	140.000	100.000	50.000
Gasverbruik	m3/jaar			
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	140.000	100.000	50.000
Totale netto investeringskosten	€	84.700	69.300	31.424
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	7.388	5.277	8.028
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	5.082	4.158	1.885
Jaarlijkse profit	€/jaar	2.306	1.119	6.143
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	5.694	3.891	7.400
Terugverdientijd	jaar	23,9	30,8	5,6
Kosteneffectiviteit	€/ton CO2-eq reductie	-1	5	-106
CO2eq reductie per kg product	kg CO2-eq/kg varkensvlees	0,038	0,038	0,040
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,00097	0,00068	0,00779
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,00215	0,00251	0,00239
Winstgevendheid index (PI)	-	1,0	0,9	3,7

Zeugen

Parameter	Eenheid	C. (1)		
		Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	223.000	140.000	56.000
Gasverbruik	m3/jaar			
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	223.000	140.000	56.000
Totale netto investeringskosten	€	134.915	97.020	35.195
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	11.767	7.388	9.198
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	8.095	5.821	2.112
Jaarlijkse profit	€/jaar	3.672	1.566	7.086
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	9.069	5.447	8.494
Terugverdientijd	jaar	23,9	30,8	5,4
Kosteneffectiviteit	€/ton CO2eq	-1	5	-110
CO2eq reductie per kg product	kg CO2/kg varkensvlees	0,154	0,155	0,155
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,00400	0,00273	0,03088
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,00882	0,01015	0,00920
Winstgevendheid index (PI)	-	1,0	0,9	3,8

Figuur B2.3 Resultaten modelberekeningen voor C1 zonder subsidie op varkensbedrijven zonder luchtwasser.

Vleesvarkens

Parameter	Eenheid	C. (1)			Vr. (1.1)		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	140.000	100.000	50.000	140.000	100.000	50.000
Gasverbruik	m ³ /jaar						
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	140.000	100.000	50.000	128.493	100.000	50.000
Totale netto investeringskosten	€	84.700	69.300	31.424	84.700	69.300	31.424
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	16.488	11.777	8.028	17.408	12.434	8.357
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	5.082	4.158	1.885	5.082	4.158	1.885
Jaarlijkse profit	€/jaar	11.406	7.619	6.143	12.326	8.276	6.472
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	14.794	10.391	7.400	15.714	11.048	7.729
Terugverdientijd	jaar	7,4	8,8	5,6	6,4	7,7	5,2
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq reductie	-64	-59	-106	-72	-65	-113
CO ₂ eq reductie per kg product	kg CO ₂ -eq/kg varkensvlees	0,038	0,038	0,040	0,034	0,035	0,037
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,00482	0,00460	0,00779	0,00521	0,00500	0,00821
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,00215	0,00251	0,00239	0,00215	0,00251	0,00239
Winstgevendheid index (PI)	-	2,7	2,3	3,7	2,9	2,5	3,8

Zeugen

Parameter	Eenheid	C. (1)			Vr. (1.1)		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	223.000	140.000	56.000	223.000	140.000	56.000
Gasverbruik	m ³ /jaar						
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	223.000	140.000	56.000	204.671	128.493	51.397
Totale netto investeringskosten	€	134.915	97.020	35.195	134.915	97.020	35.195
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	26.262	16.488	9.198	27.729	17.408	9.566
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	8.095	5.821	2.112	8.095	5.821	2.112
Jaarlijkse profit	€/jaar	18.167	10.666	7.086	19.634	11.587	7.454
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	23.564	14.547	8.494	25.030	15.468	8.862
Terugverdientijd	jaar	7,4	8,8	5,4	6,4	7,7	4,9
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ eq	-64	-59	-110	-72	-65	-116
CO ₂ eq reductie per kg product	kg CO ₂ /kg varkensvlees	0,154	0,155	0,155	0,006	0,006	0,006
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,01979	0,01859	0,03088	0,02139	0,02019	0,03248
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,00882	0,01015	0,00920	0,00882	0,01015	0,00920
Winstgevendheid index (PI)	-	2,7	2,3	3,8	2,9	2,5	3,9

Figuur B2.4 Resultaten modelberekeningen voor de eerste variant van C1 zowel de vleesvarkensbedrijven als de zeugenbedrijven, zonder de luchtwasser en met subsidie.

