



---

# Mogelijkheden voor besparing en opwekking duurzame energie op varkenshouderijbedrijven

Ontwikkeling van 'opportunity dartboards'

E. van Boxmeer, P. Sefeedpari, N. Verdoes, L. Gollenbeek

Openbaar  
Rapport 1440



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---



# Mogelijkheden voor besparing en opwekking duurzame energie op varkenshouderijbedrijven

Ontwikkeling van 'opportunity dartboards'

Emma van Boxmeer, Paria Sefeedpari, Nico Verdoes en 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, juli 2023

---

Rapport 1440

---

Boxmeer, E.G.G. van, P. Sefeedpari, N. Verdoes, L.R. Gollenbeek, 2023. *Mogelijkheden voor besparing en opwekking duurzame energie op varkenshouderijbedrijven; ontwikkeling van 'opportunity dartboards'*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1440.

De Coalitie Vitale Varkenshouderij (CoViVa) heeft de ambitie om in 2050 een neutrale carbon footprint te realiseren voor de gehele varkenshouderijketen. Momenteel betreft het energiegebruik in de hele keten ongeveer één derde van de carbon footprint. In dit rapport zijn verschillende mogelijkheden beschreven om binnen de varkenshouderij energie te besparen, te hergebruiken of op te wekken. Daarnaast zijn 'opportunity dartboards' ontwikkeld om het CO<sub>2</sub> reductiepotentieel, de terugverdientijd en de kosteneffectiviteit van deze individuele mogelijkheden visueel weer te geven.

The Coalitie Vitale Varkenshouderij (CoViVa) has the ambition to realize a neutral carbon footprint for the whole pig industry by 2050. Currently, about one third of the carbon footprint is related to energy consumption. In this report, different opportunities are described to save, re-use or produce energy on pig farms. In addition, opportunity dartboards are developed to visualize the CO<sub>2</sub> reduction potential, payback period and cost effectiveness of the different opportunities.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/634215> of op [www.wur.nl/livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research) (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



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

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2023

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

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

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

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

Wageningen Livestock Research Rapport 1440

---

# Inhoud

<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doel	9
1.3 Aanpak	10
<b>2 Energiegebruik varkenshouderijketen</b>	<b>11</b>
2.1 Mengvoerbedrijf	12
2.2 Varkenshouderijbedrijven	12
2.3 Vleesverwerking	15
2.3.1 Slachterij	15
2.3.2 Uitsnijderij	15
2.3.3 Centrale slagerij	16
<b>3 Mogelijkheden verduurzaming energiegebruik varkenshouderij</b>	<b>17</b>
3.1 Energie besparen	17
3.2 Opwekken (hernieuwbare) energie	20
3.3 Overschot aan opgewekte energie (nuttig) gebruiken	24
<b>4 'Opportunity dartboards'</b>	<b>28</b>
4.1 Korte termijn	29
4.2 Middellange termijn, praktijkrijp	30
4.3 Middellange termijn, niet-praktijkrijp	31
<b>5 Discussie en vervolgonderzoek</b>	<b>33</b>
<b>Literatuur</b>	<b>34</b>
<b>Bijlage 1 Deelnemers en uitkomsten workshops</b>	<b>38</b>
<b>Bijlage 2 Erkende Maatregelen Lijsten energiebesparing (EML)</b>	<b>40</b>

---

---

# 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 bedrijf en keten; hernieuwbare energie geproduceerd in de keten koppelen aan energiegebruik in de keten.

Deze rapportage is opgesteld in het kader van "Energie balans bedrijf en keten". Het onderzoeksprogramma Vitale Varkenshouderij is een Publiek Private Samenwerking. Het voorliggende onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research. De auteurs danken de financiers en de klankbordgroep voor hun deskundige begeleiding van het onderzoek. Die dank geldt ook voor alle mensen die informatie hebben aangeleverd en bij de workshop betrokken zijn geweest.

Namens het onderzoeksteam,

Nico Verdoes, projectleider

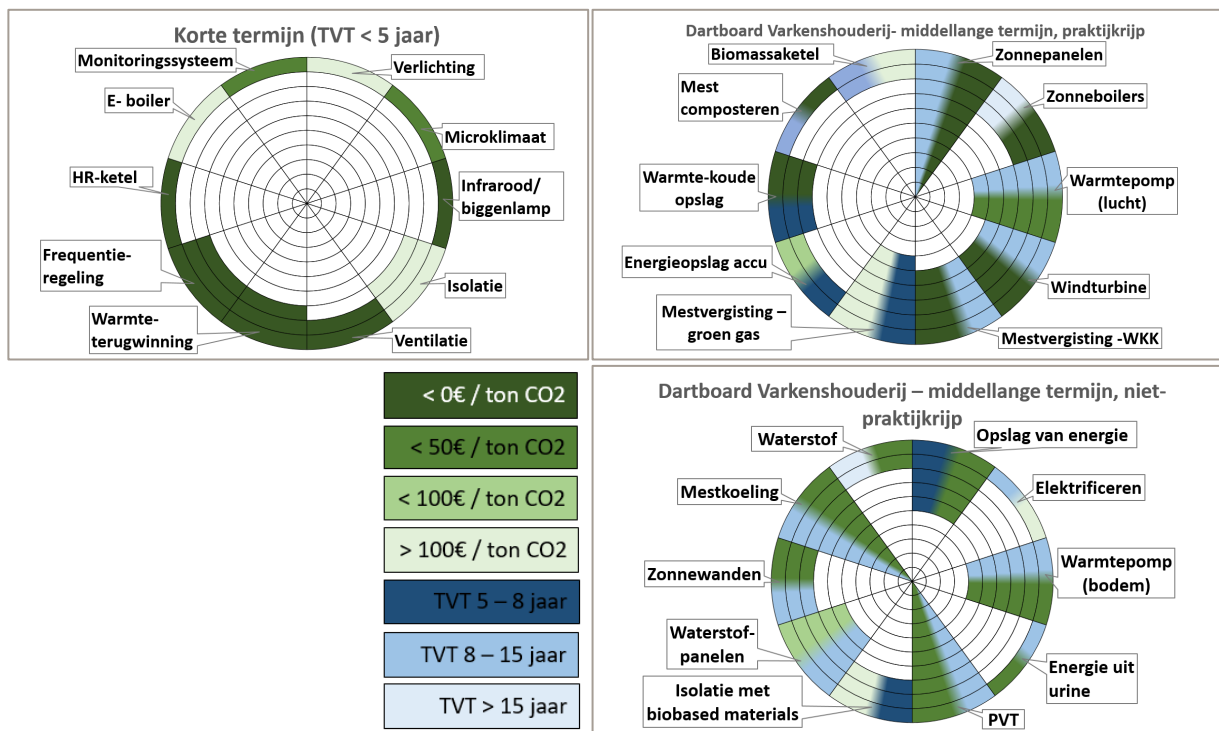




# Samenvatting

De Coalitie Vitale Varkenshouderij (CoViVa) heeft de ambitie om in 2050 een neutrale carbon footprint te realiseren voor de gehele varkenshouderijketen. Momenteel betreft het gemiddelde energiegebruik wereldwijd in de gehele keten ongeveer één derde van de carbon footprint, maar er bestaan grote verschillen tussen landen en specifieke situaties. Daarom wordt gewerkt aan een energieleverende varkenshouderij door middel van energiebesparing en -productie en hergebruik van warmte over alle schakels van de keten. Het energiegebruik op varkenshouderijbedrijven draagt in Nederland gemiddeld 6% bij aan de carbon footprint van de totale keten. In dit rapport zijn verschillende mogelijkheden beschreven om binnen de varkenshouderij energie te besparen, te hergebruiken of op te wekken. Daarnaast zijn 'opportunity dartboards' ontwikkeld om de impact en kosteneffectiviteit van deze individuele mogelijkheden visueel weer te geven.

Binnen de varkenshouderijketen wordt voornamelijk energie gebruikt in de vorm van elektriciteit, gas en diesel. Circa 10% van het totale energiegebruik in de keten wordt gebruikt door de mengvoerfabriek. De varkenshouderijbedrijven gebruiken ongeveer evenveel energie (44%) vergeleken met de verdere vleesverwerking (slachterij: 14%, uitsnijderij: 13% en centrale slagerij: 20%). Het energiegebruik op varkenshouderijbedrijven hangt samen met het bedrijfstype en het aantal dieren op het bedrijf. Daarnaast spelen factoren als de mate van automatisering, de leeftijd van de gebouwen en de kwaliteit van de isolatie een grote rol. Door schaalvergroting is het aantal dieren per bedrijf gegroeid, waardoor ook het energiegebruik per varkenshouderijbedrijf een stijgende trend laat zien. Het energiegebruik per kilogram geslacht gewicht (vleesvarkens) of per grootgebracht big (vermeerdering) laat juist een dalende trend zien, wat wijst op een verbetering van de energie-efficiëntie.



**Figuur S1** Versimpelde weergave van de dartboards met energiebesparingsmogelijkheden voor de varkenshouderij op korte termijn (links boven), middellange termijn praktisch (rechts boven) en middellange termijn niet praktisch (rechts onder). Elke ingekleurde ring staat voor 10% CO<sub>2</sub> reductiepotentieel t.o.v. de referentie zonder maatregel, de groene kleuren staan voor de kosteneffectiviteit (€/ton gereduceerd CO<sub>2</sub>) en de blauwe kleuren voor de terugverdientijd. Het betreft individuele maatregelen en de maatregelen zoals weergegeven in het dartboard kunnen niet worden opgeteld.

Het 'opportunity dartboard' bestaat uit verschillende segmenten (taartpunten) en elk segment staat voor een mogelijkheid of maatregel die een varkenshouder kan toepassen op het bedrijf (Figuur S1). Een segment bestaat uit 10 ringen en elke ring betekent circa 10% CO<sub>2</sub> reductiepotentieel. Hoe meer ringen zijn ingekleurd, hoe meer reductiepotentieel de maatregel heeft. Hierin is enkel uitgegaan van CO<sub>2</sub> besparing met betrekking tot energiebesparing door de individuele maatregel en vermeden CO<sub>2</sub> uit eventuele neveneffecten van de maatregel niet meegenomen (bijvoorbeeld vermeden uitstoot uit mest). In dit onderzoek zijn drie opportunity dartboards voor de varkenshouderij opgesteld;

- dartboard met maatregelen voor de korte termijn (terugverdientijd minder dan 5 jaar)
- dartboard met maatregelen voor de middellange termijn met praktijkrijpe maatregelen die direct toegepast zouden kunnen worden op een bestaand varkensbedrijf
- dartboard met maatregelen voor de middellange termijn met perspectiefvolle maatregelen die nog verder ontwikkeld moeten worden of pas mogelijk zijn bij nieuwbouw

De maatregelen zijn opgenomen in de drie 'opportunity dartboards', welke versimpeld zijn weergegeven in Figuur S1. Uit de dartboards blijkt dat een scala aan maatregelen beschikbaar zijn die relatief makkelijk te realiseren zijn, waarbij een klein effect op de CO<sub>2</sub> footprint te verwachting is, maar waarvan de terugverdientijd minder dan 5 jaar is. Als men een grotere CO<sub>2</sub> footprint reductie wil behalen, dan zijn grotere investeringen en aanpassingen nodig. Dergelijke investeringen hebben een langere terugverdientijd. In Tabel S1 zijn de maatregelen nogmaals samengevat weergegeven.

**Tabel S1** Samenvatting van maatregelen zoals weergegeven in de dartboards.

Korte termijn	Lange termijn, praktijkrijp	Lange termijn, niet-praktijkrijp
Verlichting	Zonnepanelen	Opslag van energie
Microklimaat biggen	Zonneboilers	Elektrificeren
Infrarood/biggenlamp beperken	Warmtepomp (lucht)	Warmtepomp (bodem)
Isolatie van stal, ventilatiekanaal en leidingen	Windturbine	Energie uit urine
Optimalisatie ventilatie	Mestvergisting – WKK	PVT panelen
Warmteterugwinning	Mestvergisting – groen gas	Isolatie met biobased materialen
Frequentieregeling elektromotoren	Energieopslag in accu	Waterstofpanelen
CR of VR ketel vervangen door HR ketel	Warmte-koude opslag	Zonnewanden
Elektrische boiler	Mest composteren	Mestkoeling met warmteterugwinning
Monitoringssysteem	Biomassaketel met afvalproducten	Waterstof productie

Recente getallen over het energieverbruik opgesplitst per activiteit of energiedrager (elektriciteit, gas en diesel) zijn niet beschikbaar en de meest recente informatie is van 10 – 15 jaar geleden. Wel is bekend dat er veel variatie tussen individuele bedrijven is. Daarom is het lastig om op basis van literatuurgegevens het energieverbruik op een varkenshouderijbedrijf in kaart te brengen, wat ook weer invloed heeft op het effect van besparingsmogelijkheden. Daarnaast hebben veranderingen in energieprijzen ook een grote invloed op de terugverdientijd en kosteneffectiviteit zoals weergegeven in het dartboard. Het dartboard geeft individuele maatregelen aan en deze kunnen niet zomaar worden opgeteld. In een vervolgrapportage worden perspectiefvolle combinaties doorgerekend en wordt ook het effect van fluctuaties in energieprijzen meegenomen.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De varkenshouderij streeft naar een energie neutrale keten in 2050 door middel van het verlagen van het energieverbruik en de productie van hernieuwbare energie. Hierdoor wordt direct bijgedragen aan de opgaves van de klimaat- en energietransitie. Energieneutraliteit kan enerzijds worden bereikt door energie te besparen of te hergebruiken en anderzijds door zelf (hernieuwbare) energie op te wekken. De Coalitie Vitale Varkenshouderij (CoViVa) heeft als ambitie om in 2030 de jaarlijkse emissies vanuit de varkenshouderijketen met 1,3 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten te reduceren. Daarnaast is de ambitie om in 2050 een neutrale carbon footprint te realiseren over de gehele varkenshouderijketen. Om deze doelen te halen wordt ingezet op het verminderen van methaanemissie uit de varkenshouderij door brongerichte aanpak van gasvormige emissies in varkensstallen, bijvoorbeeld door snelle mestverwijdering uit de stal en verdere verwerking. Ook wordt gewerkt aan een energieleverende varkenshouderij door energiebesparing en -productie en hergebruik van warmte in alle schakels van de keten. Aanvullend wordt ingezet op het koppelen van geproduceerde energie en het energiegebruik in de gehele keten.

Het energiegebruik in de gehele keten betreft gemiddeld over de wereld circa een derde van de totale carbon footprint (Gerber et al., 2013). Wel bestaan er grote verschillen tussen landen en per specifieke situatie. Het energiegebruik op varkenshouderijbedrijven in Nederland draagt voor 6% bij aan de carbon footprint van de keten (Kool et al., 2009). Dit onderzoek is onderdeel van de 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. Het huidige rapport geeft een eerste inzicht in de verschillende mogelijkheden om binnen de primaire varkenshouderij energie te besparen, te hergebruiken of op te wekken.

Dit onderzoek is onderdeel van de 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. Het huidige rapport geeft een eerste inzicht in de verschillende mogelijkheden om binnen de primaire varkenshouderij energie te besparen, te hergebruiken of op te wekken.

## 1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is om een duidelijk overzicht te creëren met de mogelijkheden die er zijn om energie op een varkenshouderijbedrijf te besparen, op te wekken of te hergebruiken. Daarnaast zijn 'opportunity dartboards' ontwikkeld, waarmee een individuele varkenshouder keuzes voor het bedrijf kan maken om energieneutraliteit na te streven. De dartboards zijn een middel om visueel weer te geven wat de impact en kosteneffectiviteit van de verschillende mogelijkheden zijn.

---

## 1.3 Aanpak

### **Literatuuronderzoek**

Allereerst is het energieverbruik in de varkenshouderijketen in kaart gebracht op basis van literatuur (Hoofdstuk 2). Daarna is literatuuronderzoek gedaan naar mogelijkheden om energie op een varkensbedrijf te besparen, te hergebruiken of op te wekken en aanvullend is gekeken welke mogelijkheden er zijn om een mogelijk overschot aan opgewekte energie nuttig te kunnen gebruiken (Hoofdstuk 3).

### **'Opportunity dartboard' als toolbox**

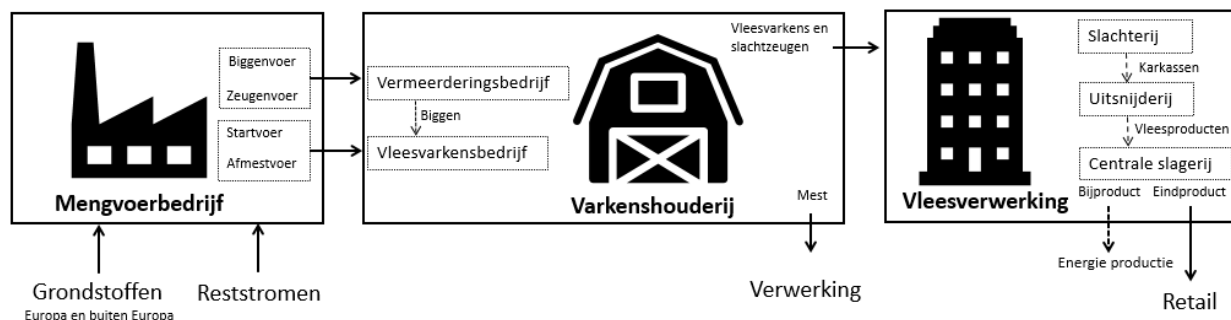
Royal Cosun heeft een 'opportunity dartboard' ontworpen om de besparingsmogelijkheden van een bedrijf in kaart te krijgen. In de landelijke werkgroep Energietransitie is afgesproken dat de bloembollen- en varkenshouderijsector een pilot zouden starten voor de ontwikkeling van dit instrument als instrument voor ondernemers. Het werd zinvol geacht om op deze manier de productie- en besparingsmogelijkheden van energie van een varkenshouderijbedrijf in beeld te brengen. Het 'opportunity dartboard' is een middel om de mogelijkheden om energie te besparen of op te wekken en de bijbehorende reductie van broeikasgasemissies en kosteneffectiviteit visueel weer te geven (Hoofdstuk 4).

### **Workshops**

De ervaring van Cosun was dat bij het opstellen van de opportunity dartboards het houden van workshops erg succesvol was. Voor het opstellen van de dartboards voor de varkenshouderij zijn daarom twee workshops met deskundigen op het gebied van energie en varkenshouderij gehouden (zie Bijlage 1). Tijdens de workshops is bepaald welke maatregelen en technologieën geschikt zijn om de energietransitie in de sector te bevorderen, wat globaal de kosten en eventuele terugverdieneffecten zijn en onder welke voorwaarden de maatregelen en technologieën toegepast kunnen worden. De informatie uit de literatuur en ervaringen en bevindingen uit de workshops zijn samengebracht in de omschrijving van de verschillende mogelijkheden in Hoofdstuk 3. Vervolgens zijn drie concept opportunity dartboards opgesteld, welke zijn gevalideerd door de deelnemers van de workshops. De eerste workshop is uitgevoerd met de klankbordgroep 'Energie' (van de PPS CoViVa) en bij de tweede workshop waren 12 deskundigen aanwezig (zie Bijlage 1). De dartboards geven informatie over individuele maatregelen. Perspectievolle combinaties van maatregelen zijn verder uitgewerkt middels een modelberekening en deze resultaten worden in een separate rapportage later dit jaar weergegeven.

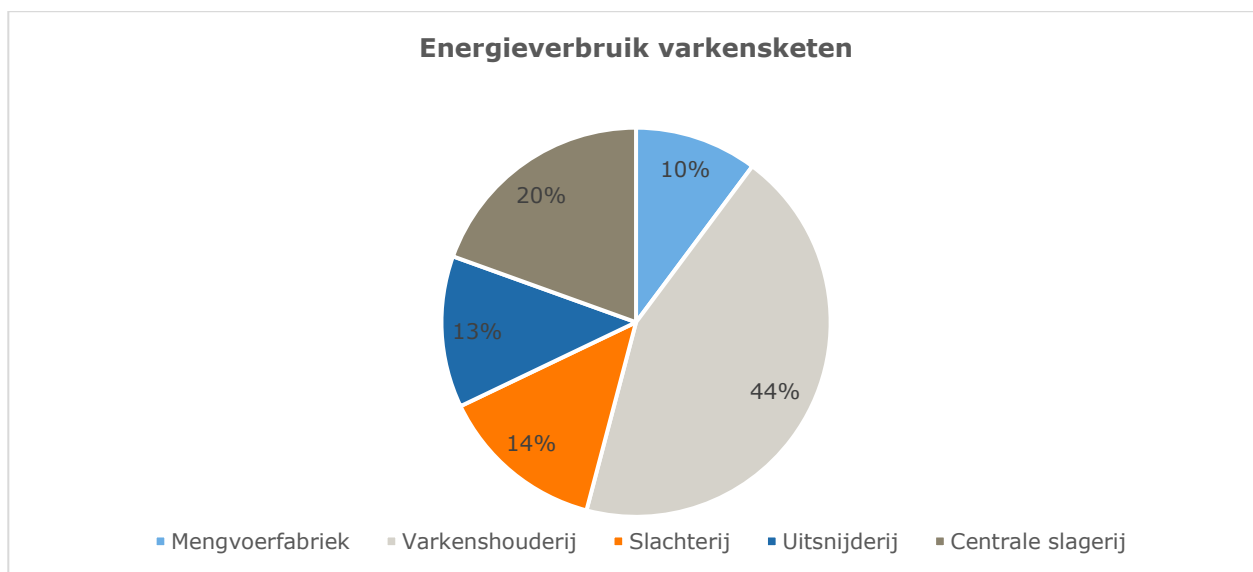
## 2 Energiegebruik varkenshouderijketen

In de varkenshouderijketen draait het om het produceren van varkensvlees. Figuur 1 laat de stappen in de varkenshouderijketen zien. Dit begint met het produceren van varkens(meng)voer vanuit verschillende grondstoffen en reststromen. Dit voer wordt gevoerd aan de varkens op verschillende soorten varkenshouderijbedrijven. Slachtrijpe varkens worden geslacht en het karkas wordt verder verwerkt tot consumeerbare producten. Bijproducten uit de vleesverwerking worden gebruikt voor energieproductie. Naast slachtrijpe varkens, wordt er ook mest geproduceerd, wat wordt verwerkt en gebruikt kan worden in bijvoorbeeld de akkerbouw.



**Figuur 1** De varkenshouderijketen. Dichte pijlen staan voor transport tussen schakels en gestreepte pijlen staan voor transport binnen de schakel van de keten.

In de varkenshouderijketen wordt energie gebruikt, voornamelijk in de vorm van elektriciteit, gas en diesel. Op basis van gegevens uit Kramer et al. (2006) blijkt dat de meeste energie binnen de varkensketen wordt gebruikt op varkenshouderijbedrijven, gevolgd door de centrale slagerij (Figuur 2). Echter als men de gehele vleesverwerking (slachterij, uitsnijderij en centrale slagerij) als één beschouwd, dan is het energieverbruik nagenoeg gelijk aan dat op de varkenshouderij bedrijven. De mengvoerfabriek, slachterij en uitsnijderij gebruiken ten opzichte van elkaar ongeveer evenveel energie. Ook van der Voort en Luske (2009) laten zien dat er meer energie wordt gebruikt tijdens de primaire productie (processen tot aan slacht) vergeleken met de verwerking (processen van slacht tot supermarkt). De hoeveelheid hernieuwbare energie die in de varkensketen wordt opgewekt is gelijk aan 2% van het energiegebruik in de keten, waardoor de varkensketen voor slechts 2% energieneutraal is (Moerkerken et al., 2014). Wanneer de energieproductie uit kadavers en slachtafval meegerekend wordt, is de varkensketen voor 24% energieneutraal (Moerkerken et al., 2014). Verder wordt bij productie van 1 kg varkensvlees 4 tot 11 kilogram CO<sub>2</sub>-equivalenten uitgestoten (Kool et al., 2009; Nijdam et al., 2012).



**Figuur 2** Aandeel (%) van de verschillende schakels in de varkensketen in het totale energiegebruik (op basis van MJ) van varkensvlees (Kramer et al., 2006).

---

## 2.1 Mengvoerbedrijf

Een mengvoerbedrijf produceert mengvoerders voor vleesvarkens, zeugen en biggen. Dit mengvoer bestaat uit eiwitrijke en zetmeelrijke grondstoffen, aangevuld met vetten/oliën, additieven en vochtrijke bijproducten. In Nederland zijn circa 85 mengvoerfabrieken die in het totaal 14,7 miljoen ton mengvoer produceren en 37% van dit mengvoer wordt geproduceerd voor de varkenshouderij (Agrimatie, 2022a; Nevedi, 2019). De drie grootste mengvoerbedrijven zorgen voor circa 60% van de mengvoerproductie. Een aantal bedrijven handelt ook in vochtrijke bijproducten uit de levensmiddelenindustrie, bijvoorbeeld perspulp uit suikerbieten, aardappelstoomschillen en tarwezetmeel. Deze vochtrijke bijproducten vervangen circa 10% van het mengvoer.

Bijna 70% van de grondstoffen (inclusief reststromen) zijn afkomstig uit Europa (Nevedi, 2019) en worden voornamelijk per schip of vrachtwagen aangevoerd (InfoMil, 2016). De grondstoffen van buiten Europa worden per zeeschip naar Nederland gebracht, waarna deze naar de mengvoerfabriek worden vervoerd per binnenschip (Kramer et al., 2006). In de mengvoerfabriek doorlopen de grondstoffen verschillende processen waarbij energie wordt verbruikt, namelijk malen, mengen, verwarmen, persen en afkoelen. Het mengvoer wordt opgeslagen in een silo om vervolgens per bulkvrachtauto naar de varkenshouderijbedrijven te worden gebracht.

### Energiegebruik

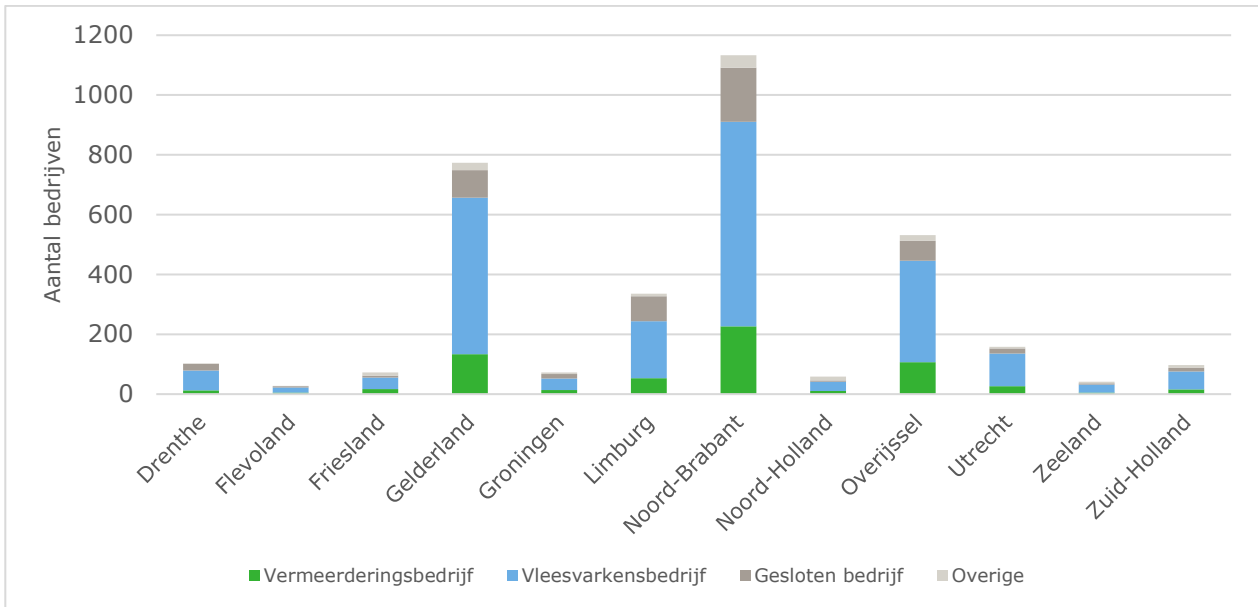
Het totale energieverbruik van een mengvoerbedrijf door het jaar heen is constant (Kramer et al., 2006). Ook de productie van de verschillende voersoorten (afmestvoer, biggenvoer, startvoer en zeugenvoer) heeft een vergelijkbaar energieverbruik per ton geproduceerd voer. Alleen voor de productie van aanvullend voer is meer energie nodig, omdat deze receptuur vaak meer ingrediënten bevat en in kleinere hoeveelheden gemaakt wordt (Kramer et al., 2006). Energieverbruik van individuele mengvoerbedrijven is variabel, voornamelijk door verschillen in productiecapaciteit.

Energieverbruik bestaat uit circa 60% elektriciteit, 22% gas en 18% diesel (Kramer et al., 2006; Nevedi, 2012). Circa 75% van de elektriciteit wordt verbruikt door de maalmachine, de menginstallatie en de persinstallatie (Kramer et al., 2006; Nevedi, 2012; Redecker & Thoben, 2012). Het meeste gas wordt gebruikt om stoom op te wekken voor de persinstallatie. Diesel wordt gebruikt voor aanvoer van grondstoffen.

## 2.2 Varkenshouderijbedrijven

Naast een beperkt aantal fokkerijbedrijven bestaat de varkenshouderij hoofdzakelijk uit 3 bedrijfstypes: 1) vermeerderingsbedrijven, waar zeugen worden gehouden voor productie van biggen, 2) vleesvarkensbedrijven, waar biggen worden gehouden tot slachtrijp vleesvarken en 3) gesloten bedrijven, waar biggen worden geproduceerd en op hetzelfde bedrijf worden gehouden tot slachtrijp vleesvarken. In 2022 waren er in Nederland 1.060 vleesvarkensbedrijven met gemiddeld 2.730 vleesvarkens, 580 vermeerderingsbedrijven met gemiddeld 900 zeugen en 480 gesloten bedrijven met gemiddeld 3.570 vleesvarkens en 770 zeugen. Naast deze gespecialiseerde bedrijven zijn er circa 1.100 andere agrarische bedrijven, waar de varkenshouderij een neventak is (bijvoorbeeld naast rundvee of akkerbouw) (Agrimatie, 2022b). De varkenshouderij in Nederland is sterk geconcentreerd in Noord-Brabant, Gelderland (Oosten en Gelderse Vallei), Overijssel en (Noord-)Limburg (Agrimatie, 2022a; CBS, 2022) (Figuur 3).

Het aantal vermeerderingsbedrijven tot 750 zeugen betreft 72% van alle vermeerderingsbedrijven in Nederland (Figuur 4A). Echter het grootste deel van de dieren op vermeerderingsbedrijven (51%) is gehuisvest op grote bedrijven (1.000 – 5.000 zeugen per bedrijf). De meeste vleesvarkensbedrijven zijn klein (34%, < 500 vleesvarkens), maar de meeste vleesvarkens verblijven op grote vleesvarkensbedrijven (> 5.000 vleesvarkens). Gesloten bedrijven laten dezelfde trend zien als vleesvarkensbedrijven (Figuur 4C).



**Figuur 3** Verdeling van de bedrijven met varkens per provincie, opgedeeld in vermeerderingsbedrijf, vleesvarkensbedrijf, gesloten bedrijf en overige in 2021 (CBS, 2022).



**Figuur 4** Aantal bedrijven (in 2021) met een bepaalde bedrijfsgrootte op basis van zeugen of vleesvarkens en het totaal aantal dieren wat op deze bedrijven aanwezig is voor **A)** vermeerderingsbedrijven, **B)** vleesvarkensbedrijven en **C)** gesloten bedrijven (CBS, 2022).

## Energiegebruik

Het energiegebruik van varkensbedrijven hangt samen met het bedrijfstype en het aantal dieren op het bedrijf. Het energieverbruik op een gemiddeld varkensbedrijf wordt jaarlijks vastgesteld door Wageningen Economic Research (Tabel 1). Voor alle bedrijfstypes geldt dat in verhouding gemiddeld de meeste energie wordt gebruikt in de vorm van elektriciteit, gevolgd door aardgas. Op een gemiddeld gesloten bedrijf wordt de meeste energie gebruikt, daarna op een gemiddeld vermeerderingsbedrijf en een gemiddeld vleesvarkensbedrijf verbruikt de minste energie. Op basis van het gemiddeld aantal dieren op de verschillende bedrijfstypen wordt op vermeerderingsbedrijven (900 zeugen), vleesvarkensbedrijf (2.730 dieren) en gesloten bedrijven (3.570 vleesvarkens en 770 zeugen) respectievelijk 1,9 GJ, 0,19 GJ en 0,58 GJ per dier aan energie gebruikt.

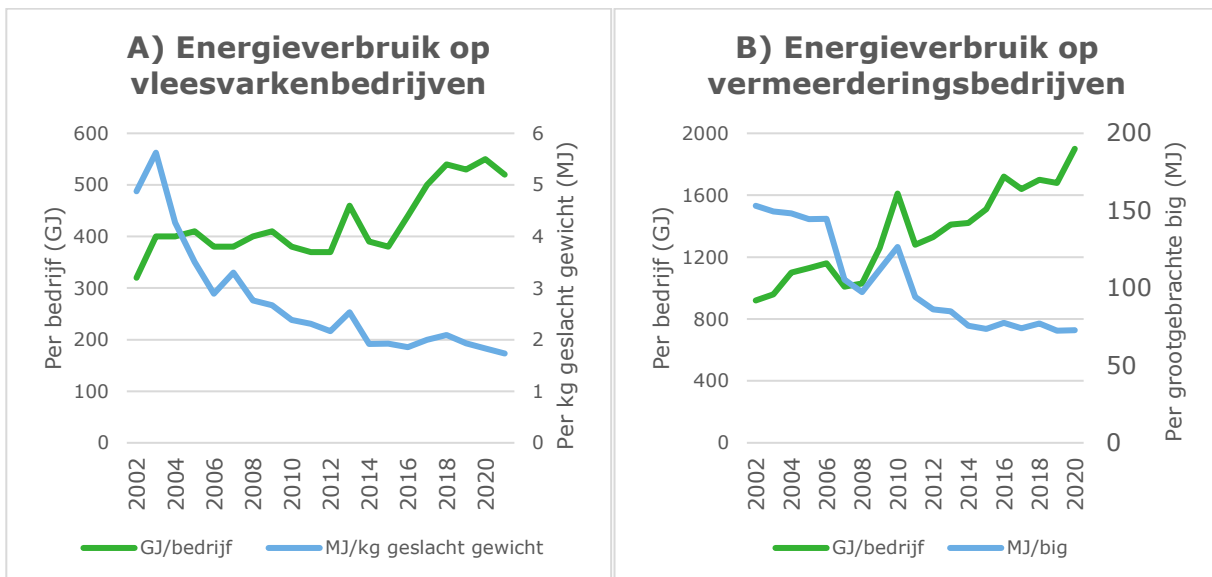
Elektriciteit is nodig voor ventilatie- en voersystemen, luchtwassers en verlichting. Bij vermeerderingsbedrijven en gesloten bedrijven is daarnaast extra energie nodig voor het verwarmen van de kraam- en biggenafdelingen (Kramer et al., 2006; Agrimatie, 2022c). Wel hebben de mate van automatisering, leeftijd van het gebouw en isolatie invloed op het energiegebruik en de verdeling van dit gebruik op een varkensbedrijf. Naast aardgas en elektriciteit wordt ook diesel gebruikt, met name voor het aanvoeren van dieren en voer en het afvoeren van dieren en mest. Het is echter onbekend welke transportbewegingen door Agrimatie worden toegerekend aan het varkensbedrijf.

**Tabel 1** Aardgas-, elektriciteit- en diesel- verbruik op een gemiddeld vermeerderings-, vleesvarkens- en gesloten bedrijf in 2021 (Agrimatie, 2021).

	Vermeerderingsbedrijven			Vleesvarkensbedrijven			Gesloten bedrijven		
<b>Aardgas</b>	540 GJ	32%	17.100 m <sup>3</sup>	100 GJ	19%	3.300 m <sup>3</sup>	510 GJ	20%	16.100 m <sup>3</sup>
<b>Elektriciteit</b>	700 GJ	42%	194.900 kWh	280 GJ	54%	77.400 kWh	840 GJ	34%	232.300 kWh
<b>Diesel</b>	70 GJ	4%	2.100 L	90 GJ	17%	2.500 L	360 GJ	14%	10.100 L
<b>Overig</b>	360 GJ	22%		50 GJ	10%		790 GJ	32%	
<b>Totaal</b>	1.680 GJ			520 GJ			2.500 GJ		

Van de totaal gebruikte energie in vleesvarkenstallen wordt ongeveer 75 - 90% gebruikt voor ventilatie, 0 - 16% voor motoren en pompen en 5 - 10% voor verlichting. In vermeerderingsbedrijven wordt ongeveer 15 - 50% van de energie gebruikt voor ventilatie, 20 - 80% voor verwarming, 1 - 14% voor motoren en pompen en 5 - 10% voor verlichting (Kramer et al., 2006; Marcon, 2009; Kasper & Ellen, 2014).

De energiekosten zijn ongeveer 2,5 - 4,0% van de totale kosten op het bedrijf (Agrimatie, 2021).



**Figuur 5** Gemiddeld energieverbruik van vleesvarkensbedrijven (A) en vermeerderingsbedrijven (B) van 2002 tot en met 2020. De blauwe lijn staat voor het energieverbruik per bedrijf (GJ) en de groene lijn staat voor het energieverbruik per geproduceerd product: kilogram geslacht gewicht en aantal grootgebrachte biggen voor respectievelijk varkensbedrijven en vermeerderingsbedrijven (Agrimatie, 2021).



---

Uit Figuur 5 blijkt dat bij zowel vleesvarkensbedrijven als vermeerderingsbedrijven het totale energieverbruik per gemiddeld bedrijf door de tijd een stijgende trend weergeeft. Echter, het energieverbruik verschilt sterk tussen varkensbedrijven (Kasper & Ellen, 2014; Moerkerken et al., 2014; DLV-advies, 2015; Agrimatie, 2022c). Door schaalvergroting zijn bedrijven meer dieren per bedrijf gaan houden, waardoor het energieverbruik per bedrijf is gestegen. Het energieverbruik per kilogram geslacht gewicht (vleesvarkens) of per grootgebrachte big (vermeerdering) laat juist een dalende trend zien. Dit wijst op een verbetering van energie-efficiëntie. Het aardgasverbruik is de laatste jaren gedaald door betere isolatie van de stallen en schaalvergroting, maar daar tegenover staat dat het elektriciteitsverbruik is gestegen door gebruik van luchtwassers (Moerkerken et al., 2014). Daarnaast is de netto energie-efficiëntie met 37% verbeterd ten opzichte van 2003. In 2012 had 72% van de varkensbedrijven energiebesparende maatregelen doorgevoerd (zonne-energie, warmteterugwinning, frequentieregelaars en/of hoogfrequentie verlichting) en was 24% van de varkenshouderij energieneutraal (Moerkerken et al., 2014).