Vleesvarkens

Parameter	Eenheid	C. (1)			Vr. (1.2)		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	140.000	100.000	50.000	140.000	100.000	50.000
Gasverbruik	m ³ /jaar						
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	140.000	100.000	50.000	504.545	356.545	168.182
Totale netto investeringskosten	€	84.700	69.300	31.424	305.250	215.710	94.674
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	16.488	11.777	8.028	49.297	34.866	14.528
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	5.082	4.158	1.885	18.315	12.943	5.680
Jaarlijkse profit	€/jaar	11.406	7.619	6.143	30.982	21.923	8.848
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	14.794	10.391	7.400	43.192	30.552	12.635
Terugverdientijd	jaar	7,4	8,8	5,6	8,9	8,9	9,2
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq reductie	-64	-59	-106	7	8	-10
CO ₂ eq reductie per kg product	kg CO ₂ -eq/kg varkensvlees	0,038	0,038	0,040	0,135	0,137	0,135
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,00482	0,00460	0,00779	0,01309	0,01324	0,01122
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,00215	0,00251	0,00239	0,00774	0,00781	0,00720
Winstgevendheid index (PI)	-	2,7	2,3	3,7	2,2	2,2	2,1

Zeugen

Parameter	Eenheid	C. (1)			Vr. (1.2)		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	223.000	140.000	56.000	223.000	140.000	56.000
Gasverbruik	m ³ /jaar						
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	223.000	140.000	56.000	392.424	242.929	93.434
Totale netto investeringskosten	€	134.915	97.020	35.195	237.417	146.972	56.528
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	26.262	16.488	9.198	41.510	25.751	11.256
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	8.095	5.821	2.112	14.245	8.818	2.916
Jaarlijkse profit	€/jaar	18.167	10.666	7.086	27.265	16.933	8.340
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	23.564	14.547	8.494	36.762	22.812	10.284
Terugverdientijd	jaar	7,4	8,8	5,4	8,2	8,2	5,7
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ eq	-64	-59	-110	-25	-25	-61
CO ₂ eq reductie per kg product	kg CO ₂ /kg varkensvlees	0,154	0,155	0,155	0,011	0,011	0,010
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,01979	0,01859	0,03088	0,02970	0,02951	0,03634
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,00882	0,01015	0,00920	0,01552	0,01537	0,01271
Winstgevendheid index (PI)	-	2,7	2,3	3,8	2,4	2,4	3,3

Figuur B2.5 Resultaten modelberekeningen voor de tweede variant van C1 zowel de vleesvarkensbedrijven als de zeugenbedrijven, zonder de luchtwasser en met subsidie.

Vleesvarkens

Parameter	Eenheid	C. (1)			Vr. (1.3)		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	140.000	100.000	50.000	140.000	100.000	50.000
Gasverbruik	m ³ /jaar						
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	140.000	100.000	50.000	160.811	114.865	57.432
Totale netto investeringskosten	€	84.700	69.300	31.424	84.700	69.300	31.424
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	16.488	11.777	8.028	18.360	13.115	8.437
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	5.082	4.158	1.885	5.082	4.158	1.885
Jaarlijkse profit	€/jaar	11.406	7.619	6.143	13.278	8.957	6.552
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	14.794	10.391	7.400	16.666	11.729	7.809
Terugverdientijd	jaar	7,4	8,8	5,6	6,7	7,8	5,1
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq reductie	-64	-59	-106	-69	-62	-99
CO ₂ eq reductie per kg product	kg CO ₂ -eq/kg varkensvlees	0,038	0,038	0,040	0,043	0,044	0,046
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,00482	0,00460	0,00779	0,00561	0,00541	0,00831
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,00215	0,00251	0,00239	0,00215	0,00251	0,00239
Winstgevendheid index (PI)	-	2,7	2,3	3,7	3,1	2,6	3,9

Zeugen

Parameter	Eenheid	C. (1)			Vr. (1.3)		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	223.000	140.000	56.000	223.000	140.000	56.000
Gasverbruik	m ³ /jaar						
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	223.000	140.000	56.000	256.149	160.811	64.324
Totale netto investeringskosten	€	134.915	97.020	35.195	134.915	97.020	35.195
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	26.262	16.488	9.198	29.246	18.360	9.655
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	8.095	5.821	2.112	8.095	5.821	2.112
Jaarlijkse profit	€/jaar	18.167	10.666	7.086	21.151	12.539	7.544
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	23.564	14.547	8.494	26.547	16.420	8.952
Terugverdientijd	jaar	7,4	8,8	5,4	6,7	7,8	4,8
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ eq	-64	-59	-110	-69	-62	-102
CO ₂ eq reductie per kg product	kg CO ₂ /kg varkensvlees	0,154	0,155	0,155	0,007	0,007	0,007
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,01979	0,01859	0,03088	0,02304	0,02185	0,03287
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,00882	0,01015	0,00920	0,00882	0,01015	0,00920
Winstgevendheid index (PI)	-	2,7	2,3	3,8	3,1	2,6	4,0

Figuur B2.6 Resultaten van de derde variant van C1 voor zowel de vleesvarkensbedrijven als de zeugenbedrijven, zonder de luchtwasser en met subsidie.

(a)

C. (1)

Netto stroomprijs teruglevering = ±0,1	Vl.varkens			Zeugen		
	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Gevoeligheidsanalyse (effect op TVT)						
- €0,1/kWh	0,2	-0,6	0,4	0,2	-0,6	0,4
+ €0,1/kWh	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4
Gevoeligheidsanalyse (effect op Kosteffectiviteit)						
- €0,1/kWh	0,00	2,16	5,41	0,00	2,16	5,41
+ €0,1/kWh	-4,33	-2,16	-5,41	-4,33	-2,16	-5,41

(b)

C. (1)

Investeringskosten zonnepanelen = ±0,1	Vl.varkens			Zeugen		
	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Gevoeligheidsanalyse (effect op TVT)						
- €0,1/Wp	-0,6	-0,7	-0,6	-0,6	-0,7	-0,5
+ €0,1/Wp	0,6	0,8	0,6	0,6	0,8	0,6
Gevoeligheidsanalyse (effect op Kosteffectiviteit)						
- €0,1/Wp	-7,17	-5,73	-6,37	-7,17	-5,73	-6,37
+ €0,1/Wp	2,84	5,73	6,37	2,84	5,73	6,37

Figuur B2.7 Resultaten van de gevoeligheidsanalyse met betrekking tot 10% veranderingen in (a) de terugleverprijs van elektriciteit en (b) de investeringen van zonnepanelen op terugverdientijd (jaar) en kosteneffectiviteit (€/ton CO₂-eq. reductie) bij bedrijven zonder de luchtwasser. De negatieve waarde van kosteneffectiviteit laat zien dat de KE is verbeterd (d.w.z. de maatregel minder kostbaar is).

Vleesvarkens

Parameter	Eenheid	C. (2)		
		Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	140.000	100.000	50.000
Gasverbruik	m3/jaar			
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	140.000	100.000	50.000
Totale netto investeringskosten	€	115.192	91.080	60.464
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	19.008	13.577	10.778
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	10.571	8.078	7.113
Jaarlijkse profit	€/jaar	8.437	5.498	3.666
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	14.874	10.448	7.827
Terugverdientijd	jaar	9,6	11,1	9,5
Kosteneffectiviteit	€/ton CO2-eq reductie	-56	-40	-84
CO2eq reductie per kg product	kg CO2-eq/kg varkensvlees	0,038	0,038	0,040
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,00357	0,00332	0,00465
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,00447	0,00488	0,00902
Winstgevendheid index (PI)	-	1,4	1,3	1,4