Bovengenoemde gegevens over energiegebruik per activiteit en de verdeling van energie tussen de verschillende energiedragers zijn gebaseerd op literatuur en gegevens van circa 10 – 15 jaar geleden. Het is niet bekend wat het huidige gemiddelde energieverbruik per activiteit op een varkensbedrijf is en welke energiedragers (gas, elektriciteit, diesel) waar worden ingezet. Om een reëel beeld van het energiegebruik op een bedrijf te krijgen, wordt aanbevolen om in de praktijk, per activiteit het energiegebruik door te gaan meten.

## 2.3 Vleesverwerking

In 2020 werden in Nederland 16,7 miljoen varkens geslacht en circa 90% van deze slachtingen vinden plaats bij de vier grootste slachtondernemingen (Agrimatie, 2022a). Van deze slachtingen wordt circa 35% geconsumeerd in Nederland en circa 65% wordt geëxporteerd.

### 2.3.1 Slachterij

In de slachterij worden vleesvarkens en slachtzeugen geslacht, de ingewanden worden uit het karkas gesneden en het karkas wordt in twee helften verdeeld. Processen die energie gebruiken zijn het verwijderen van de haren van het varken door middel van een broeibad of stoomtunnel en een ontharingsmachine, het schroeien van overgebleven haren en eventuele ziekteverwekkers en het koelen van de karkassen tot 7°C. Slachtafval, zoals bloed, organen, vet, been, mest en urine wordt afgevoerd naar een destructiebedrijf.

#### **Energiegebruik**

Het totale energieverbruik van een slachterij varieert tussen 4 en 7 MJ per kg varkensvlees. Hiervan wordt gemiddeld 60% gebruikt voor koeling, 25% voor het slachtproces, 6% voor compressoren, 6% voor het ketelhuis en 3% voor verlichting (Derden et al., 2003; Kramer et al., 2006). Het gasverbruik is ongeveer 1,9 m<sup>3</sup> per ton geslacht gewicht, waarvan 65% voor warm water (ketelhuis), 32% voor het schroeiproces en 3% voor verwarming van o.a. de wachtruimten (Kramer et al., 2006). Verder wordt er circa 5,3 L diesel per ton geslacht gewicht gebruikt voor logistiek en transport.

### 2.3.2 Uitsnijderij

In de uitsnijderij worden de halve karkassen verder uitgesneden, verwerkt, verkleind tot consumenten hoeveelheden en verpakt. Alle afdelingen binnen de uitsnijderij worden op maximaal 10 – 12°C gehouden. Andere ruimtes, zoals de koelcel en de exportruimte zijn nog kouder.

#### **Energiegebruik**

Het totale energieverbruik van een uitsnijderij is circa 1.845 MJ per ton gereed product (Kramer et al., 2006). Dit bestaat uit 146 kWh elektriciteit, wat wordt gebruikt voor verlichting, motoren voor o.a. compressoren en hogedrukwaterpompen en aandrijving van bewerkingsmachines en overige kleine machines. Het gasgebruik is circa 16,5 m<sup>3</sup> per ton gereed product en dit wordt gebruikt voor verwarming van het gebouw en van het reinigingswater en de stoomketel. Verder wordt er 6,4 L diesel gebruikt voor logistiek en transport.

---

### 2.3.3 Centrale slagerij

Op de snijafdeling van de centrale slagerij worden de vleesproducten verder verwerkt en verkleind naar de gewenste porties. Op de maalafdeling wordt vlees mechanisch vermalen tot bijvoorbeeld reepjes, gehakt, worst en hamburgers. De producten worden verpakt in consumentenverpakkingen en getransporteerd naar supermarkten en slagerijen.

#### **Energiegebruik**

Het totale energiegebruik van de centrale slagerij is 3.056 MJ per ton gereed product. Er wordt circa 259 kWh per ton gereed product elektriciteit gebruikt voor aandrijving van machines en pompen, koeling en verlichting. Voor verwarming van het gebouw en reinigingswater en de stoomketel wordt 22,6 m<sup>3</sup> gas gebruikt (Kramer et al., 2006). Verder wordt er 6,0 - 8,3 L diesel gebruikt voor logistiek en transport (Nieuwland et al., 2002; Kramer et al., 2006).

---

## 3 Mogelijkheden verduurzaming energiegebruik varkenshouderij

In dit onderzoek is geïnventariseerd welke mogelijkheden er in de varkenshouderij zijn om energie te besparen, te hergebruiken of op te wekken. De eerste stap naar efficiënt energiegebruik is om zo veel mogelijk energie te besparen. Veel energiebesparingsmaatregelen vragen lage investeringen en leiden tot minder energiekosten. Deze maatregelen zijn daarom over het algemeen in korte tijd terug te verdienen. De volgende stap is om energie op het bedrijf op te wekken uit hernieuwbare energiebronnen. Als vervolgens meer energie op het bedrijf wordt opgewekt dan dat er gebruikt kan worden, wordt het interessant om te kijken naar mogelijkheden om deze energie op een andere manier nuttig te gebruiken. De eerste stap hierin is om het verbruik op het bedrijf slim te regelen om zo het stroomverbruik af te stemmen met de stroomproductie (SAVE, 2018). Verder kunnen activiteiten op het bedrijf geëlektrificeerd worden, waarbij aardgas of diesel worden vervangen door stroom of er kunnen extra activiteiten die elektriciteit gebruiken toegevoegd worden om bijvoorbeeld emissies te verlagen.

### 3.1 Energie besparen

Er zijn verschillende mogelijkheden om op een varkensbedrijf energie te besparen of te hergebruiken. De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) heeft onder andere voor de agrarische sector een Erkende Maatregelenlijst energiebesparing (EML) opgesteld. Op deze lijst staan verschillende maatregelen die genomen kunnen worden met een terugverdientijd van 5 jaar of minder. Voor bedrijven die jaarlijks meer dan 50.000 kWh elektriciteit of 25.000 m<sup>3</sup> aardgas gebruiken (dus een gemiddelde varkenshouderij valt hieronder, zie Tabel 1) is het verplicht om alle toepasselijke EML-maatregelen te nemen (energiebesparingsplicht) en vanaf 1 juli 2019 is het ook verplicht om te rapporteren welke energiebesparende maatregelen zijn uitgevoerd. De lijst met EML-maatregelen voor agrarische bedrijven (zie ook Bijlage 2) is als basis gebruikt voor dit subhoofdstuk, aangevuld met informatie en maatregelen gevonden in literatuur.

#### **Verlichting**

Varkens hebben behoefte aan een dag- en nachtritme en moeten om zich heen kunnen kijken. In varkensstallen dient daarom minstens 8 uur per dag een minimale lichtintensiteit van 40 lux aanwezig te zijn (Besluit houders van dieren, 2014). Onvoldoende (dag)licht kan leiden tot staartbijten, maar ook de varkenshouder heeft voldoende licht nodig om werkzaamheden uit te kunnen voeren. Idealiter is er 14 uur per dag, 100 lux ter hoogte van het dier aanwezig door ramen en/of lampen (WUR, 2010).

Van de energie die op een varkensbedrijf wordt gebruikt, wordt 5 - 10% gebruikt voor verlichting (Kramer et al., 2006; Marcon, 2009; Kasper & Ellen, 2014). Naar verwachting is dit inmiddels verbeterd, omdat er de afgelopen jaren al een grote slag is geslagen in energiezuinige verlichting. Er is een balans nodig tussen voldoende verlichting om dierenwelzijn te borgen, maar geen overmatig gebruik om energieverbruik te beperken. Bij meer natuurlijke daglichttoetreding, zoals door ramen, lichtkokers of lichtnokken, is minder energie nodig voor kunstlicht. Een nadeel van daglichttoetreding is dat directe zoninstraling kan leiden tot hoge temperaturen in de hokken en in de winter kan op deze manier meer kou de stal in komen. Dit kan voorkomen worden door ramen onder het dak-overstek te plaatsen, het venster goed te isoleren of een groensingel langs de stal te plaatsen (Winkel & Bokma, 2011).

Wanneer kunstlicht gebruikt wordt, zijn er verschillende manieren om het energieverbruik te beperken. Door gebruik van tijdschakelaars en licht- of bewegingssensoren wordt het aantal branduren beperkt tot het noodzakelijke. Verder kan energie bespaard worden door verlichting te kiezen met een hoge lumen/watt verhouding.

---

Deze verhouding geeft aan hoeveel opgenomen elektrisch vermogen nodig is voor het uitstralen van een bepaalde hoeveelheid licht. Hoe hoger deze verhouding, hoe zuiniger de verlichting (Winkel & Ellen, 2014).

### **Microklimaat voor biggen**

In kraamstallen verblijven zeugen met pasgeboren biggen. De warmtebehoefte van de zeugen en de biggen ligt ver uit elkaar. Zo voelt een zeug zich comfortabel bij een temperatuur van 20°C, terwijl pasgeboren biggen een temperatuur van minimaal 26°C nodig hebben. Om te voorkomen dat de biggen het te koud krijgen, wordt een deel van het kraamhok extra verwarmd. Hiervoor wordt vaak gebruik gemaakt van biggenlampen, om biggen de eerste dagen na de geboorte warm te houden. Deze methode om biggen te verwarmen gebruikt veel energie en een alternatief is een elektrische verwarmingsmat. Verschillende onderzoeken laten zien dat het vervangen van biggenlampen door verwarmingsmatten leidt tot 36 – 75% energiebesparing (Beshada et al., 2014; Stinn & Xin, 2014; Lane, 2019). Ook bleek dat een verwarmingsmat van 65 watt een biggenlamp van 175 watt kan vervangen, zonder dat de biggen hierdoor minder presteren (Beshada et al., 2014). Andere voordelen van het gebruik van een verwarmingsmat in plaats van een biggenlamp zijn dat de matten minder kwetsbaar zijn dan de lampen, waardoor deze minder vaak vervangen hoeft te worden (Tallaksen et al., 2020) en de kans op het uitbreken van brand wordt verminderd, mits de matten rechtstreeks op het elektriciteitsnet worden aangesloten.

Door het creëren van een microklimaat krijgen de biggen voldoende warmte, terwijl de zeug geen hittestress ervaart. Warmtematten dragen al bij aan het creëren van een microklimaat, maar ook het realiseren van een onderkruip zorgt dat de warmte op één plek in het kraamhok blijft. Er zijn verschillende soorten onderkruipen op de markt, van een eenvoudige (eigengemaakte) plaat of folie boven het nest tot een biggencabine op maat (Boerderij, 2021).

Wanneer wel gebruik gemaakt wordt van biggenlampen, kan het energieverbruik verminderd worden door middel van een halveringsschakelaar vanaf 4 dagen na de geboorte. Een dimmer met ingestelde curve voor intensiteit of een temperatuurschakelaar via een elektronische dimmer voorkomen ook dat de biggenlampen meer energie verbruiken dan nodig is (Kasper & Ellen, 2014).

### **Isolatie van stal, ventilatiekanaal en leidingen**

Isolatie van de stal speelt een belangrijke rol bij het constant houden van de temperatuur. Bij koud weer wordt warmte verlies voorkomen en bij warm weer wordt warmte van buiten tegengehouden. Dit verlaagt het energiegebruik voor verwarmen (en koelen). Ook het isoleren van leidingen en het ventilatiekanaal zorgt voor minder warmteverlies en dus minder energiegebruik. Een onderzoek in China laat zien dat het isoleren van stalmuren van een gebouw met zeugen en biggen met 90 mm dikke polystyreen platen leidt tot 60% minder energie voor verwarming (Zhao et al., 2020). Jacobson (2011) laat zien dat het verhogen van de isolatiewaarde (R-waarde) van 1 naar 2, 5 of 10 leidt tot respectievelijk 30%, 50% of 65% energiebesparing.

Naast isolatie met gebruikelijke materialen (steenwol, glaswol, PIR en polystyreen), worden ook vezelgewassen zoals hennep, miscanthus, vlas of lisdodde verwerkt in bouw- en isolatiematerialen. De gewassen die als biobased bouwmaterialen kunnen worden gebruikt leggen CO<sub>2</sub> vast (van Dam & van den Oever, 2019). De keten voor biobased bouwen staat nog in de kinderschoenen en de best beschikbare mogelijkheid op dit moment is het toepassen van biobased materialen als isolatiemateriaal in de bestaande bouw (Nieuwe Oogst, 2022a). Naast vezelgewassen kan ook rundveemest als isolatiemateriaal worden gebruikt (Nieuwe Oogst, 2022b; Material District, 2022). Rundveemest bevat een vezelige structuur en heeft hierdoor goede isolerende eigenschappen. Doordat de mest eerst wordt vergist en verhit, worden pathogenen gedood en verliest de mest zijn geur.

### **Optimalisatie ventilatie**

Een nauwkeurige afstelling van de ventilatie is belangrijk om energiekosten te beperken. Door veel te ventileren gaat warmte verloren, waardoor energiekosten voor verwarming kunnen oplopen. Een ventilatie verhoging van 1 m<sup>3</sup>/big kan al leiden tot €4,50 meerkosten per zeug per jaar (Kasper & Ellen, 2014). Daarnaast is een groot deel van de varkensstallen uitgerust met een luchtwasser. De pompen in een luchtwasser gebruiken energie, maar ook is er meer energie nodig voor het ventilatiesysteem als gevolg van extra tegendruk in het systeem (Melse et al., 2011). Een goede balans moet gezocht worden tussen ventilatiedebiet en stalluchtkwaliteit. Regelkleppen en meetwaaiers helpen om de ventilatie nauwkeuriger te kunnen bepalen en in te stellen.

---

Verder bespaart een frequentieregelaar tussen de 30 en 70% aan energie (Kasper & Ellen, 2014). Het juist onderhouden en regelmatig schoonmaken van ventilatoren, meetwaaiers en kleppen zorgt ervoor dat het ventilatiesysteem niet te veel tegendruk ondervindt en daardoor teveel energie opneemt. Ook vervuiling van het filterpakket in een luchtwasser kan zorgen voor extra energieverbruik door toenemende tegendruk (Melse et al., 2011). Verder gebruiken oudere ventilatoren (ouder dan 10 jaar) ongeveer 20% meer energie (Huffman, 2011).

### **Warmteterugwinning**

Met behulp van warmtewisselaars kan de warmte uit de lucht die de stal verlaat gebruikt worden om inkomende, verse stallucht op te warmen. Ook in de luchtwasser gaat veel warmte verloren via het waswater, wat hergebruikt kan worden om de inkomende stallucht alvast voor te warmen. Met dit systeem wordt volgens de fabrikant 1 kW aan elektrische energie voor werking van de installatie gebruikt om minimaal 77 kW aan thermische energie uit de stallucht terug te winnen en dit levert een kostenbesparing op van 60% (Inno+, 2021a). Wanneer gebruikt gemaakt wordt van een warmtepomp, kan deze ook gebruikt worden om de warmte die dieren produceren te hergebruiken. Hierdoor kan de warmte uit de afdelingen met zwaardere varkens gebruikt worden om de afdelingen met lichtere varkens te verwarmen.

### **Frequentieregeling elektromotoren**

Een elektromotor is vaak gedimensioneerd op de maximaal te leveren capaciteit. Echter, als in de praktijk een lagere capaciteit nodig is, maar de elektromotor wel de volledige capaciteit levert, wordt onnodig elektriciteit verbruikt. Een frequentieregelaar regelt de frequentie van de elektrische stroom naar de motor, waarmee het toerental aangepast wordt. Zo blijft de motor efficiënt werken, ook als deze niet volledig wordt belast. De regelaar kan worden toegepast bij transportbanden, pompen, compressoren en ventilatoren. De frequentieregelaar kan automatisch ingeschakeld worden bij bepaalde voorwaarden, bijvoorbeeld het verhogen van het ventilatiedebiet op basis van de temperatuur in de stal. In bestaande stallen is het vervangen van de traditionele regeling door frequentieregelaars snel interessant, vanwege de besparing op elektriciteitskosten (70%) en een beter beheersbaar klimaat in de stal (ASG, 2012).

### **CR of VR ketel vervangen door HR-ketel**

Een centrale verwarmingsketel (cv-ketel) is een apparaat wat water verwarmt om een ruimte mee te verwarmen. Vaak is deze ketel gecombineerd met een boiler om tapwater te verwarmen. Het verwarmen van het water in de combi cv-ketel gebeurt door middel van het verbranden van gas. De warmte die vrijkomt bij de verbranding, wordt via een warmtewisselaar afgegeven aan het water.

Een conventionele rendement (CR) ketel heeft een rendement van minder dan 82% (Stimular, 2020a). Er gaat dus meer dan 18% van de warmte verloren. Dit gaat voornamelijk verloren via de schoorsteen, omdat de afgevoerde rookgassen ongeveer 200°C zijn (vergeleken met 40°C bij een hoog rendement ketel). Verder heeft een CR-ketel een slecht geïsoleerde buitenmantel, waardoor tot 5% van de warmte verloren gaat en heeft een CR-ketel enige tijd nodig om zich zelf op te warmen bij het opstarten. De lucht in een CR-ketel wordt aangevoerd vanuit de ruimte waar de ketel staat.

Een verbeterd rendement (VR) ketel heeft een rendement van 75 – 85% en is hiermee iets efficiënter dan een CR-ketel. Een hoog rendement (HR) ketel heeft een rendement van 90 – 96% en is hierdoor de meest efficiënte (combi) cv-ketel. Om warmteverlies te verminderen, heeft een HR-ketel een rookgascondensor in het rookgaskanaal, waardoor de warmte uit de waterdamp in de rookgassen wordt gecondenseerd. Hierdoor kan deze warmte teruggewonnen worden. Een HR-ketel heeft daarom ook een condensafvoer naar het riool. Verder heeft een HR-ketel, in vergelijking met een CR-ketel en een open uitgevoerde VR-ketel, een extra buis, waardoor lucht van buiten wordt aangevoerd in plaats van lucht uit de ruimte waarin de ketel staat. Bij het vervangen van een CR- of VR-ketel door een HR-ketel moet dan ook een extra dakdoorvoer of schoorsteen geplaatst worden. Verder heeft deze HR-ketel een geoptimaliseerde brander, waardoor minder NO<sub>x</sub> uitgestoten wordt.

Om het aardgasverbruik te verminderen, kan een verwarmingsketel ook gecombineerd worden met een hybride warmtepomp. Deze warmtepomp maakt gebruik van de warmte uit de buitenlucht via een buitenunit met een ventilator en is gekoppeld aan een verwarmingsketel.

---

De ketel kan dan op koude dagen bijspringen als de warmtepomp niet voldoende kan verwarmen. Hiermee kan ongeveer 40 – 60% van het gasverbruik worden verminderd. Nog efficiënter is om te verwarmen met een volledig elektrische warmtepomp. Deze mogelijkheid wordt beschreven in Hoofdstuk 3.2.

### **Boiler**

Een boiler zorgt voor het verwarmen van tapwater. Dit kan met een warmwaterboiler, waarbij opgewarmd water opgeslagen wordt in een voorraadvat of met een doorstroomboiler, waarbij de boiler pas water opwarmt als er daadwerkelijk gebruik van wordt gemaakt (geiser). Een hoog rendement (HR) boiler wordt, net als een HR-ketel, verwarmd door de verbranding van gas. Een elektrische boiler bevat één of meerdere verwarmingselementen en een thermostaat, wordt aangesloten op het elektriciteitsnet en verwarmt het water dus door middel van elektriciteit in plaats van gas. Als deze energie duurzaam wordt opgewekt, zal hierdoor minder CO<sub>2</sub> uitgestoten worden. Wanneer de energie voor de elektrische boiler niet duurzaam wordt opgewekt, zal de CO<sub>2</sub> uitstoot vergelijkbaar zijn met een gasboiler.