Zeugen

Parameter	Eenheid	C. (2)		
		Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	223.000	140.000	56.000
Gasverbruik	m3/jaar			
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	223.000	140.000	56.000
Totale netto investeringskosten	€	183.484	127.512	55.523
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	30.276	19.008	12.278
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	16.837	11.310	5.771
Jaarlijkse profit	€/jaar	13.439	7.698	6.507
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	23.692	14.628	9.947
Terugverdientijd	jaar	9,6	11,1	6,6
Kosteneffectiviteit	€/ton CO2eq	-56	-40	-155
CO2eq reductie per kg product	kg CO2/kg varkensvlees	0,154	0,155	0,155
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,01464	0,01342	0,02835
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,01834	0,01971	0,02514
Winstgevendheid index (PI)	-	1,4	1,3	2,0

Figuur B2.8 Resultaten van modelberekeningen voor C2 op zowel vleesvarkensbedrijven als zeugenbedrijven zonder de luchtwasser.

Zeugen

Parameter	Eenheid	C. (3)		
		Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	313.741	196.713	78.685
Gasverbruik	m ³ /jaar			
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar			
Totale netto investeringskosten	€	240.000	150.000	60.000
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	41.431	25.951	12.520
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	20.800	13.000	5.200
Jaarlijkse profit	€/jaar	20.631	12.951	7.320
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	36.631	22.951	11.320
Terugverdientijd	jaar	8,0	8,0	6,1
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ eq	-100	-100	-156
CO ₂ eq reductie per kg product	kg CO ₂ /kg varkensvlees	0,122	0,122	0,122
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,02247	0,02257	0,03189
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,02266	0,02266	0,02266
Winstgevendheid index (PI)	-	1,7	1,7	2,1

Figuur B2.9 Resultaten van modelberekeningen voor C3 op zeugenbedrijven zonder de luchtwasser.

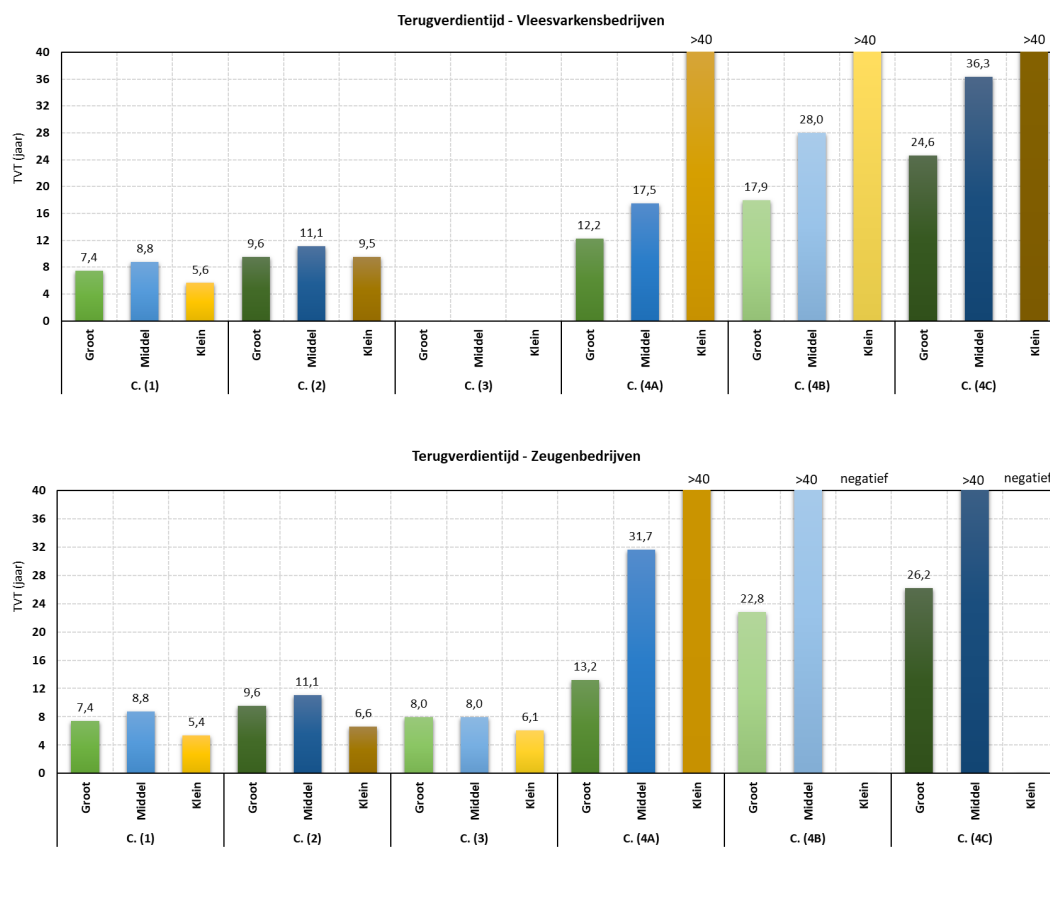
Vleesvarkens

Parameter	Eenheid	C. (4A)			C. (4B)			C. (4C)		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	140.000	100.000	50.000	140.000	100.000	50.000	140.000	100.000	50.000
Gasverbruik	m ³ /jaar									
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	512.563	358.794	170.854	384.422	269.096	128.141	256.282	179.397	85.427
Totale netto investeringskosten	€	1.058.506	913.178	630.862	1.047.944	904.861	625.802	1.027.023	888.388	615.782
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	153.141	107.519	51.580	122.076	85.773	41.225	91.010	64.027	30.870
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	92.436	79.450	57.395	91.274	78.535	56.838	46.973	39.973	34.736
Jaarlijkse profit	€/jaar	60.705	28.069	-5.815	30.802	7.238	-15.613	44.038	24.055	-3.866
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	113.630	73.728	25.729	83.199	52.481	15.677	65.389	42.224	11.923
Terugverdientijd	jaar	12,2	17,5	43,9	17,9	28,0	77,7	24,6	36,3	103,4
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ -eq reductie	-14	-4	24	-3	11	48	7	24	73
CO ₂ eq reductie per kg product	kg CO ₂ -eq/kg varkensvlees	0,728	0,728	0,728	0,546	0,546	0,546	0,364	0,364	0,364
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,02566	0,01695	-0,00737	0,01302	0,00437	-0,01980	0,01861	0,01452	-0,00490
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,03906	0,04797	0,07277	0,03857	0,04741	0,07206	0,01985	0,02413	0,04404
Winstgevendheid index (PI)	-	2,1	1,6	0,8	1,6	1,2	0,5	1,3	1,0	0,4