### **Monitoringssysteem**

Door het gebruik van een monitoringssysteem krijgt de veehouder inzicht in het energieverbruik van de apparaten en processen op het bedrijf, hoeveel energie er verbruikt wordt en op welke momenten deze energie gebruikt wordt. Hiermee kan de veehouder gericht energie besparen of het energieverbruik afstemmen op de energieproductie van bijvoorbeeld zonnepanelen. Verder maakt het gebruik van een monitoringssysteem het mogelijk om individuele bedrijven met elkaar te vergelijken. Dit wordt op kleine schaal al toegepast (informatie uit Workshop 1) en hiermee kunnen varkenshouders elkaar helpen door ervaringen te delen. Ook krijgt het energieverbruik een absolute waarde, wat de motivatie om deze waarde te verbeteren verhoogd.

Het monitoren van energieverbruik is in verschillende bedrijfstakken een erkende maatregel die verplicht moet worden geïmplementeerd, bijvoorbeeld voor kantoorgebouwen, zorginstellingen, hotels, restaurants, sport en recreatie (RVO, 2017). Voor de agrarische sector is dit nog geen verplichting. Energie kan worden gemonitord met een energie-audit. Dit is een tijdelijke meting om het besparingspotentieel te bepalen. Hiermee kan het laaghangend fruit op basis van de groepenverdeling in kaart worden gebracht. Hierbij wordt zo'n 4 – 8 weken gemeten en dit kan 1 – 5% energiebesparing opleveren. Structurele monitoring maakt aanvullende kostenbesparing mogelijk (5 – 15%) en neemt ook invloed van variaties in klimaat en management mee (RVO, 2016). Een slimme meter geeft inzicht in het totale jaarverbruik, maandverbruik of verbruik per kwartier of vijf minuten. Door middel van verschillende tussenmeters en software, kan via een portaal inzicht verkregen worden in energieverbruik per apparaat of proces. De aanschafkosten van een softwarepakket bedragen €2000 - €5000 en een energiemeter kosten circa €50 per stuk (Stimular, 2020b).

## **3.2 Opwekken (hernieuwbare) energie**

Er zijn verschillende mogelijkheden om op een varkensbedrijf (hernieuwbare) energie op te wekken. Hieronder staan deze verschillende mogelijkheden beschreven.

### **Zonnepanelen**

Er zijn verschillende soorten zonnepanelen waarbij energie uit zonlicht opgeslagen kan worden in de vorm van elektriciteit of warmte.

#### *Photo-Voltaic (PV) zonnepanelen*

PV zonnepanelen zetten met behulp van fotovoltaïsche cellen een deel van de fotonen uit het zonlicht om in elektriciteit. Deze omzetting vindt ook plaats op bewolkte dagen, waardoor felle zon niet noodzakelijk is. Het rendement van PV zonnepanelen is afhankelijk van veel verschillende factoren, zoals: beschikbaar dakoppervlak, richting ten opzichte van de zon, hellingshoek van de panelen, locatie van de omvormer en de onderhoudstoestand (Ellen et al., 2010). De gemiddelde opbrengst per vierkante meter zonnepaneel is het hoogst wanneer deze in een hoek van 36° naar het zuiden staat gericht (200 kWh/m<sup>2</sup>). Bij een oost-west opstelling is de gemiddelde stroomopbrengst per vierkante meter ongeveer 10% lager (Spruijt & Terbijhe, 2016). Een voordeel van een oost-west opstelling is wel dat de stroom over meer uren van de dag verspreid wordt opgewekt in plaats van een piekmoment in de middag bij een oriëntatie naar het zuiden.

---

Verder is de technologie om zonlicht om te zetten in elektriciteit, en dus de efficiëntie van zonnepanelen, in de afgelopen jaren sterk verbeterd. In sommige varkenshouderijen met 'low-tech' zonnepanelen kan het vernieuwen van de panelen leiden tot meer energieproductie. Verder kan de efficiëntie van zonnepanelen worden verhoogd door het gebruik van een juiste ondergrond onder de panelen. Het gebruik van witte panelen (bijvoorbeeld Roofclix) zorgt voor een rendementstoename van 8 – 10%, doordat de witte panelen isolerend werken en het zonlicht weerkaatsen, waardoor het dak en de zonnepanelen minder warm worden (Roofclix, 2022). Dit leidt tot een beter stalklimaat en daarnaast werken de witte panelen brandvertragend. Voor alle zonnepanelen geldt dat warmte aan de onderzijde van zonnepanelen afgevoerd dient te worden, bijvoorbeeld door voldoende ventilatie.

De investeringen per Wattpiek (Wp) zijn €0,55 – 0,70 en overige kosten, inclusief onderhoud (reinigen en vervangen van de omvormers na 10 – 15 jaar) bedragen 2% van de investering (KWIN, 2022). Een mogelijke beperking van het opwekken van zonne-energie bij een varkenshouderij is het vermogen van de elektriciteitsaansluiting op het bedrijf. Dit heeft invloed op de hoeveelheid elektriciteit die kan worden terug geleverd aan het elektriciteitsnet. De capaciteit van het landelijke laagspanningsnet is op sommige plekken in Nederland momenteel onvoldoende om duurzaam opgewekte energie te verwerken. Het overschot aan opgewekte energie kan op verschillende manieren nuttig worden gebruikt. Dit wordt uitgebreid beschreven in Hoofdstuk 3.3. Voor het installeren van zonnepanelen op het dak is subsidie beschikbaar. Kleine gebruikers (tot 80 Ampère) kunnen gebruik maken van EIA-subsidie en op grote schaal kunnen SDE-subsidieregels worden toegepast.

#### *Zonneboilers/thermische zonnepanelen*

Een zonneboiler bestaat uit een zonnecollector en een voorraadvat. Door de collector stroomt water, wat opgewarmd wordt door de zon. Hierbij kan de temperatuur van het water oplopen tot 90°C. De panelen kunnen geïnstalleerd worden op het dak van de stal, maar zijn ook geschikt voor platte daken. Het opgewarmde water wordt opgeslagen in het voorraadvat en kan vervolgens via een warmtewisselaar gebruikt worden voor het verwarmen van tapwater, CV-water, water voor vloerverwarmingen of ruimteverwarming of voor het voorverwarmen van brijvoer. 5 m<sup>2</sup> collectoren en een vat van 220 liter kosten ongeveer €4.300 euro en besparen circa 240 m<sup>3</sup> gas (Milieucentraal, 2021). Wel gebruikt dit systeem ongeveer 40 kWh elektriciteit per jaar extra voor de pompen van de zonneboiler en is hier ook onderhoud aan nodig (+/- €10/jaar).

Een nadeel van zonne-energie systemen is dat de meeste warmte in de zomer wordt opgewekt, maar dat deze warmte voornamelijk in de winter nodig is. Een oplossing hiervoor is een warmteopslag, bijvoorbeeld in de vorm van een aquiferopslag of thermische putten (Dehens & Kruit, 2020). Daarnaast kunnen zonneboilers gebruikt worden in combinatie met het voeren van verwarmde brijvoeding. Verwarmde brijvoeding kan leiden tot 8 tot 16 gram extra groei per dag (de Leeuw & van Wagenberg, 2002) en in combinatie met een zonneboiler kan het overdag opgewarmde water direct gebruikt worden.

#### *Photo-Voltaic-Thermal (PVT) zonnepanelen*

Een PVT zonnepaneel is een hybride paneel dat een combinatie is van een PV zonnepaneel en een zonneboiler. In de zonnepanelen wordt dus zowel elektrische energie opgewekt als water opgewarmd. De voorzijde van een PVT paneel bestaat uit zonnecellen die zonlicht omzetten in elektriciteit. De achterkant bestaat uit een zonneboiler en warmtewisselaar, die warmte uitwisselt met de buitenlucht en energie levert voor een speciale PVT-warmtepomp. Metingen van TNO laten zien dat deze PVT panelen voor elke kilowatt (kW) elektriciteit, 5,6 kW warmte produceren (Triplesolar, 2022).

Er is momenteel beperkte informatie beschikbaar over de kosten van dit systeem in veehouderijen. In huishoudens is de terugverdientijd 9 – 11 jaar (Herrando & Markides, 2016). Momenteel zijn de benodigde investeringen voor PVT panelen hoger dan voor PV panelen, omdat het systeem nog in ontwikkeling is. Echter is de verwachting dat wanneer het systeem meer doorontwikkeld is, de benodigde investeringen ook dalen.

#### **Zonnewandverwarming**

SolarWall heeft een systeem ontwikkeld waarbij de stalmuren in de richting van het oosten, zuiden en westen zijn bedekt met speciale zonnepanelen (Solarwall, 2021). Deze metalen panelen zijn hol en geperforeerd, waardoor er verse lucht doorheen kan. Door de zon worden de panelen opgewarmd en de koude, verse lucht wordt door het paneel opgewarmd voordat het de stal binnengaat.

---

Zo kan er in de winter voldoende worden geventileerd, zonder dat de temperatuur in de stal te laag wordt. Het systeem heeft alternatieve luchtinlaten met grotere stromen, die de zonnecollector kunnen omzeilen. Ook heeft dit systeem in pluimvee stallen tot 30% minder gasgebruik geleid. De panelen kosten ongeveer €75 per m<sup>2</sup> en afhankelijk van de richting van de muur (zuid of oost/west) kan jaarlijks €2 tot €3,5 per m<sup>2</sup> stalmuur aan stookkosten worden bespaard (NationalHogFarmer, 2007).

### **Waterstofpaneel**

Deze panelen werken op zowel licht als lucht en zetten waterdamp uit de lucht om in waterstofgas. Dit wordt vervolgens opgeslagen in een opslagtank, waarna dit gas verbrand wordt om energie te vormen. Een voordeel van dit systeem is, dat de energie die wordt geproduceerd door de panelen opgeslagen kan worden, zodat in de zomer geproduceerde waterstof gebruikt kan worden voor verwarming in de winter. De efficiëntie van deze panelen moet nog worden gevalideerd. Momenteel bevindt deze innovatie zich nog in een experimentele fase en daarom zijn er nog geen exacte benodigde investeringen bekend. Een waterstofpaneel bevat geen zeldzame en kostbare materialen en daarom wordt een relatief lage kostprijs, vergelijkbaar met een PV zonnepaneel, verwacht (Solhyd, 2021). Er wordt een gemiddelde prijs van €400 per paneel en €140 per MWh opslag voor de opslagtank verwacht (IRENA, 2019). Verder moet rekening worden gehouden met de extra kosten voor het ombouwen van de huidige dieselmotoren naar waterstofbrandstofcelmotoren. De prijs van dergelijke motoren is nog niet bekend en is nog in ontwikkeling. De gemiddelde prijs voor waterstof is circa €10 per kilogram (excl. BTW), maar voor een haalbare buisnescase voor de eindgebruiker en om te kunnen concurreren met fossiele brandstoffen zou de prijs voor waterstof niet meer dan circa €6 per kg (excl. BTW) moeten zijn (Detz, et al., 2021).

### **Warmtepomp**

Er zijn twee soorten warmtepompen: bodemwarmtepompen die warmte onttrekken uit grondwater (of eventueel uit mest) en lucht-warmtepompen die warmte uit de buitenlucht onttrekken door middel van een compressor. Deze warmte wordt vervolgens gebruikt om water op te warmen en vervolgens kan hiermee de ruimte worden verwarmd, bijvoorbeeld door middel van vloerverwarming. Warmtepompen zijn een energie-efficiënte manier om te verwarmen, maar gebruiken wel meer elektrische energie dan HR ketels. Aan de andere kant is voor dit systeem geen aardgas meer nodig. Verder kan de elektrische energie die de warmtepomp nodig heeft opgewekt worden met zonnepanelen als daar voldoende dakoppervlakte voor beschikbaar is.

### **Windenergie**

Door middel van windturbines kan elektriciteit opgewekt worden. Kleine turbines tot 15 meter (soms zelfs tot 30 meter) as-hoogte worden tegenwoordig steeds vaker toegestaan op agrarische bedrijven. Deze turbines wekken, afhankelijk van de windsnelheden, 30.000 – 46.000 kWh per jaar op (Rougoor et al., 2021). De benodigde investeringen hangen af van de grootte van de windmolen en kunnen variëren tussen €50.000 voor een molen met 10 kW vermogen en €180.000 voor een molen met 50kW vermogen. Wel is voor opwekking van energie door wind een windsnelheid van gemiddeld minimaal 5,5 m/s nodig en dit wordt vooral bereikt in de kustgebieden. Verder kan een windmolen in combinatie met zonnepalen zorgen voor een constante energieproductie, aangezien zonne-energie voornamelijk in de zomer wordt geproduceerd, terwijl windenergie vooral in de winter beschikbaar is.

Momenteel is een subsidie beschikbaar voor het terugleveren van energie van windturbines (SDE+). Wanneer geen gebruik wordt gemaakt van de SDE+ regeling, is de investeringsregeling ISDE beschikbaar (RVO, 2022). De terugverdientijd is berekend voor 10 bedrijfssituaties met grote verschillen in elektriciteitsverbruik op het park en het type windturbine. Dit varieerde van 8 tot 13 jaar (Rougoor et al., 2021). Het rendement van een windturbine is sterk afhankelijk van lokale omstandigheden zoals bomen in het gebied en de hoeveelheid wind. Dit heeft ook invloed op de terugverdientijd (Rougoor et al., 2021).

### **Biomassaketel**

In een biomassaketel kunnen houtpellets of houtsnippers verbrand worden om warmte op te wekken. Een biomassaketel op houtpellets bespaart 50% en op houtsnippers 75% van de stookkosten vergeleken met een hr-ketel (Kasper & Ellen, 2014). Wel zijn de benodigde investeringen van een biomassaketel inclusief vijzel voor aanvoer, automatisch systeem voor as verwijdering en het besturingssysteem hoger dan die van een hr-ketel. Door de (huidige) hoge gasprijzen wordt dit verschil binnen 5 tot 7 jaar terugverdiend. Een biomassaketel vraagt wel meer arbeid voor het schoonmaken van de ketel en het vullen van de voorraadruimte. Een nadeel van een biomassaketel is dat bij het verbranden van pellets fijnstof vrij komt.



---

Ook zijn de pellets niet helemaal klimaatneutraal, omdat er fossiele brandstoffen nodig zijn voor bosbouw en transport. Kasper & Ellen (2014) laten zien dat een standaard zeugenbedrijf met 550 aanwezige zeugen per jaar bij gebruik van een biomassaketel (10 jaar afschrijving) €8.313 kan besparen ten opzichte van een hrketel. Bij een afschrijving in 15 jaar is dit bijna €10.000.

Momenteel bestaat de discussie of het verbranden van houtpallets gezien kan worden als een duurzame manier om energie op te wekken. Bij het verbranden van hout komt CO<sub>2</sub> vrij en de gedachtegang hierachter is dat deze CO<sub>2</sub> geen impact heeft op het klimaat, omdat het weer opgenomen wordt door groeiende planten en bomen. Hierdoor vormt het een gesloten cyclus. Echter, het vastleggen van CO<sub>2</sub> door planten en bomen kost tijd en in de tussentijd verblijft de vrijgekomen CO<sub>2</sub> in de lucht en heeft het dus effect op het klimaat. Het verbranden van hout resulteert in meer CO<sub>2</sub> emissie per geproduceerde MJ dan de verbranding van gas, olie of kolen (Cardellichio et al., 2010). Verder kan het oogsten van hout op grote schaal leiden tot verlies van gebieden met hoge biodiversiteit. Nederland heeft strenge duurzaamheidsregels, echter voorkomen deze regels niet altijd dat er toch natuurbos in biomassaketels verdwijnt (van der Wal, 2021). Wel zouden biomassaketels gebruikt kunnen worden om reststoffen te verwaarden, bijvoorbeeld door verbranding van snoeihout.

### **Warmte-koude opslag in de ondergrond**

Warmtewisselaars in de bodem en in de stal kunnen gebruikt worden om warmte uit de bodem te onttrekken in periodes waarin verwarming van de stal nodig is en warmte in de bodem op te slaan als koeling van de stal gewenst is. In de zomer zal de warmte uit de stal opgeslagen worden in de bodem, om vervolgens in de winter gebruikt te kunnen worden om de stal te verwarmen. Als in de winter ook warmte teruggewonnen wordt vanuit de luchtwater, kan 50% van de verwarmingskosten worden bespaard ten opzichte van een stal zonder luchtconditionering (Ellen et al., 2014). Door het conditioneren van de lucht met behulp van de warmte-koude opslag in de bodem, kan een stabielere stalklimaat worden bereikt. Hierdoor kan hittestress op hete dagen worden voorkomen en dit verbetert groei en (re)productie. De investeringskosten voor een warmte-koude opslag in combinatie met een luchtwater bedraagt €70 per vleesvarkensplaats en €260 per zeugenplaats. Uit saldoberekeningen blijkt dat een zeugenbedrijf met een warmte-koude opslag €11 per zeugenplaats per jaar economisch voordeel kan behalen. Bij vleesvarkens is er geen economische voordeel, echter kunnen de kosten wel terugverdiend worden door betere technische resultaten door het stabielere stalklimaat.

### **Mestvergisting**

Bij mestvergisting wordt organische stof in de mest door bacteriën omgezet in biogas. Deze omzetting vindt in elke mestopslag al plaats, maar in een mestvergister gebeurt dit onder gecontroleerde omstandigheden en wordt het geproduceerde gas opgevangen. Dit gas bestaat gemiddeld uit 60% methaan en 40% koolstofdioxide (Biewenga & Dooren, 2007). Verder blijft digestaat over wat als meststof gebruikt kan worden. De meeste biogas opbrengst kan behaald worden door zo snel mogelijk de mest uit de stal te vergisten, want hoe verser de mest, hoe hoger het biogaspotentieel (Buissonjé & Verheijen, 2014). Hierdoor is ook geen langdurige mestopslag nodig onder de afdelingen, waardoor de luchtkwaliteit in de stal verbetert. Per ton verse vleesvarkensmest kan circa 48 m<sup>3</sup> biogas geproduceerd worden (Buissonjé & Verheijen, 2014). Hierna kan het biogas met behulp van een warmtekrachtkoppeling worden omgezet in elektriciteit en warmte of het biogas kan worden opgewaardeerd tot groen gas.

### **Energieproductie uit urine (en afvalwater)**

Urine bevat ammonium en dit ammonium kan worden gebruikt om elektriciteit en warmte te produceren. Allereerst moet de ammoniumconcentratie in een vloeistof hoog genoeg zijn (10 gram per liter). Dit wordt gedaan door middel van elektrolyse. Daarna wordt de pH van de vloeistof verhoogd, waardoor ammonium wordt omgezet in ammoniak. Ammoniak wordt vervolgens uit de oplossing onttrokken, waarna de ammoniak uiteindelijk in een brandstofcel terecht komt. Door de reactie tussen ammoniak en zuurstof (verbranding) ontstaan elektriciteit, warmte en de onschadelijke gassen stikstofgas en waterdamp.