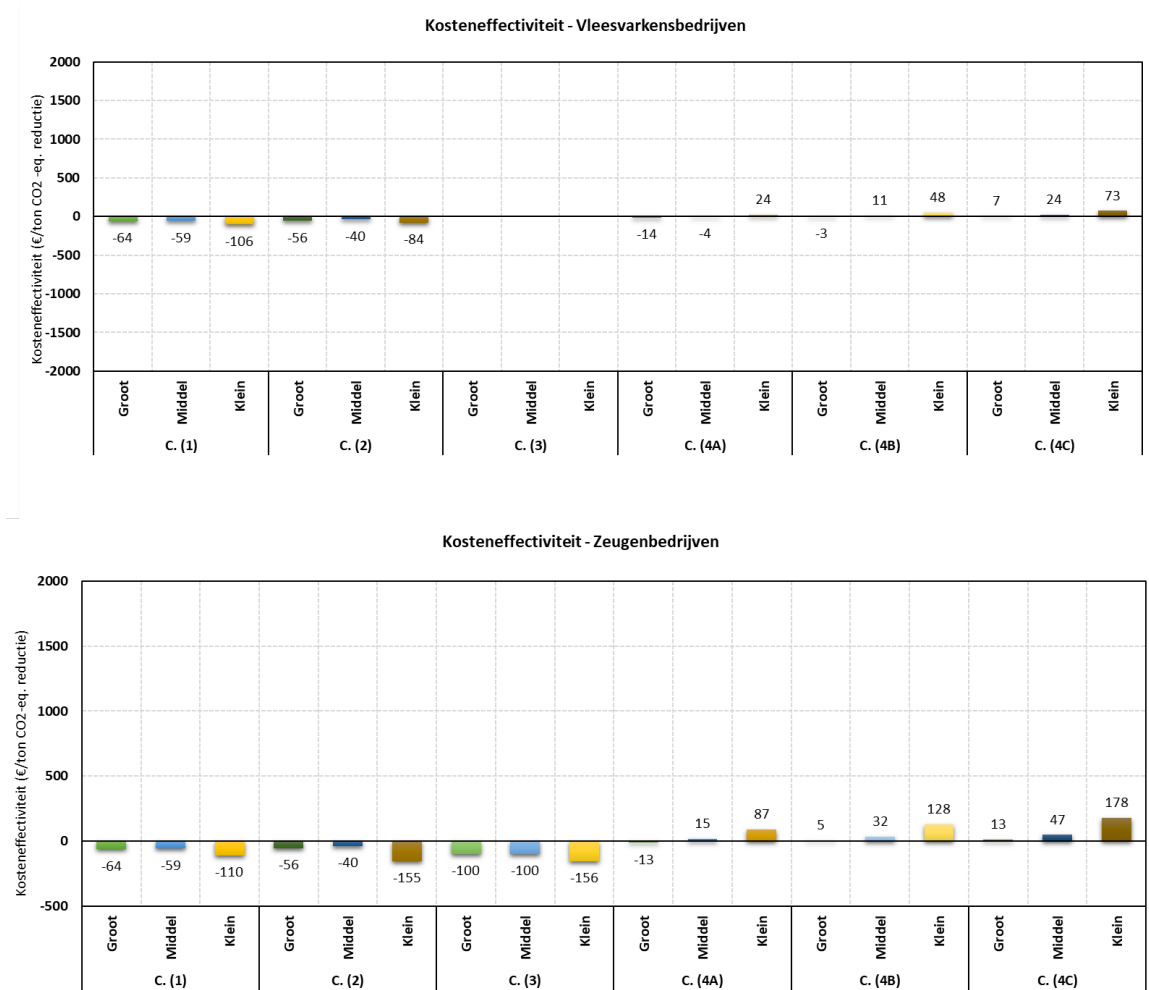
Zeugen

Parameter	Eenheid	C. (4A)			C. (4B)			C. (4C)		
		Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
Stroomverbruik	kWh/jaar	223.000	140.000	56.000	223.000	140.000	56.000	223.000	140.000	56.000
Gasverbruik	m ³ /jaar									
Netto opbrengst elektriciteit	kWh/jaar	226.382	141.489	56.596	169.787	106.117	42.447	113.191	70.744	28.298
Totale netto investeringskosten	€	695.992	640.404	456.109	762.078	635.165	453.273	747.860	624.788	447.657
Totaal jaarlijkse baten	€/jaar	96.286	60.279	24.111	82.565	51.703	20.681	68.845	43.128	17.251
Totaal jaarlijkse kosten	€/jaar	62.159	58.444	44.172	69.429	57.868	43.860	42.665	35.727	32.742
Jaarlijkse profit	€/jaar	34.127	1.834	-20.061	13.137	-6.165	-23.179	26.180	7.401	-15.491
Jaarlijkste kasstroom (cash flow)	€/jaar	68.926	33.854	2.745	51.241	25.593	-515	45.573	23.641	-608
Terugverdientijd	jaar	13,2	31,7	354,3	22,8	44,6	-1938,1	26,2	48,1	-1622,6
Kosteneffectiviteit	€/ton CO ₂ eq	-13	15	87	4,58	32	128	13	47	178
CO ₂ eq reductie per kg product	kg CO ₂ /kg varkensvlees	1,043	1,043	1,043	0,782	0,782	0,782	0,521	0,521	0,521
Winst per kg product	€/kg varkensvlees	0,03718	0,00320	-0,08741	0,01431	-0,01074	-0,10100	0,02852	0,01290	-0,06750
Kosten per kg product	€/kg varkensvlees	0,06771	0,10186	0,19247	0,07563	0,10086	0,19111	0,04648	0,06227	0,14267
Winstgevendheid index (PI)	-	2,0	1,1	0,1	1,3	0,8	0,0	1,2	0,8	0,0