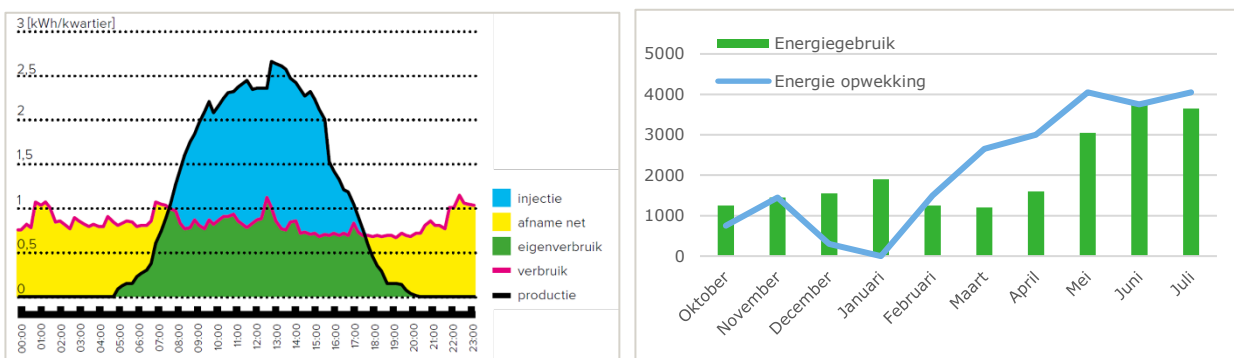
Momenteel verbruikt het systeem nog twee keer meer energie dan dat het oplevert (TU Delft, 2020). Daarom wordt er nu gewerkt aan een hoger rendement van energieopwekking en het verlagen van het energieverbruik. Verder geldt dat hoe hoger de ammoniakconcentratie, hoe minder energie nodig is om het uit het water te onttrekken. Momenteel is het doel om deze techniek energieneutraal te krijgen, maar wellicht is energieproductie in de toekomst mogelijk.

### 3.3 Overschot aan opgewekte energie (nuttig) gebruiken

Elektriciteitsverbruik op een varkenshouderij is overdag wat hoger dan 's nachts, maar over het algemeen wordt er over het totaal aantal uren in een dag redelijk constant verbruikt (Figuur 7, links). Door het jaar heen varieert het elektriciteitsverbruik wel (Figuur 7, rechts). In de zomer wordt bijvoorbeeld meer elektriciteit gebruikt voor de mechanische ventilatie, om de temperatuur in de stal niet te veel op te laten lopen. Verder wekken zonnepanelen overdag energie op, waardoor er overdag een overschot aan energie is en 's nachts een tekort. In Nederland is op veel plekken geen of onvoldoende capaciteit om het overschot aan geproduceerde energie terug te leveren (Visser et al., 2020). Daarom kan het lonen om het elektriciteitsverbruik op het bedrijf af te stemmen op de elektriciteitsproductie, energie op te slaan, processen te elektrificeren of extra activiteiten aan het bedrijf toe te voegen om bijvoorbeeld emissies te verlagen.

#### Slim sturen van elektriciteitsgebruik

Zoals Figuur 7 (links) aangeeft, wordt er op een zonnige dag door de PV-installatie overdag veel elektriciteit geproduceerd, echter kan dit niet allemaal op dat moment gebruikt worden. 's Nachts wordt er door de PV-zonnepanelen geen elektriciteit geproduceerd, maar is er wel elektriciteitsverbruik. Door productie en het verbruik op elkaar af te stemmen, kan efficiënter omgegaan worden met de beschikbare energie en hoeft er minder elektriciteit aangekocht te worden. Zo kunnen bepaalde activiteiten die vroeg in de ochtend of laat in de avond plaatsvinden eventueel naar overdag verplaatst worden, bijvoorbeeld het verwarmen van water voor brijvoeding of gebruik van de hogedruk reiniger.



**Figuur 7** Links: verbruiks- en productieprofiel van een typische varkenshouderij met een PV-installatie op een zonnige dag (SAVE, 2018). Rechts: maandelijks energiegebruik ten opzichte van energieproductie door middel van zonnepanelen in Minnesota (Verenigde Staten) op basis van 96 zonnepanelen in een hoek van 20 graden richting het zuiden en 432 vleesvarken-plaatsen (Acevedo, 2017). Augustus en september ontbreken, omdat het onderzoek is afgebroken voordat een volledig jaar gemeten is.

Flexibele energiegebruikers kunnen slim worden aangestuurd, zodat zij in werking treden wanneer er voldoende energie geproduceerd wordt. De complexiteit van deze besturingssystemen kan sterk variëren van een simpele tijdschakelaar tot het aansturen van meerdere processen tegelijkertijd. In het rapport van het VLAIO-VIS project (SAVE, 2018) zijn activiteiten weergegeven die mogelijk verplaatst kunnen worden naar het moment waarop energie over is en activiteiten die minder goed verplaatst kunnen worden. Zo kunnen ventilatie, biggenlampen en verlichting in de stallen niet naar een ander tijdstip verplaatst worden. Ventilatie is een grote energieverbruiker, maar is ook continue nodig. Biggenlampen zijn voor een langere periode nodig en verlichting is voornamelijk nodig wanneer er geen zonlicht beschikbaar is. Echter de productie van warmte voor afdelingen met biggen, warm water voor brijvoer of douches (mits opgewarmd door elektriciteit) en gebruik van de hoge druk reiniger kan wel naar een ander moment verschoven worden. Ook kan een buffertank gebruikt worden om de geproduceerde warmte op te vangen en op het gewenste moment te gebruiken (zie hieronder).

---

## Energieopslag

Energie kan op verschillende manieren opgeslagen worden. Zo kan een overschot aan energie wat op het bedrijf zelf wordt geproduceerd opgeslagen worden om op een later moment te gebruiken. Ook kan energie aangekocht worden als de energieprijs laag (of zelfs negatief is) om het weer te verkopen of zelf te gebruiken als de energieprijs hoog is. In de tussentijd dient deze energie ook opgeslagen te worden.

### *Batterijen*

Een manier om elektriciteit op te slaan is met behulp van batterijen. Hiermee kan de overdag opgewekte stroom bijvoorbeeld 's nachts worden gebruikt en hoeft deze energie niet terug geleverd te worden aan het net. Dit verlaagt energiekosten, omdat er minder elektriciteit wordt aangekocht en het ontlast het elektriciteitsnet. Ook heeft de energieprijs minder invloed op het bedrijfsresultaat en is in geval van stroomstoring toch elektriciteit beschikbaar. Als zelf geproduceerde elektriciteit breder beschikbaar is, kunnen ook meer activiteiten op het bedrijf worden geëlektrificeerd. De opgeslagen elektriciteit kan op het bedrijf worden verkocht door bijvoorbeeld het aanbieden van laadpalen voor auto's van omwonenden. De aanschaf van een batterij kost doorgaans €450 – 800/kWh en afhankelijk van de capaciteit komen hier 2 – 10% installatie kosten bij (Spackman, 2017). Inmiddels wordt in verschillende sectoren geëxperimenteerd met de combinatie van zonnepanelen en/of windturbines met batterijen. Lang waren de investeringen van de batterijen te hoog om het systeem rendabel te maken (de Jong et al., 2018). Inmiddels is er een slim systeem op de markt, waarmee een overschot aan stroom wordt opgeslagen in een accupakket (Kiwatt, 2022; Peta Watts, 2023). Deze stroom wordt gebruikt op momenten dat er geen of niet voldoende stroom wordt geproduceerd, bijvoorbeeld 's nachts of op bewolkte dagen. De slimme software zorgt er ook voor dat in de winter stroom wordt aangekocht als de prijs laag is en de stroom uit het accupakket wordt gebruikt als de prijs juist hoog is. Door de huidige hoge energieprijzen is de terugverdientijd minder dan 7 jaar (Boerderij, 2022).

### *Water*

Een overschot aan elektriciteit of warmte kan worden gebruikt om water in een boiler op te warmen. Een elektrische boiler gebruikt elektriciteit van bijvoorbeeld zonnepanelen of windturbines om water op te warmen. Dit kan worden aangevuld met overtollige warmte uit andere bedrijfsprocessen. Het verwarmde water kan vervolgens worden gebruikt voor vloerverwarming of het verwarmen van brijvoer voor de varkens. Door energie in water op te slaan, kan het gasverbruik worden verminderd waardoor minder CO<sub>2</sub> wordt uitgestoten. De capaciteit van de watertank en het isolatiemateriaal zijn de belangrijkste factoren om de juiste buffertank voor een varkensbedrijf te kiezen. De inhoud van de watertank kan variëren van 300 tot 2.000 liter, echter zal in de praktijk rekening gehouden moeten worden met de beschikbare ruimte dat aanwezig is op het bedrijf. Het rendement van de energieopslag is afhankelijk van de isolatie van het buffervat en de mate waarin warmte in het vat wordt benut. Het gemiddelde warmteverlies uit een buffertank ligt tussen de 2,8 en 6 kWh per 24 uur. Dit betekent dat warmte in een gemiddelde buffertank met goede isolatie voor circa twee tot drie dagen opgeslagen kan worden (Goens Johan, 2022). Het is daarom van belang om de juiste watertank met het juiste isolatiemateriaal te gebruiken wat aansluit bij de warmteproductie en vraag van het specifieke bedrijf.

Ook in het hierboven genoemde VLAIO-VIS project (SAVE, 2018) is gebruik gemaakt van energieopslag in een warm water buffertank. Het onderzoek omschrijft een typische vermeerderingsbedrijf met een combinatie van zonnepanelen, warmtepompen en een buffer. Zonnepanelen met 130 kW en twee warmtepompen produceren warmte, welke opgeslagen wordt in een slimme buffertank. Zo wordt er tijdens hoge productie uren minder elektriciteit aan het net afgegeven. De warmtepompen warmen het water op tot 65°C en energie die hier voor nodig is wordt opgewekt door de zonnepanelen. 1 kWh elektriciteit van de zonnepanelen wordt omgezet in 4 kWh warm water. Dit opgewarmde water wordt opgeslagen in vier buffervaten van elk 540 liter. Indien er niet voldoende energie van de zonnepanelen beschikbaar is, kunnen de twee bestaande stookolieketels bijspringen. Het hele proces wordt automatisch aangestuurd. Op jaarbasis daalde het stookolie verbruik van 18.000 naar 1.300 liter. Dus door slim gebruik te maken van het overschot aan geproduceerde, goedkope elektriciteit, is verbruik van dure energie om te verwarmen voorkomen. Naar verwachting zou de installatie zichzelf na zes jaar terug hebben verdiend.

---

### *Thermochemische opslag (zout)*

Momenteel werken TNO en TU/e aan een thermochemische opslag in de vorm van een warmtebatterij. De batterij maakt gebruik van zoutkristallen. Als er waterdamp aan deze zoutkristallen wordt toegevoegd, worden ze groter en komt er warmte vrij. Om het systeem weer op te kunnen laden, worden de zoutkristallen gescheiden van het water en krijgen ze het oorspronkelijke formaat weer terug. Na jarenlange experimenten met verschillende soorten zout, bleek dat een specifiek ontwikkeld zoutcomposiet met kaliumcarbonaat als basismateriaal, stabiel genoeg is om 20 jaar lang maandelijks te kunnen laden en ontladen en dat de opslagcapaciteit vele malen groter is dan die van warmteopslag in water (TNO, 2020). Daarnaast is voor de productie van kaliumcarbonaat CO<sub>2</sub> nodig, wat leidt tot een extra CO<sub>2</sub> reductie. Tijdens de opslag gaat er geen energie verloren, omdat deze energie is vastgelegd in de chemische binding (Kant & Pitchumani, 2022). Hierdoor kan energie in een thermochemische opslag zowel voor korte periodes als voor een heel seizoen opgeslagen worden. Zo kan in de zomer opgewekte energie worden opgeslagen en kunnen gebouwen in de winter worden verwarmd en van warm water worden voorzien. Daarnaast kan de batterij ook elektrische energie, bijvoorbeeld geproduceerd door zonnepanelen, opslaan in de vorm van warmte.

### *Waterstof*

Waterstof kan worden gebruikt als brandstof voor landbouwvoertuigen en als vervanger van aardgas of propaan voor verwarming. Momenteel zijn er nog geen waterstofftrekkers op de markt, maar de verwachting is dat deze op redelijk korte termijn beschikbaar komen (Visser et al., 2020). Binnen de varkenshouderij kan waterstof mogelijk als brandstof voor transportvoertuigen worden gebruikt. Een kilogram waterstof heeft ongeveer dezelfde hoeveelheid energie als 3 liter diesel (IRENA, n.d.) en voor productie van 1 kg waterstof is 55 kWh elektriciteit nodig (Zhang et al., 2021). Daarnaast zou een waterstofmotor een 23% hoger rendement hebben dan een dieselmotor (Du et al., 2018). Ook kan opslag van energie in waterstof er voor zorgen dat tijdens piekproductie van zonnepanelen het elektriciteitsnet niet extra wordt belast.

Een installatie met een vermogen van 1 MW kost ongeveer 1,28 miljoen euro en daar komen bij 8.000 bedrijfsuren circa €462.000 jaarlijkse kosten bij (Visser et al., 2020). Deze investering is niet rendabel voor een individuele veehouder en daarom is samenwerking tussen boeren en eventuele andere partijen in de keten nodig om dit te kunnen realiseren. Bijkomend voordeel is dat waterstof kan worden opgeslagen, zodat het ook op makkelijk op andere plekken ingezet kan worden als energiebron.

### **Stalkoeling met koelmachine**

Wanneer de temperatuur in de stal te hoog wordt, leidt dit tot hittestress en dit heeft een negatief effect op de groei en voederconversie van varkens. Afhankelijk van de leeftijd en het gewicht van een vleesvarken, ligt de bovengrens van de thermo-neutrale zone tussen de 22 – 27°C (van 't Klooster et al., 1989). In de zomer kunnen stallen gekoeld worden door middel van een koelmachine (Inno+, 2021b,c). Deze koelmachine koelt water tot 10°C en dit wordt opgeslagen 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. In tegenstelling tot natte koelmethodes (bijvoorbeeld padkoeling), waarbij de stallucht wordt bevochtigd, onttrekt dit systeem juist vocht door condensatie. Hierdoor blijft de luchtvochtigheid in de stal aangenaam en bevat de inkomende lucht minder energie-inhoud. Stalkoeling met een koelmachine in combinatie met zonnepanelen is ideaal, omdat op de momenten in de zomer met een piek in de productie van zonne-energie, er ook een piek is in energie die wordt opgenomen door de koelmachine.

### **Mest koelen**

Bij lagere mesttemperaturen is de vorming van o.a. ammoniak en methaan in de mest vertraagd (den Brok & Verdoes, 1996; Groenestein et al., 2005; Aarnink et al., 2019). Dit kan door middel van buizen of slangen in de mestkelder waar koud (grond)water doorheen stroomt, zowel in een open als gesloten systeem (warmtepomp). Er wordt een maximale temperatuur van 15°C aangehouden, maar er kan meer reductie behaald worden bij lagere temperaturen (Aarnink et al., 2019). Het water waarmee de mest gekoeld wordt warmt op en kan daarna gebruikt worden om de stallen te verwarmen, waardoor energie voor verwarming bespaard kan worden. Indicatieve metingen van een preliminaire proef op het koelen van mest op melkvee bedrijven hebben aangetoond dat verlaging van de mesttemperatuur met circa 2°C leidt tot gemiddeld 45% CH<sub>4</sub>-reductie (Puente-Rodríguez et al., 2022). Het koelsysteem in de stallen bestond uit een leidingen systeem gevormd door buizen in de mestkelder en door de buizen stroomde water (75%) en glycol (25%). Een elektrische warmtepomp (16 kW) bracht de warmte van de mest naar de bedrijfswoning.

---

Tijdens het experiment bleek dat het systeem zoveel warmte produceerde, dat een overschot werd afgegeven aan de open lucht. De warmtepomp gebruikt energie en daarnaast werd de mest regelmatig gemixt (drie keer per dag circa 10 minuten) wat ook leidt tot extra energiegebruik. Tijdens het experiment was het jaarlijkse extra energiegebruik 9.238 kWh voor de mestmixers en de warmtepomp en de jaarlijkse warmteopbrengst werd geschat op 90 GJ, wat overeen komt met 25.000 kWh (Puente-Rodríguez et al., 2022). De positieve (indicatieve) resultaten hebben geleid tot doorontwikkeling van dit systeem en de komende jaren zullen de resultaten van deze ontwikkelingen bekend worden.

### **Mest scheiden**

Varkensmest kan op verschillende manieren gescheiden worden, met behulp van een vijzelpers, zeefbandpers of centrifuge/decanter (Schröder et al., 2009). Vijzelpers hebben een metalen of kunststof vijzel waarmee de drijfmest onder hoge druk door een cilindrische metalen behuizing met zeefopening worden geperst. De investering voor een vijzelpers is minimaal €25.000, het scheidingsrendement voor fosfaat is 20 – 40% en het energiegebruik (exclusief randapparatuur zoals pompen en transportbanden) is 1,0 kWh/m<sup>3</sup> mest. Zeefbandpersen persen de drijfmest samen tussen twee parallelle transportbanden, waarvan één vocht doorlatend is, waardoor het vocht door de transportband wordt geperst. De investering voor een zeefbandpers is minimaal €70.000, het scheidingsrendement is 50 – 75% en het energiegebruik is 0,1 kWh/m<sup>3</sup> mest. Centrifuges/decanter werken volgens het principe van middelpuntzoekende kracht, waardoor deeltjes op basis van soortelijk gewicht worden gescheiden. De investering voor een centrifuge/decanter is minimaal €100.000, het scheidingsrendement is 60 – 70% en het stroomgebruik is 4,0 kWh/m<sup>3</sup> mest.

Een overschot aan opgewekte energie kan worden gebruikt om mest te scheiden en zo te verwaarden. Wetgeving stelt dat het overschot aan fosfaat moet worden verwerkt/geëxporteerd. De dikke fractie na het scheiden heeft een hoger fosfaatgehalte, waardoor er minder kuub mest afgevoerd hoeft te worden om aan de verwerkingsplicht te voldoen en zo afzetkosten bespaard kunnen worden.

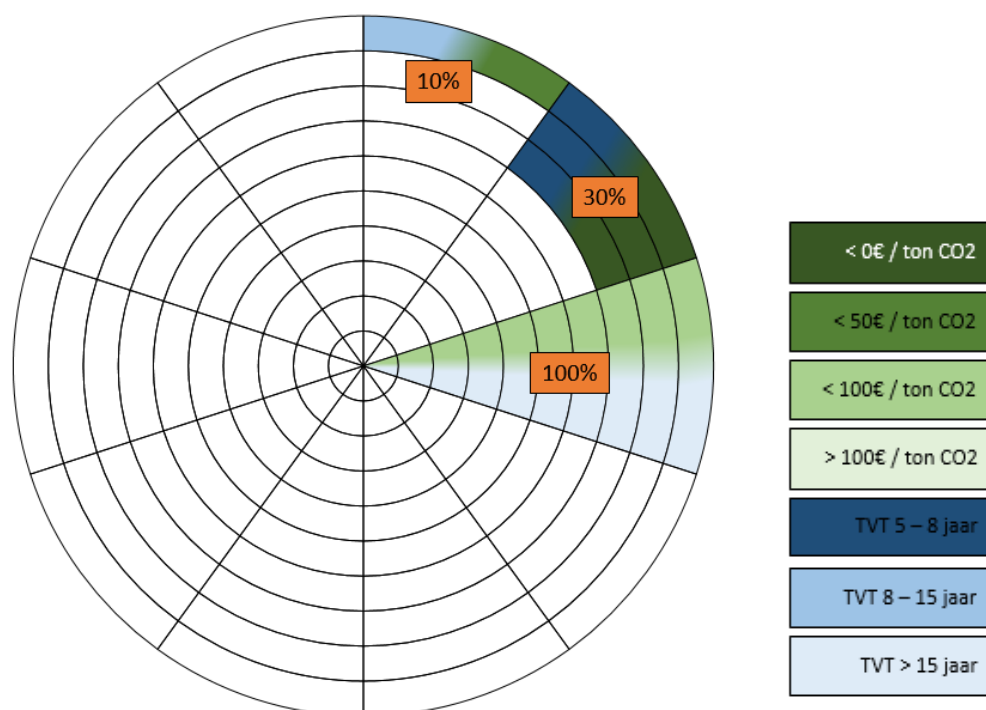
### **Mest drogen**

Bij het drogen van mest wordt warmte toegevoegd om vocht uit de mest te laten verdampen en zo het droge stof gehalte te verhogen. Momenteel wordt het drogen van mest vooral toegepast bij kippenmest of bij centrale verwerkers van varkens- en/of rundveemest. Voordat drijfmest gedroogd wordt, wordt het eerst gescheiden in een dikke en dunne fractie. De dikke fractie bestaat op dat moment uit ongeveer 30% droge stof en kan dan worden gedroogd tot 85% droge stof. Dit kan op verschillende manieren, bijvoorbeeld door middel van zeolieten die water absorberen (nog in ontwikkeling), compostering, waarbij door aerobe afbraak warmte ontstaat en water verdampt of door middel van een droogtunnel (Visser et al., 2020; Verdoes et al., 2021). Een varkenshouder in Oirlo gebruikt de restwarmte van zijn varkensbedrijf om zijn mest te drogen in een droogtunnel (Varkens.nl, 2018). Na het scheiden van de mest wordt de dikke fractie op een geperforeerde band in een tunnel gebracht waarna warmte ventilatielucht uit de stallen door de tunnel wordt gestuurd. Hierdoor neemt de ventilatielucht het water uit de dikke fractie op en deze lucht verlaat via een luchtwasser de droogtunnel. Elke kuub water die uit de mest verdampt, levert een besparing in afvoerkosten van circa €20.

Zoals hierboven beschreven zijn de investeringskosten van een mestscheider minimaal €25.000 (vijzelpers) en daarbovenop komt de investering voor een droogtunnel. De investeringskosten van een droogtunnel zijn verschillend afhankelijk van de capaciteit en variëren ongeveer tussen €100.000 en €300.000 (Varkens.nl, 2018; Visser et al., 2020). Wel kan dit systeem gecombineerd worden met warmteterugwinning en de droogcapaciteit uitgebreid worden door de lucht elektrisch bij te verwarmen. Visser et al. (2020) heeft voor een melkveestal met verwerking van circa 10.000 m<sup>3</sup> drijfmest bepaald dat het continue scheiden, composteren en drogen van rundveedrijfmest in het totaal 145.000 kWh per jaar gebruikt. Hier is geen rekening gehouden met het gebruik van restwarmte en naar verwachting zal het energiegebruik dan met een factor vijf verkleind kunnen worden. Wel geven Visser et al. (2020) aan dat voor melkvee dit systeem pas rendabel is bij middelgrote tot grote bedrijven of in een samenwerkingsverband.

## 4 'Opportunity dartboards'

Een 'opportunity dartboard' is een middel om de individuele mogelijkheden om energie te besparen of op te wekken en de bijbehorende mogelijke reductie van broeikasgasemissies en kosteneffectiviteit visueel weer te geven. Het dartboard bestaat uit verschillende segmenten (taartpunten) en elk segment staat voor een mogelijkheid of maatregel die een varkenshouder kan toepassen op het bedrijf. Een segment bestaat uit 10 ringen en elke ring betekent circa 10% CO<sub>2</sub> reductiepotentieel t.o.v. de referentie zonder maatregel (Figuur 7). Hoe meer ringen zijn ingekleurd, hoe meer reductiepotentieel de maatregel heeft. Hierin is enkel uitgegaan van CO<sub>2</sub> reductie met betrekking tot energiebesparing door de individuele maatregel. Hierbij is vermeden of extra CO<sub>2</sub> emissie uit eventuele neveneffecten van de maatregel niet meegenomen (bijvoorbeeld vermeden uitstoot uit mest). 100% CO<sub>2</sub> reductiepotentieel geeft aan dat een maatregel kan leiden tot CO<sub>2</sub>-neutraliteit, echter hoeft dit niet te betekenen dat het bedrijf energieneutraal is (bijvoorbeeld meer productie van zonne-energie dan op het bedrijf kan worden gebruikt, maar wel gebruik van andere energiedragers).



**Figuur 7** CO<sub>2</sub> reductie potentieel wordt in het dartboard aangegeven met ingekleurde ringen per segment. Elke ring heeft circa 10% reductiepotentieel weer. De groene kleur van de ingevulde ringen geeft de investeringskosten per ton gereduceerde CO<sub>2</sub> emissie weer en de blauwe kleur staat voor de terugverdientijd.

De groene kleurtinten waarmee de segmenten zijn ingekleurd staan voor de kosteneffectiviteit (€/ton gereduceerd CO<sub>2</sub>, zie Figuur 7). De kosteneffectiviteit is ingeschat aan de hand van de investeringen, vermeden kosten en het CO<sub>2</sub> reductie potentieel van de individuele maatregel (Formule 1). Deze formule is kwantitatief gebruikt om aan de hand van gegevens uit literatuur, de KWIN veehouderij (KWIN, 2022) en informatie van internetwebsites zoals van Milieu Centraal een eerste inschatting te maken (voor enkele aannames zie Tabel 2). Tijdens de workshops is de formule kwantitatief gebruikt om de kosteneffectiviteit te valideren. Bijvoorbeeld als een maatregel een hoge investering vraagt en de CO<sub>2</sub> reductie laag is, dan is de kosteneffectiviteit ook laag.

De tweede kleurenschaal (blauw) geeft de terugverdientijd in jaren weer. De terugverdientijd is ingeschat op basis van de investeringen en daarmee gepaarde afschrijving en de jaaropbrengsten.

**Tabel 2** Enkele aannames voor de berekening/inschatting van het CO<sub>2</sub> reductiepotentieel, de kosteneffectiviteit en de terugverdientijd.

Energiedragers	Prijs (€)	CO <sub>2</sub> (kg)
Gas (1 m <sup>3</sup> )	1,80	0,75
Stroom (1 kWh)	0,65	0,15
Groene stroom (1 kWh)	0,04	0,015
	Vleesvarkensbedrijf	Vermeerderingsbedrijf
Gasverbruik (m <sup>3</sup> )	3.300	17.100
Stroomverbruik (kWh)	77.400	194.900
Energieverdeling (van totaal energieverbruik)		
• Ventilatie	90%	30%
• Verlichting	10%	10%
• Verwarming	0%	60%
Aantal dieren per bedrijf	2.550	400

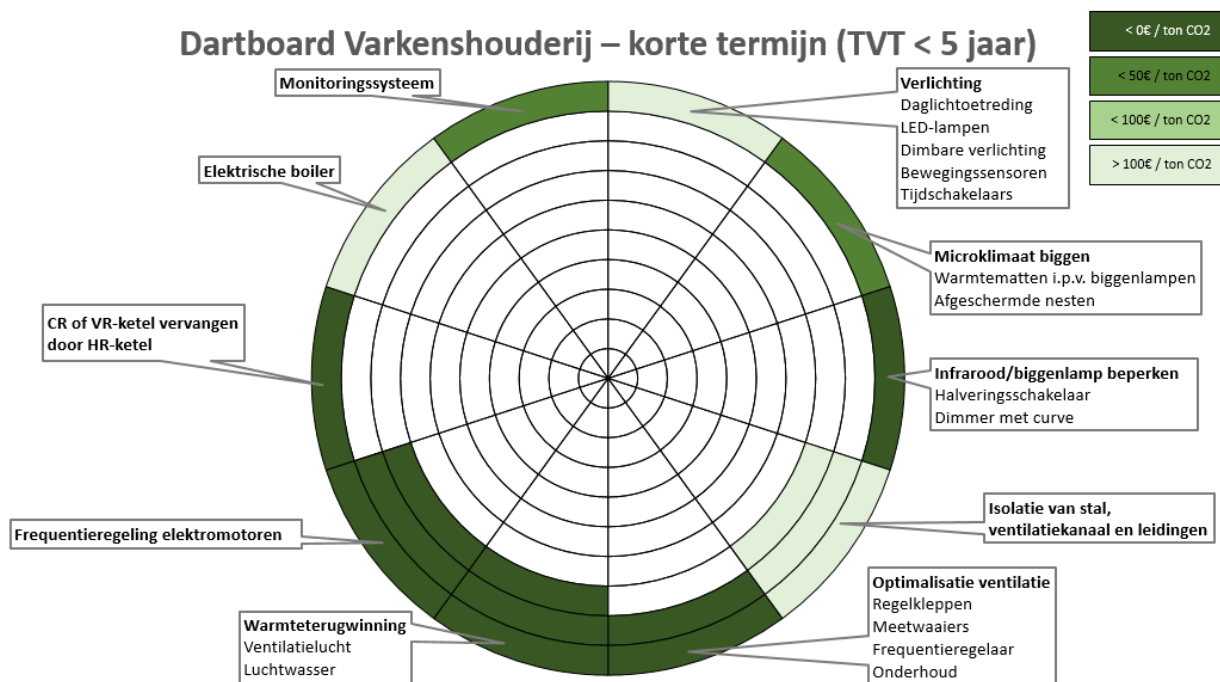
In dit onderzoek zijn drie opportunity dartboards voor de varkenshouderij opgesteld; één dartboard met maatregelen voor de korte termijn (terugverdientijd minder dan 5 jaar) en twee dartboards met maatregelen voor de middellange termijn, waarvan één dartboard met praktijkrijpe maatregelen die direct toegepast zouden kunnen worden op een bestaand varkensbedrijf en één dartboard met perspectievolle maatregelen die nog verder ontwikkeld moeten worden of pas mogelijk zijn bij nieuwbouw (Tabel 3).

**Tabel 3** Maatregelen per dartboard. De maatregelen zijn uitgebreid beschreven in Hoofdstuk 3.

Korte termijn	Middellange termijn, praktijkrijp	Middellange termijn, niet-praktijkrijp
Verlichting	Zonnepanelen	Opslag van energie
Microklimaat biggen	Zonneboilers	Elektrificeren
Infrarood/biggenlamp beperken	Warmtepomp (lucht)	Warmtepomp (bodem)
Isolatie van stal, ventilatiekanaal en leidingen	Windturbine	Energie uit urine
Optimalisatie ventilatie	Mestvergisting – WKK	PVT panelen
Warmteterugwinning	Mestvergisting – groen gas	Isolatie met biobased materialen
Frequentieregeling elektromotoren	Energieopslag in accu	Waterstofpanelen
CR of VR ketel vervangen door HR ketel	Warmte-koude opslag	Zonnewanden
Elektrische boiler	Mest composteren	Mestkoeling met warmteterugwinning
Monitoringssysteem	Biomassaketel met afvalproducten	Waterstof productie

## 4.1 Korte termijn

Uit het dartboard met maatregelen voor de korte termijn (Figuur 8) is op te maken dat warmteterugwinning uit ventilatielucht of lucht uit de luchtwasser en het gebruik van frequentieregeling van elektromotoren zowel het meeste CO<sub>2</sub> reductiepotentieel hebben en de hoogste kosteneffectiviteit op basis van CO<sub>2</sub> reductie. Isolatie van stal, het ventilatiekanaal en leidingen leidt tot hetzelfde reductiepotentieel, echter is deze maatregel minder kosteneffectief. Optimalisatie van de ventilatie heeft een lager reductiepotentieel, echter een hoge kosteneffectiviteit. De overige maatregelen hebben weinig CO<sub>2</sub> reductiepotentieel (10% of minder) en alleen het beperken van de infraroodverwarming of biggenlampen heeft een hoge kosteneffectiviteit. Ook al hebben niet alle maatregelen een hoge kosteneffectiviteit op basis van CO<sub>2</sub> reductie. Alle maatregelen in dit dartboard hebben een terugverdientijd van minder dan 5 jaar, waardoor dit laaghangende fruit relatief eenvoudig toe te passen is en snel is terugverdiend.



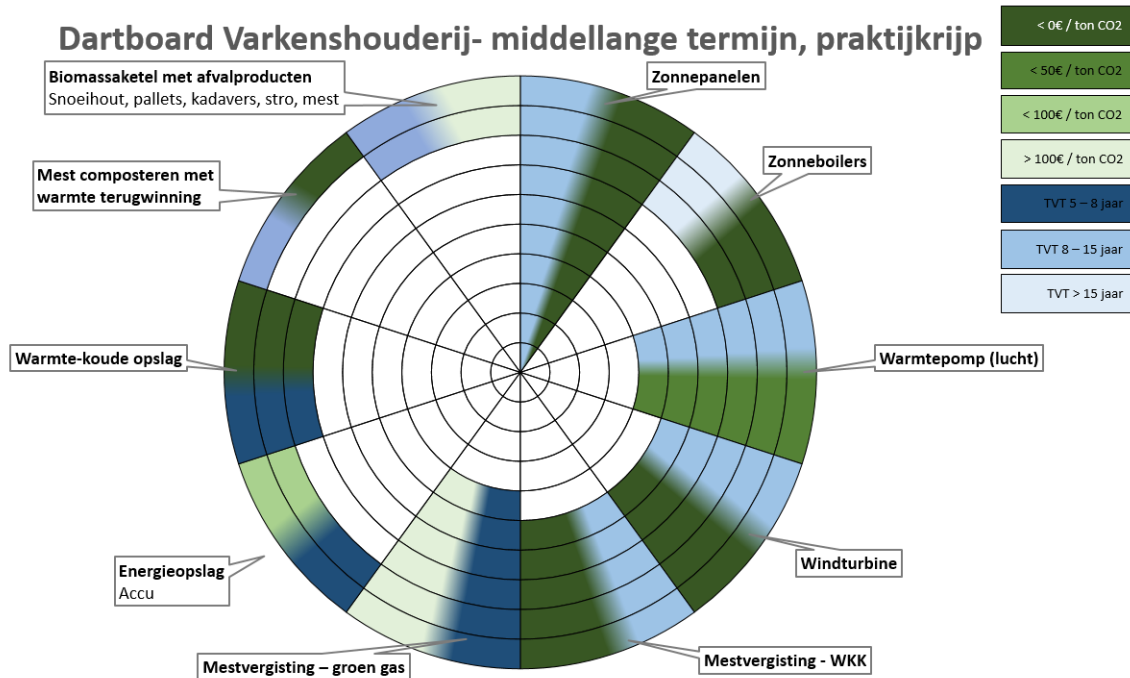
**Figuur 8** *Dartboard energiebesparingsmogelijkheden voor de varkenshouderij op korte termijn. De getoonde maatregelen hebben allen een terugverdientijd van 5 jaar of minder. Elke ingekleurde ring staat voor 10% CO<sub>2</sub> reductiepotentieel t.o.v. de referentie zonder maatregel en de kleurschaal staat voor de kosteneffectiviteit (€/ton gereduceerde CO<sub>2</sub>). Het betreft individuele maatregelen en de maatregelen zoals weergegeven in het dartboard kunnen niet worden opgeteld.*

## 4.2 Middellange termijn, praktijkrijp

Uit het dartboard met praktijkrijpe maatregelen voor de middellange termijn (Figuur 9) is op te maken dat door installatie van zonnepanelen 100% CO<sub>2</sub> reductie behaald kan worden. Hiermee kan niet het energieverbruik van gas en diesel worden vervangen, maar deze CO<sub>2</sub> uitstoot kan wel gecompenseerd worden met de overproductie aan zonne-energie. Het is echter wel afhankelijk van de capaciteit van het elektriciteitsnet of deze energie ook kan worden terug-geleverd. Deze maatregel is kosteneffectief en heeft een gemiddelde terugverdientijd (8 tot 15 jaar).

Ook mestvergisting en groengas productie en een (lucht)warmtepomp hebben een hoog CO<sub>2</sub> reductiepotentieel (60%), maar de kosteneffectiviteit ligt wat lager. Mestvergisting met WKK en windturbines hebben een lager CO<sub>2</sub> reductiepotentieel vergeleken met de eerste genoemde maatregelen, maar de kosteneffectiviteit is laag en de terugverdientijd gemiddeld (8 – 15 jaar). Warmte-koude opslag en energieopslag in accu's heeft een CO<sub>2</sub> reductiepotentieel van respectievelijk 30% en 20% en beide maatregelen zijn snel terug te verdienen (5 – 8 jaar). Warmte-koude opslag heeft daarnaast ook een hoge kosteneffectiviteit. Zonneboilers hebben 30% CO<sub>2</sub> reductiepotentieel en een hoge kosteneffectiviteit, echter is de terugverdientijd meer dan 15 jaar. Mest composteren met warmteterugwinning heeft een CO<sub>2</sub> reductiepotentieel van 10% en een biomassaketel met afvalproducten van 20% en beide maatregelen hebben een gemiddelde terugverdientijd (8 – 15 jaar). De biomassaketel met afvalproducten heeft alleen wel een lage kosteneffectiviteit.



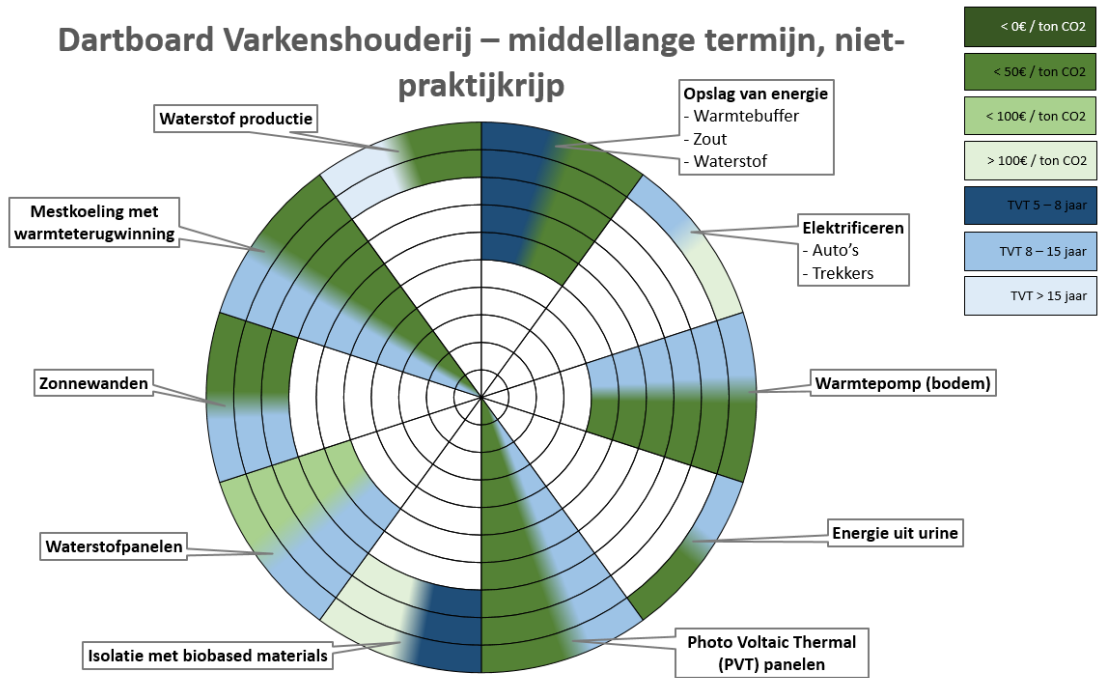


**Figuur 9** *Dartboard met energiebesparingsmogelijkheden voor de varkenshouderij op middellange termijn, welke praktischrijp zijn. Elke ingekleurde ring staat voor 10% CO<sub>2</sub> reductiepotentieel t.o.v. de referentie zonder maatregel, de groene kleuren staan voor de kosteneffectiviteit (€/ton gereduceerd CO<sub>2</sub>) en de blauwe kleuren voor de terugverdientijd. Het betreft individuele maatregelen en de maatregelen zoals weergegeven in het dartboard kunnen niet worden opgeteld.*

### 4.3 Middellange termijn, niet-praktijkrijp

Uit het dartboard met niet-praktijkrijpe maatregelen voor de middellange termijn (Figuur 10) is op te maken dat het koelen van mest met warmteterugwinning 100% CO<sub>2</sub> reductiepotentieel heeft, doordat naast besparing in energie door warmteterugwinning ook methaanemissies worden verminderd. Ook gebruik van PVT panelen heeft een CO<sub>2</sub> reductiepotentieel van 100% en beide maatregelen zijn redelijk kosteneffectief en hebben een gemiddelde terugverdientijd (8 – 15 jaar). Opslag van energie, (bodem)warmtepomp en waterstofpanelen zijn maatregelen met 60% CO<sub>2</sub> reductiepotentieel en hebben een korte tot gemiddelde terugverdientijd. Waterstofproductie heeft 20% CO<sub>2</sub> reductiepotentieel en een terugverdientijd van meer dan 15 jaar. Alleen waterstofpanelen hebben een lagere kosteneffectiviteit vergeleken met opslag van energie, (bodem)warmtepomp en waterstofproductie. Zonnepanelen hebben een CO<sub>2</sub> reductiepotentieel van 30%, een gemiddelde terugverdientijd en hoge kosteneffectiviteit. Het CO<sub>2</sub> reductiepotentieel van isolatie met biobased materialen is vergelijkbaar met isolatie met 'normale' materialen, omdat alleen de CO<sub>2</sub> reductie met betrekking tot energie is meegenomen. Elektrificeren en energieproductie uit urine hebben een laag CO<sub>2</sub> reductiepotentieel, maar wel een korte tot gemiddelde terugverdientijd. Energie productie uit urine heeft een hoge kosteneffectiviteit, maar elektrificeren en isoleren met biobased materialen hebben een lagere kosteneffectiviteit.