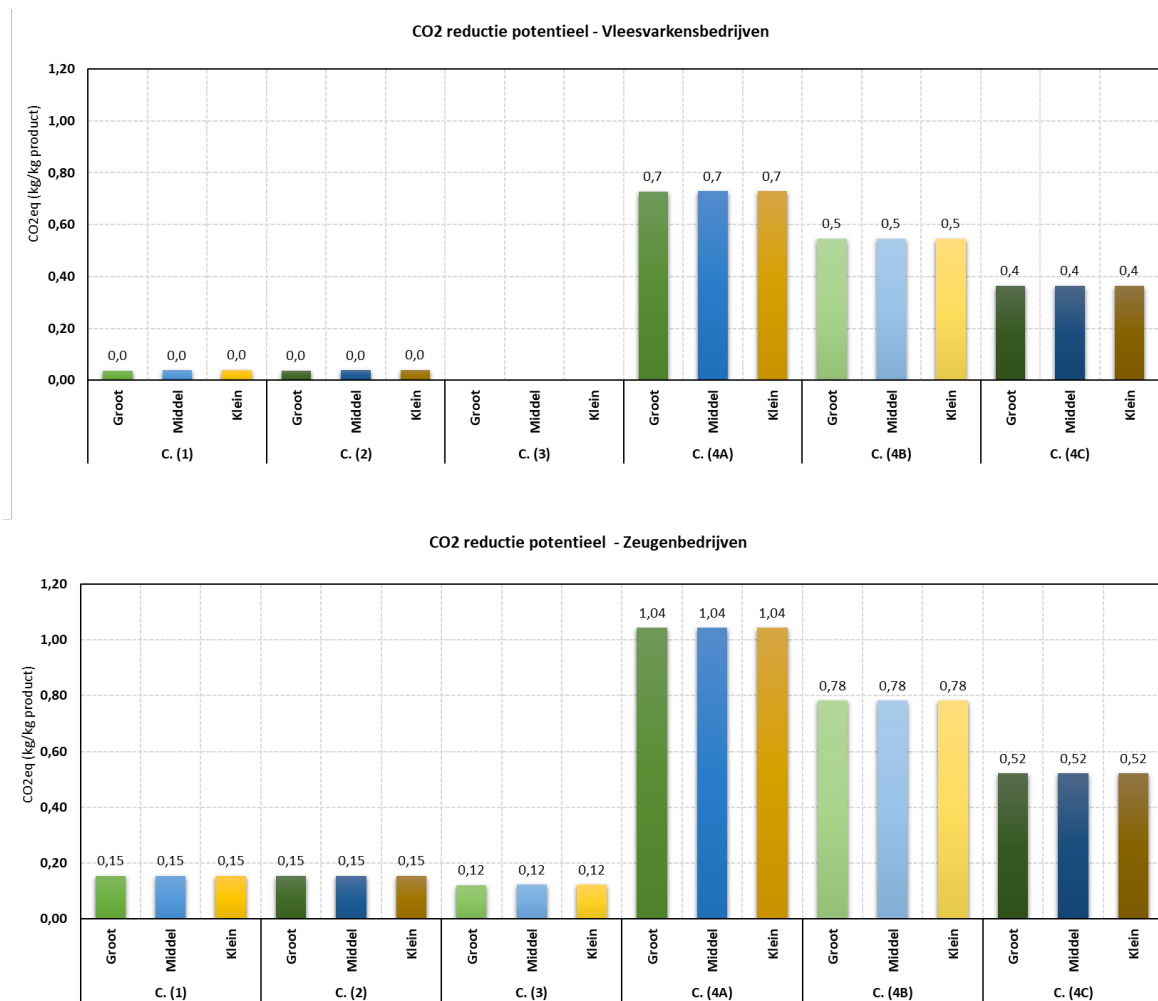
Figuur B2.10 Resultaten van modelberekeningen voor C4A – C4C op zowel vleesvarkensbedrijven als zeugenbedrijven zonder de luchtwasser.



Figuur B2.11 Terugverdientijd voor C1 – C4 op zowel vleesvarkens- als zeugenbedrijven zonder luchtwasser. Voor C5 - C6 is geen onderscheid gemaakt tussen bedrijven met of zonder luchtwasser, aangezien deze combinaties geen invloed hebben op het elektriciteitsverbruik van de luchtwasser.