## Dartboard Varkenshouderij – middellange termijn, niet-praktijkrijp



**Figuur 10** Dartboard met energiebesparingsmogelijkheden voor de varkenshouderij op middellange termijn, welke nog niet praktisch zijn. Elke ingekleurde ring staat voor 10% CO<sub>2</sub> reductiepotentieel t.o.v. de referentie zonder maatregel, de groene kleuren staan voor de kosteneffectiviteit (€/ton gereduceerd CO<sub>2</sub>) en de blauwe kleuren voor de terugverdientijd. Het betreft individuele maatregelen en de maatregelen zoals weergegeven in het dartboard kunnen niet worden opgeteld.

---

## 5 Discussie en vervolgonderzoek

In Hoofdstuk 2 van deze rapportage is gepoogd om in kaart te brengen hoeveel energie in de varkensproductieketen wordt gebruikt en wat de bijdrage van verschillende energiedragers (elektriciteit, gas, diesel) per activiteit of schakel in de keten is. Recente getallen (bijvoorbeeld uit monitoring van het energieverbruik van verschillende schakels in de varkenshouderijketen) ontbreken en daarnaast is er veel variatie tussen individuele bedrijven, afhankelijk van de mate van automatisering, gebruik van nieuwe technieken en verduurzaming, leeftijd van het gebouw en de staat van de isolatie. Hierdoor is het moeilijk om in te schatten hoeveel energie de verschillende activiteiten op een varkensbedrijf gebruiken en welke energiedragers worden ingezet. Dit heeft vervolgens ook weer invloed op het effect van de energiebesparingsmogelijkheden. Om een reëel beeld van het energiegebruik op een varkensbedrijf te krijgen, wordt aanbevolen om in de praktijk, per activiteit, het energiegebruik eenduidig te monitoren.

De dartboards die tijdens dit onderzoek zijn opgesteld geven individuele maatregelen aan. Deze maatregelen, zoals ze in het dartboard zijn weergegeven, zijn niet één op één op te tellen. Zo is het reductiepotentieel in het dartboard ingedeeld in ringen van 10%. Een enkele ingekleurde ring geeft in het dartboard 10% reductiepotentieel ten opzichte van de referentie zonder maatregel weer, maar deze reductie kan tussen 1 en 10% liggen. Hierdoor lijkt het dat door drie maatregelen met één ingekleurde ring te combineren, 30% reductie potentieel gehaald kan worden. Echter kan dit een vertekend beeld geven, wanneer een ingekleurde ring niet voor de volledige 10% geldt. Daarnaast zijn de weergegeven reductiepotentiëlen slechts inschattingen en kan dit per situatie verschillen. De dartboards zijn daarom een kwalitatieve tool, waarmee visueel een eerste indruk gegeven kan worden van het CO<sub>2</sub> reductiepotentieel, de kosteneffectiviteit en de terugverdientijd van verschillende individuele maatregelen.

De kosteneffectiviteit en terugverdientijd van de maatregelen zijn sterk afhankelijk van de prijzen voor gas en stroom. Wanneer de energieprijzen stijgt, kunnen maatregelen waarbij energie wordt bespaard sneller uit. Andersom, wanneer de energieprijzen daalt, duurt het langer voordat een bepaalde investering terugverdiend kan worden. In dit onderzoek is gerekend met een gemiddelde energieprijzen, waardoor de kosteneffectiviteit en terugverdientijd anders uit kunnen vallen in de realiteit. Daarnaast is het niet altijd duidelijk welk energiegebruik toegewezen kan worden aan het varkenshouderijbedrijf en dus welke vermeden kosten ook aan dit bedrijf toegerekend mogen worden, bijvoorbeeld transport van voer of dieren en vermeden energieproductie door een overproductie op het bedrijf zelf. Naast dat deze maatregelen kosten besparen en bijdragen aan de duurzaamheid van de varkenshouderij, wordt de varkenshouder door deze maatregelen minder beïnvloedbaar door wisselende energieprijzen, doordat het bedrijf meer zelfvoorzienend wordt. Dit is een eerste stap in de richting van de ambitie van de PPS Vitale Varkenshouderij om te werken aan een energieleverende varkenshouderij.

De dartboards geven inzicht in het effect van maatregelen op een algemeen, gemiddeld varkensbedrijf. Hierin wordt geen onderscheid gemaakt tussen vleesvarkens- en vermeerderingsbedrijven. Wel kan een varkenshouder het dartboard gebruiken om potentie van verschillende maatregelen te bekijken en zo inzichtelijk te krijgen wat mogelijk nog op zijn bedrijf kan worden toegepast. In een volgende rapportage zullen perspectievolle combinaties modelmatig worden doorgerekend. Voorbeelden van perspectievolle combinaties zijn: zonnepanelen met energieopslag, mest vergisting met dagontmesting, stalkoeling of een warmtepomp met eventuele warmteterugwinning uit een luchtwasser. In dit vervolgonderzoek wordt ook het onderscheid tussen vleesvarkens- en vermeerderingsbedrijven, de gevoeligheid van energieprijzen en de invloed van verschillende (combinaties van) maatregelen op een individueel varkensbedrijf meegenomen.

Dit onderzoek is gefocust op maatregelen om energie te besparen en op te wekken op een varkenshouderijbedrijf. Naast mogelijkheden binnen de varkenshouderij zijn er waarschijnlijk ook mogelijkheden om energie uit te wisselen binnen de gehele varkensproductieketen, zoals energieproductie op een varkensbedrijf, wat vervolgens op het mengvoerbedrijf of slachterij gebruikt kan worden als energiebron. In een vervolgonderzoek zal verder op deze mogelijke uitwisselingen worden ingegaan.

---

# Literatuur

- Aarnink, A., de Groot, J., Ogink, N., 2019. Brongerichte maatregelen voor beperking emissies uit bestaande varkensstallen. Wageningen Livestock Research, Wageningen. Rapport 1205.
- Acevedo, R., 2017. Transitioning Minnesota farms to local energy. University of Minnesota West Central Research & Outreach Center, Morris (Verenigde Staten).
- Agrimatie, 2021. BINternet - Energie: kosten en verbruik. <https://www.agrimatie.nl/>. Geraadpleegd op 07-04-2023.
- Agrimatie, 2022a. Varkenshouderij - Keten in beeld – Structuur van de keten. <https://www.agrimatie.nl/>. Geraadpleegd op 07-04-2023.
- Agrimatie, 2022b. Varkenshouderij - Economisch resultaat - Structuur volgens het Informatienet. <https://www.agrimatie.nl/>. Geraadpleegd op 07-04-2023.
- Agrimatie, 2022c. Varkenshouderij - Energie - Energiegebruik en efficiëntie. <https://www.agrimatie.nl/>. Geraadpleegd op 07-04-2023.
- ASG, 2012. Energiebesparing varkens: ventilator zuinigst te sturen met frequentieregelaar. Animal Science Group Wageningen UR, Business Unit Veehouderij. Lelystad
- Beshada, E., Zhang, Q., Boris, R., 2014. Energy consumption of heat pads and heat lamps and aerial environment in a commercial swine farrowing facility. Canadian Biosystems Engineering 56.
- Besluit houders van dieren, (2014). <https://wetten.overheid.nl/BWBR0035217/2023-07-01>, geraadpleegd op 03-07-2023
- Biewenga, G., Dooren, H.J.v., 2007. Mestvergisting op het veehouderijbedrijf. Animal Sciences Group, Lelystad.
- Boerderij, 2021. Steeds meer techniek voor microklimaat in kraamstal, Varkens, achtergrond, René Stevens, 12 maart 2021, <https://www.boerderij.nl/>, geraadpleegd op 19-07-2022
- Boerderij, 2022. Uitgelicht: efficiënt omgaan met energie door accupakket voor zonnepanelen, rundvee, video, 18 juli 2022, <https://boerderij.nl/>, geraadpleegd op 19-07-2022
- Buissonjé, F.d., Verheijen, R., 2014. Drijfmest verliest snel zijn waarde voor biogas. V-focus, april.
- Cardellichio, P., A. Colnes, J. Gunn, B. Kittler, R. Perschel, C. Recchia, D. Saah, T. Walker, 2010. Massachusetts Biomass Sustainability and Carbon Policy Study: Report to the Commonwealth of Massachusetts Department of Energy Resources. Natural Capital Initiative Report NCI-2010- 03, Maine
- CBS, 2022. Veehouderijsectoren per provincie 2010 - 2021. <https://www.cbs.nl/>. Geraadpleegd op 07-04-2023.
- de Leeuw, M., van Wagenberg, V., 2002. Zonne-energie is bruikbaar, verwarmen van brijvoer als nieuwe toepassing. PraktijkKompas Varkens (september), Lelystad.
- Dehens, J., Kruit, K., 2020. Verkennend onderzoek zonthermie Zuid-Holland. CE Delft, Delft. Publicatienummer: 20.200260.148.
- de Jong, J.R., L. Garau Contreras, M. Gysen. 2018. Enhancing production and use of renewable energy on the farm, MINIPAPER: "Solar and wind combined with energy storage". EIP-AGRI Focus Group
- den Brok, G.M., Verdoes, N., 1996. Effect van mestkoeling op ammoniakemissie uit een vleesvarkensstal. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen.
- Derden, A., Schrijvers, J., Suijkerbuijk, M., Meulebroecke, A.v.d., Vercaemst, P., Dijkmans, R., 2003. Best Beschikbare Technieken (BBT) voor de slachthuissector. Kenniscentrum voor Best Beschikbare Technieken, Mol (België).
- Detz, R.J., T.C. Hajonides van der Meulen, S. Lamboo, M. Weeda, 2021. Ontwikkeling productiekosten klimaatvriendelijke waterstof, TNO rapport 2022 P10332
- DLV-advies, 2015. Energieverbruik tussen varkensbedrijven verschilt sterk. <https://www.dlvadvies.nl/nieuws/>. Geraadpleegd op 13-10-2021.
- Du, J., R. Noguchi, T. Ahmend, 2018. Feasibility Study of Motor Powered Agricultural Tractors Based on Physical and Mechanical Properties of Energy Sources. Agricultural Information Research 27(2), pp14-27. <https://doi.org/10.3173/air.27.14>
- Ellen, H.H., Verstappen-Boerekamp, J.A.M., Timmerman, M., 2010. Zonnepanelen - Warmteterugwinning. Wageningen UR Livestock Research, Wageningen.

- 
- Ellen, H.H., Jansen, J., Smit, A., Vermeij, I., 2014. Nevenvoordelen duurzame stalconcepten. Wageningen UR Livestock Research, Wageningen.
- Gerber, P.J., H. Steinfeld, B. Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Falcucci, G. Tempio, 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome
- Goens Johan, 2022. Buffervaten – energiebuffer. <https://www.goensjohan.be/>. Geraadpleegd op 07-10-2022
- Groenestein, C.M., van Wagenberg, V., Mosquera, J., 2005. Methaanemissie uit vleesvarkensstallen: ontwikkeling meetprotocol en plan van aanpak voor het meten van het effect van mestkoelen in de praktijk. Agrotechnology & Food Innovations B.V., Wageningen.
- Herrando, M., C. N. Markides, 2016. Hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heat and power provision in the UK: Techno-economic considerations. Applied Energy 161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.025>
- Huffman, H., 2011. Ventilation management. London Swine Conference – Exploring the Future, London (Engeland).
- InfoMil, 2016. Lucht – Activiteiten – Diervoederindustrie - Procesbeschrijving. Kenniscentrum InfoMil, Rijkswaterstaat, <https://www.infomil.nl/rijkswaterstaat/infomil/>. Geraadpleegd op 28-10-2021.
- Inno+, 2021a. Producten - Triple EEE warmteterugwinning voor stallen. <https://inno-plussystems.com/nl/>. Geraadpleegd op 09-12-2021.
- Inno+, 2021b. New livestock cooling concept of Inno+. <https://inno-plussystems.com/>. Geraadpleegd op 14-12-2021.
- Inno+, 2021c. Droge koeling in berenstallen – rendement op investering 2 jaar. <https://inno-plussystems.com/>. Geraadpleegd op 14-12-2021.
- IRENA (n.d.) Energy-transition, technology, Hydrogen: overview. <https://www.irena.org/>. Geraadpleegd op 12-05-2023
- IRENA (2019) Renewable power-to-hydrogen; innovation landscape brief. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi
- Jacobson, L.D., 2011. Energy and ventilation management issues in U.S. pig buildings. London Swine Conference – Exploring the Future, London (Engeland).
- Kant, K., R. Pitchumani (2022) Advances and opportunities in thermochemical heat storage systems for buildings applications. Applied Energy 321. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119299>
- Kasper, G., Ellen, H.H., 2014. EnerVatiestal: energiebesparende en - opwekkende technieken. Wageningen UR Livestock Research, Wageningen. Rapport 775.
- Kiwatt, 2022. Slimme buffer voor bedrijven, powerpack. <https://www.kiwatt.nl/powerpack/>, geraadpleegd op 19-07-2022
- Kool, A., H. Blonk, T. Ponsioen, W. Sukkel, H. Vermeer, J. de Vries, R. Hoste (2009) Carbon footprints of conventional and organic pork; assessment of typical production systems in the Netherlands, Denmark, England and Germany. Blonk Milieu Advies B.V., Gouda
- KWIN, 2022. Handboek Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2022-2023, Wageningen Livestock Research
- Kramer, K.J., Hoste, R., Dooren, H.J.v., 2006. Energie in de varkensketen. LEI, P-ASG, Wageningen UR, Wageningen.
- Lane, K., 2019. Heat lamps and heat mats in the farrowing house: effect on piglet production, piglet and sow behavior and energy usage Animal Science. Iowa Stae University, Iowa.
- Material District, 2022. Insulation made of cow manure. <https://materialdistrict.com/>. Geraadpleegd op 07-10-2022
- Marcon, M., 2009. Energy consumption in livestock housing (pigs). European Forum Livestock housing for the future, Lille (Frankrijk).
- Melse, R.W., J.M.G. Hol, J. Mosquera, G.M. Nijeboer, J.W.H. Huis in 't Veld, T.G. van Hattum, R.K. Kwikkel, F. Dousma, N.W.M. Ogink, 2011. Monitoringsprogramma experimentele gecombineerde luchtwassers op veehouderijbedrijven, Wageningen Livestock Research rapport 380
- Milieucentraal, 2021. Energie besparen - Duurzaam warm water - Zonneboiler. <https://www.milieucentraal.nl/>. Geraadpleegd: 03-12-2021.
- Moerkerken, A., Gerlagh, T., Jong, G.d., Verhoog, D., 2014. Energie en klimaat in de Agrosectoren. Rijksdienst voor ondernemend Nederland, Utrecht. Publicatienummer: ZAGRO1406.
- NationalHogFarmer, 2007. Solar walls save money. <https://www.nationalhogfarmer.com/>. Geraadpleegd op 14-12-2021.

- 
- Nevedi, 2012. Deel Energie-Efficiencyplan 2011 Coöperatie "De Valk Wekerom". Koplopersgroep Nevedi, Lunteren.
- Nevedi, 2019. Grondstoffenwijzer editie 3, diervoeders voor een circulaire voedselproductie. Nevedi, Rijswijk.
- Nieuwland, J.C.W., Pol, M.L.v.d., Petraeus, J.J., 2002. Duurzame (voedsel-) ketens en energiebesparing (DKE), Rapport "Pre-pilot onderzoek naar energiebesparing in de varkensvleesketen". Nederlandse organisatie voor energie en milieu, Utrecht.
- Nieuwe Oogst, 2022a. Boer kan telen voor de bouw. <https://www.nieuweoogst.nl/>, geraadpleegd op 24-07-2022
- Nieuwe Oogst, 2022b. Start-up geeft mest bestemming als bouw materiaal. <https://www.nieuweoogst.nl/>, geraadpleegd op 24-07-2022
- Nijdam, D., T. Rood, H. Westhoek (2012) The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. Food Policy 37(6), pp760-770. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.08.002>
- Peta Watts, 2023, Peta Watts (em)power your company, <https://petawatts.nl/>, geraadpleegd op 03-03-2023
- Puente-Rodríguez, D., A.P. Bos, J. Vonk, 2023. Milieutechnologieën in de melkveehouderij tegen klimaatverandering; Testen en bemeten van (bijna) praktijkrijpe combinaties van technieken om methaanemissie uit mest in bestaande melkveestallen te verminderen. Wageningen Livestock Research, Rapport 1419.
- Redecker, M.A., Thoben, K.D., 2012. An approach for energy saving in the compound feed production. Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services, Rhodos (Griekenland).
- Roofclix, 2022. Een revolutie in dakisolatie, alle voordelen op een rij. <https://www.roofclix.com>, geraadpleegd op 19-07-2022
- Rougoor, C., Mul, M., van der Schans, F., 2021. Kansen, kosten en draagvlak van klimaatmaatregelen in de varkenshouderij. CLM Onderzoek en advies, Culemborg. CLM-1075.
- RVO, 2016. Tijdelijke metingen ter verbetering van energiemonitoring en daarmee energiezorg, effectief benutten van onzichtbaar besparingspotentieel, Rijksdienst voor ondernemend Nederland, Den Haag
- RVO, 2017. Energieregistratie- en bewakingssysteem (EBS), Rijksdienst voor ondernemend Nederland, Den Haag, <http://www.RVO.nl/>, geraadpleegd op 19-07-2022
- RVO, 2022. Investment subsidy for sustainable energy and energy saving (ISDE). <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/isde>, geraadpleegd op 25-07-2022
- SAVE. 2018. Slim aansturen van elektriciteit, Varkensbedrijven. VLAIO-VIS-project SAVE Slim Aansturen Van Elektriciteit (2014 – 2018). Vlaanderen.
- Schröder, J., Buissonjé, F.d., Kasper, G., Verdoes, N., Verloop, K., 2009. Mestscheiding: relaties tussen techniek, kosten, milieu en landbouwkundige waarde. Plant Research International B.V, Wageningen.
- Solarwall, 2021. Industries - Livestock - Solar Heated Animal Barns. <https://www.solarwall.com/>. Geraadpleegd op 14-12-2021.
- Solhyd, 2021. Waterstof zonnepaneel als commercieel product komt in zicht. The Solhyd project, Heverlee. <https://solhyd.org/nl/>. Geraadpleegd op 20-05-2022.
- Spackman, P. 2017. New storage technology offers farmers a battery alternative. Farmers weekly. November 2017. <https://www.fwi.co.uk/>. Geraadpleegd op 20-05-2022.
- Spruijt, J., Terbijhe, A., 2016. Perspectief zonnestroom in de agrarische sector. ACRES, Wageningen.
- Stimular, 2020a. Gasgestookte HR-ketel i.p.v. conventionele ketel of VR-ketel. <https://www.stimular.nl/maatregelen/hr-ketel/>. Geraadpleegd op 20-04-2023
- Stimular, 2020b. Registreer en analyseer energieverbruik (Energiebeheersysteem, EBS). <https://www.stimular.nl/>, geraadpleegd op 19-07-2022
- Stinn, J.P., Xin, H., 2014. Heat Lamp vs. Heat Mat as Localized Heat Source in Swine Farrowing Crate. Iowa State University Animal Industry Report 11.
- Tallaksen, J., Johnston, L., Sharpe, K., Reese, M., Buchanan, E., 2020. Reducing life cycle fossil energy and greenhouse gas emissions for Midwest swine production systems. Journal of Cleaner Production 246.
- TNO, 2020. Dé compacte warmtebatterij voor energieopslag thuis. <https://www.tno.nl/>, geraadpleegd op 08-08-2022
- TripleSolar, 2022. Introductie van Triple Solar. <https://triplesolar.eu/>, geraadpleegd op 25-07-2022
- Tu Delft, 2020. Energie krijgen van urine. <https://www.tudelft.nl/>, geraadpleegd op 24-07-2022
- van 't Klooster, C.E., Hendriks, H.J.M., Henken, A.M., van 't Ooster, A., Ouwerkerk, E.N.J., Scheepens, C.J.M., van der Voorst, L., 1989. Klimaatsnormen voor mestvarkens. 3.