Figuur B2.12 Kosteneffectiviteit voor combinaties C1 – C4 op zowel vleesvarkens- als zeugenbedrijven zonder luchtwasser. Voor C5 – C6 is geen onderscheid gemaakt tussen bedrijven met of zonder luchtwasser, aangezien deze combinaties geen invloed hebben op het elektriciteitsverbruik van de luchtwasser.



Figuur B2.13 Het CO₂-eq. reductie voor C1 – C4 op zowel vleesvarkens- als zeugenbedrijven zonder luchtwater. Voor C5 - C6 is geen onderscheid gemaakt tussen bedrijven met of zonder luchtwater, aangezien deze combinaties geen invloed hebben op het elektriciteitsverbruik van de luchtwater.

Tabel B2.1 Scenarioanalyse voor de impact van subsidie op terugverdientijd (jaar) en kosteneffectiviteit (€/ton CO_{2,eq} reductie) van combinaties met vergisting (C4) en de verandering t.o.v het basisscenario

Combinatie	Parameter	Scenario	Vleesvarkens			Zeugen			Vleesvarkens			Zeugen		
			Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein	Groot	Middel	Klein
			<i>Absolute waarden</i>						<i>Verandering in parameter t.o.v. het basisscenario 0</i>					
C4A) Monovergisten + dagontmesting (100% biogas opbrengst)	TVT (jaar)	0. Met subsidie	10,1	14,4	35,5	12,4	28,1	238,5	verschil t.o.v. het basisscenario 0 (jaar)					
		1. Geen subsidie	35,3	56,4	298,4	28,6	80,8	-226,9	25,1	42,0	262,9	16,3	52,7	-465,5
		2. Geen subsidie op warmte	15,3	23,5	64,1	16,5	41,7	8960,0	5,1	9,1	28,6	4,2	13,6	8721,5
	Kosteneffectiviteit (€/ton)	0. Met subsidie	-20	-10	19	-16	11	84	verschil t.o.v. het basisscenario 0 (€/ton CO _{2,eq} reductie)					
		1. Geen subsidie	10	21	50	8	36	108	31	31	31	24	24	24
		2. Geen subsidie op warmte	-6	4	33	-5	23	95	14	14	14	11	11	11
C4B) Monovergisten + dagontmesting (75% biogas opbrengst)	TVT (jaar)	0. Met subsidie	14,0	21,4	57,2	19,8	38,6	1288,6	verschil t.o.v. het basisscenario 0 (jaar)					
		1. Geen subsidie	46,8	77,7	1442,0	44,7	100,5	-183,9	32,8	56,4	1384,8	25,0	62,0	-1472,4
		2. Geen subsidie op warmte	21,8	34,2	108,3	27,5	55,1	-467,4	7,8	12,9	51,1	7,7	16,5	-1756,0
	Kosteneffectiviteit (€/ton)	0. Met subsidie	-12	2	40	0	27	123	verschil t.o.v. het basisscenario 0 (€/ton CO _{2,eq} reductie)					
		1. Geen subsidie	19	33	71	24	52	148	31	31	31	24	24	24
		2. Geen subsidie op warmte	2	16	54	11	38	134	14	14	14	11	11	11
C4C) Monovergisten + dagontmesting (50% biogas opbrengst)	TVT (jaar)	0. Met subsidie	18,0	26,7	70,9	22,4	41,2	1450,3	verschil t.o.v. het basisscenario 0 (jaar)					
		1. Geen subsidie	43,4	64,9	354,7	39,0	75,5	-279,1	25,4	38,2	283,8	16,5	34,3	-1729,4
		2. Geen subsidie op warmte	25,6	37,7	115,0	28,3	52,6	-773,1	7,6	11,0	44,1	5,9	11,4	-2223,4
	Kosteneffectiviteit (€/ton)	0. Met subsidie	38	27	13	17	11	4	verschil t.o.v. het basisscenario 0 (€/ton CO _{2,eq} reductie)					
		1. Geen subsidie	130	220	490	190	425	1300	92	193	477	174	415	1296
		2. Geen subsidie op warmte	47	137	406	107	342	1217	8	110	393	90	331	1212

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



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

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

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