- 
- van Dam, J., M. van den Oever, 2019. Catalogus biobased bouwmaterialen 2019: het groene en circulaire bouwen. Wageningen Food & Biobased Research. Wageningen
- van der Voort, M., Luske, B., 2009. Energie en broeikasgasemissies in de keten, Quick Scan energie en broeikasgasemissies, supermarkt vs. webwinkel. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen.
- van der Wal, S., 2021. Wood pellet damage, How Dutch government subsidies for Estonian biomass aggravate the biodiversity and climate crisis. Stichting Onderzoek Multinationale Ondernemingen. Amsterdam
- Varkens.nl, 2018. Varkensmest drogen in tunnels biedt kansen. <https://www.varkens.nl/>. Geraadpleegd op 13-12-2021.
- Verdoes, N., Maasdam, R., Melse, R., van Gastel, J., Gollenbeek, L., Busmann, P., Schellekens, J., Roefs, J., 2021. Overzicht en beoordeling van technologie voor verwaarden van mest. Wageningen Livestock Research, Wageningen. Rapport 1290.
- Visser, A., Bos, B., Gollenbeek, L., Michels, G., Stortelder, J., Veefkind, W., Voort, M.v.d., 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. Wageningen Research, Wageningen. rapport WPR-842.
- Winkel, A., Bokma, S., 2011. Adviezen voor daglicht in varkensstallen. V-focus, juni.
- Winkel, A., Ellen, H.H., 2014. Zo bespaart u elektriciteit met stalverlichting. Agro Techniek Holland, Biddinghuizen.
- WUR, 2010. Handboek varkenshouderij. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Zhao, W., Wang, M., Li, H., Li, G., Shi, Z., 2020. Field Test and Economic Analysis of Energy-Saving Renovation for an Old Nursery Pig Building in Beijing, China. Applied Engineering in Agriculture 35, 619-628.
- Zhang, B., S. Zhang, R. Yao, Y. Wu, J. Qiu (2021) Progress and prospects of hydrogen production: Opportunities and challenges. Journal of Electronic Science and Technology 19(2). <https://doi.org/10.1016/j.jnlest.2021.100080>

---

# Bijlage 1 Deelnemers en uitkomsten workshops

## **Workshop 1 (klankbordgroep)**

### Aanwezig:

Nico Verdoes (WLR)	Ton Korven (ZLTO)	Jan Schellekens (Exlan Advies)
Emma van Boxmeer (WLR)	Kees Janssen (Agra-Matic)	Cees van den Broek (POV)
Paria Sefeedpari (WLR)		

In deze workshop hebben alle deelnemers van de klankbordgroep in een korte presentatie aangegeven welke mogelijkheden, kansen en perspectieven zij zien voor het besparen en opwekken van energie. Er werd vooral benadrukt dat individuele maatregelen niet altijd effectief zijn, maar juist combinaties van verschillende maatregelen kunnen leiden tot grote verschillen. Bijvoorbeeld het combineren van een warmtepomp met zonnepanelen (oost/west ligging), dagontmesting met mono-mestvergisten en opslag van zonne- en windenergie in batterijen. Ook werden brongerichte stalmaatregelen en manieren om stallen te koelen benoemd, omdat zij het klimaat in de stal verbeteren, wat resulteert in minder energieverbruik en minder emissies. Veel besparingsmaatregelen zijn laaghangend fruit en staan op de EML-lijst. Een overschot aan geproduceerde energie zou niet terug geleverd moeten worden aan het net, maar dient op een andere manier op het bedrijf zelf gebruikt te worden. Hieruit ontstonden ideeën om, naast slim energiegebruik op het bedrijf zelf, ook energie uit te wisselen tussen verschillende schakels in de keten, zoals het omzetten van energie in waterstof met elektrolyse of het opslaan van bijvoorbeeld groen gas zodat slachterijen of mengvoerbedrijven dit kunnen gebruiken. Als laatste werd de opmerking gemaakt dat momenteel alles subsidie-gedreven is, maar dat dit ook zonder subsidies mogelijk zou moeten zijn. Tijdens deze workshop is besloten om niet één maar drie dartboards in te vullen: 1) laaghangend fruit mogelijkheden met een korte terugverdientijd (minder dan 5 jaar) aan de hand van de EML-lijst, 2) mogelijkheden die momenteel al praktijkrijp zijn met een langere terugverdientijd (middellange termijn) en 3) mogelijkheden die perspectiefvol zijn, maar momenteel nog niet praktijkrijp zijn met waarschijnlijk een langere terugverdientijd (middellange termijn).

## **Workshop 2**

### Aanwezig:

Nico Verdoes (WLR)	Xander Pieterse (FME)	Hendry van Ittersum (Stimuland)
Emma van Boxmeer (WLR)	Andries Visser (WPR)	Henk Roefs (voormalig varkenshouder)
Paria Sefeedpari (WLR)	Gerard Migchels (WLR)	Robin Schapelhouman (LTO Noord)
Cees van den Broek (POV)	Luuk Gollenbeek (WLR)	Mark Vossen (varkenshouder)

De workshop is gestart met een rondvraag naar het varkensbedrijf van de toekomst. Tijdens deze ronde zijn veel combinaties ter sprake gekomen, welke verder worden uitgewerkt in een volgende rapportage. Verder is het dartboard met korte termijn maatregelen gevalideerd bij de deelnemers en zijn kleine aanpassingen gedaan op basis van ervaringen van de deelnemers.

Het hoofddoel van workshop 2 was het inventariseren van kansrijke energiemaatregelen. Deze maatregelen zijn opgehaald en opgedeeld in twee categorieën: praktijkrijp; maatregelen die direct toegepast kunnen worden op een bestaand varkensbedrijf en niet-praktijkrijp; maatregelen die nog verder ontwikkeld moeten worden en pas mogelijk zijn bij nieuwbouw. Deze maatregelen zijn vervolgens ingevuld in het dartboard en het CO<sub>2</sub> reductiepotentieel, de terugverdientijd en de kosteneffectiviteit zijn ingeschat. In verband met de tijd is het niet gelukt het dartboard in te vullen voor alle genoemde maatregelen.



---

#### Praktijkrijp:

- Zonnepanelen. Dak en erf maximaal volleggen met zonnepanelen en ook de warmte onder de panelen oogsten. Relatief lage investering en hoge CO<sub>2</sub> reductie, dus een hoge kosteneffectiviteit. Terugverdientijd 7 – 10 jaar en 100% of meer reductie is mogelijk.
- Zonneboiler. Om zonnewarmte op te vangen. Op grote schaal warmteproductie door boeren en consumptie door burgers.
- Mest drogen met piekstroom (of negatieve stroomprijzen). Een pluspunt is de toegevoegde waarde van het mestproduct. Lage kosteneffectiviteit, korte terugverdientijd, 30% reductiepotentieel.
- Kleine windmolens (5 – 10 op het erf). Om ook 's nachts en in de winter energie op te kunnen wekken. Hoge kosten, lage kosteneffectiviteit, lange terugverdientijd (> 20 jaar) en 50% reductiepotentieel.
- Nieuwe materialen, bijvoorbeeld roof clix.
- Composteren van dikke mestfractie om de warmte die ontstaat te kunnen hergebruiken. Terugverdientijd 5 – 8 jaar, reductiepotentieel is afhankelijk van de composteringstechniek.
- Geconditioneerde stal. Bijvoorbeeld door conditioneren van ingaande lucht, grondbuisventilatie (grondtemperatuur benutten), het creëren van een plaatselijk microklimaat in biggenest, zodat de warmte in het nest blijft. Temperatuur in de stal is ook belangrijk voor werking varkenstoilet. Van het creëren van een microklimaat wordt hetzelfde verwacht als bij het gebruik van biggenmatten.
- Monovergisting met dagontmesting om groen gas te produceren. Eventueel daarna indikken met piekstroom om mestvolume terug te brengen (nodig wanneer stallen gespoeld worden). Terugverdientijd meer dan 15 jaar, kosteneffectiviteit onbekend. Als er CO<sub>2</sub> waardering komt is deze maatregel sneller terug te verdienen.
- Niet tijdsgebonden processen afstemmen op energie productie
- Stof uit ventilatiekanaal toevoegen aan vergister
- Opslaan in accu's, nadeel is dat bij opslag en opnemen verlies optreedt. Hoe ouder de accu, hoe meer verlies.
- Overige: data-analyse (big data), energie als 2e tak, management, warmte oogsten en opslag om later zelf te gebruiken of aan derden te verkopen, energiehandel

#### Niet-praktijkrijp:

- Opslag van warmte in water (eco-vat) of in zouten. Terugverdientijd 5 – 8 jaar, CO<sub>2</sub> reductie hoog, kosteneffectiviteit gemiddeld.
- Energie uit urine/lucht: halen NH<sub>3</sub> en waterstof uit urine als energie (elektriciteit)(kan gekoppeld worden met zonne-energie) (elektrodialyse)
- Elektrificatie, kan op verschillende varianten: geëlektrificeerde landbouwmachines, trekkers, auto's. Geëlektrificeerde trekkers moeten nog worden ontwikkeld. Alleen werkt dit als er ook trekkers op het bedrijf aanwezig zijn. Dit zal erg verschillen tussen bedrijven. Eventueel samenwerking met loonbedrijf of akkerbouw. Terugverdientijd 8 – 15 jaar, 10% reductiepotentieel (afhankelijk van de schaal van toepassing) en lage kosteneffectiviteit.
- Energie uit emissiegassen in de stallen.
- Energie opslag als onbalans op te lossen (waterbuffer, waterstof, warmte opslag in zout-> verkopen aan lokale vragers)
- Dataopslag verspreiden over varkensbedrijven (een paar zeecontainers per varkensbedrijf), als dienst van de varkenshouderij.
- Warmtemuur, muur als warmtebuffer gebruiken. Muur wordt gedeeltelijk water en is goed geïsoleerd. In de winter wordt warmte afgegeven, eventueel omdraaien in de zomer.

---

# Bijlage 2 Erkende Maatregelen Lijsten energiebesparing (EML)

**EML versie 10 april 2020** n.a.v. wijzigingen gepubliceerd in de Staatscourant nr. 20349 (09-04-2020)

Gebouw:

- A. Isoleren van de gebouwschil (GA1 t/m GA6)
- B. Ventileren van een ruimte (GB1 t/m GB3)
- C. Verwarmen van een ruimte (GC1 t/m GC3)
- D. In werking hebben van een ruimte- en buitenverlichtingsinstallatie (GD1 t/ GD8)

Faciliteiten:

- A. In werking hebben van een stookinstallatie; emissies naar de lucht (FA1 t/m FA6)
- B. Warm tapwatervoorziening, niet zijnde stookinstallatie (FB1)
- C. In werking hebben van een koelinstallatie (FC1 t/m FC2)
- D. In werking hebben van productkoeling (FD1 t/m FD7)
- E. In werking hebben van elektromotoren (FE1 t/m FE2)
- F. In werking hebben van pompen (FF1)
- G. In werking hebben van een vacuümsysteem (FG1)

Processen:

- A. Het verwarmen van producten en of procesbaden (PA1)

## **GA1 Warmteverlies door lekkages in ventilatiekanaal bij een varkenshouderij beperken**

Luchtdicht maken van ventilatiekanalen

Technische randvoorwaarde: centraal ventilatiekanaal is aanwezig

## **GA2 Warmteverlies via vloer van een dierenverblijf beperken**

Vloeren van dierenverblijven isoleren als dit ontbreekt

## **GA3 Warmteverlies via buitenmuur van verwarmde dierenverblijven beperken**

Spouwmuren van dierenverblijven isoleren als dit ontbreekt.

## **GA4 Warmteverlies via schuin dak beperken**

Daken aan binnenzijde isoleren als dit ontbreekt

Technische randvoorwaarden: ruimte onder de schuine daken wordt verwarmd.

## **GA5 Warmte en/of koude verlies via transportdeur voor laden en lossen beperken**

- A) Geïsoleerde transportdeur toepassen
- B) Luchtkussens toepassen

Technische randvoorwaarde: ruimte wordt verwarmd tot boven de 10 °C.

Economische randvoorwaarde: aardgasverbruik is minder dan 1 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. In geval van luchtkussens, deur is dagelijks minimaal 4 uur open door laden en lossen

## **GA6 Warmte en/of koude verlies via openstaande deuren in de gevels beperken**

- A) Automatische en/of snel-sluitende bedrijfsdeuren toepassen  
Economische randvoorwaarde: handmatig bediende deur is per werkdag 1 uur extra te sluiten
- B) Loopdeuren toepassen voor personendoorgang vanuit verwarmde ruimten naar buiten of personen doorgang waarbij de gehele rol-, sectionaal- en/of kanteldeuren worden geopend.

## **GB1 Debiet van ventilator beperken**

- A) Frequentieregelaars voor ventilatoren voor ventilatie en circulatie
- B) Ethyleen gestuurde ventilatie met frequentieregelaars

Technische randvoorwaarde: klimaatcomputers zijn aanwezig

## **GB2 Onnodig aanstaan van ventilatie voorkomen**

Aanwezigheidsschakelaar toepassen op kleine/weinig gebruikte ruimten (bijvoorbeeld een toilet) met:

- Ventilatiesysteem zonder aanwezigheidsschakelaar
- Ventilatie die altijd aan is tijdens werkdagen

Economische randvoorwaarden: geschakeld vermogen is minimaal 40 watt.

---

**GB3 Warmteverlies ventilatiekanalen beperken in ruimten waar geen warmteafgifte nodig is**

Isolatie om ventilatiekanalen aanbrengen als dit ontbreekt of als luchttoevoerkanalen en/of afzuigkanalen zijn verbonden met een recirculatie- of warmteterugwinsysteem.

Technische randvoorwaarden: temperatuurt kanaal is minimaal 10 °C hoger dan omgevingstemperatuur.

Economische randvoorwaarden: jaarlijks elektriciteitsverbruik van de inrichting is minder dan 10 miljoen kWh.

**GC1 Aanstaan van infraroodlampen (IR-lampen) beperken**

Halveringsschakelaars op IR-lampen toepassen als deze ontbreken.

Technische randvoorwaarden: vloerverwarming aanwezig.

**GC2 Temperatuur per ruimte na-regelen**

Klokthermostaten en overwerk timers toepassen als individuele na-regeling in verblijfsruimtes met radiatoren of verwarmingsgroepen ontbreekt.

Technische randvoorwaarde: het regelement van de radiator beschikt over een motorbediende afsluitklep.

**GC3 Warmteverlies via warmwaterleidingen en -appendages beperken**

Isolatie aanbrengen om leidingen en appendages als dit ontbreekt.

Technische randvoorwaarden: in verwarmde ruimten alleen de ringleiding isoleren

Economische randvoorwaarden: aardgasverbruik is minder dan 170.000 m<sup>3</sup> per jaar en de bedrijfstijd van installatie behorende bij de leidingen en appendages is minimaal 1.250 uur per jaar.

**GD1 Geïnstalleerd vermogen verlichting in dierverblijven beperken**

Armaturen met dimbare ledlampen toepassen.

Technische randvoorwaarden: kleur lampen is 5.700 Kelvin (is dit ook voor varkens?)

**GD2 Bedrijfshal: geïnstalleerd vermogen basisbinnenverlichting beperken**

Ledlampen in opbouwarmatuur toepassen wanneer conventionele armaturen met langwerpige fluorescentielampen (TL) of hogedrukkwiklampen aanwezig zijn

Economische randvoorwaarden: aantal branduren van TL lampen is minimaal 3.500 en van hogedrukkwiklampen 4.000 uur per jaar

**GD3 Geïnstalleerd vermogen basisbinnenverlichting beperken**

Langwerpige ledlampen in bestaande armaturen toepassen wanneer conventionele armaturen met langwerpige fluorescentielampen (TL) of spaarlampen (PL) aanwezig zijn

Technische randvoorwaarden: technische staat van de bestaande armaturen moet volgens de installateur voldoende zijn.

Economische randvoorwaarden: aantal branduren van TL lampen is minimaal 1.200 en van PL lampen 2.000 uur per jaar

**GD4 Geïnstalleerd vermogen accentverlichting beperken**

Ledlampen in bestaande armaturen toepassen wanneer halogeenlampen, gloeilampen of hogedrukkwiklampen aanwezig zijn.

Technische randvoorwaarden: technische staat van de bestaande armaturen moet volgens de installateur voldoende zijn.

Economische randvoorwaarden: aantal branduren van hogedrukkwiklampen 4.000 uur per jaar.

**GD5 Onnodig branden van buitenverlichting voorkomen**

Bewegingssensors, schemer- en tijdschakelaars toepassen als dit ontbreekt en deze buitenverlichting (niet zijnde reclame- of noodverlichting) overdag, in de avond en/of 's nachts aan is.

Economische randvoorwaarden: minimaal 20 armaturen zijn aanwezig en de verlichting is in de nacht minimaal 6 uur uit.

**GD6 Onnodig branden van reclameverlichting voorkomen**

Schemer- en/of tijdschakelaars toepassen als automatische aan- en uitschaking ontbreekt en de reclameverlichting overdag en/of 's nachts aan staat.

Economische randvoorwaarden: reclameverlichting kan in de nacht minimaal 6 uur worden uitgeschakeld.

**GD7 Geïnstalleerd vermogen verlichting vluchtwegaanduiding beperken**

Nieuwe armaturen met ledlampen toepassen als conventionele armaturen met langwerpige fluorescentielampen (TL) aanwezig zijn.

**GD8 Geïnstalleerd vermogen buitenverlichting beperken**

Ledlampen in bestaande en/of nieuwe armaturen toepassen als halogeenlampen en/of halogeen breedstralers of hogedrukkwiklampen aanwezig zijn.

Economische randvoorwaarden: aantal branduren van hogedrukkwiklampen 4.000 uur per jaar.

**FA1 Energiezuinige warmteopwekking toepassen**

- A) Indirect gasgestookte modulerende hoog rendement lucht verhitter (HR-lucht verhitter) en extra ventilator toepassen als aanwezige centrale verwarming verbeterend rendementsketel (VR-ketel) of lager is.

- 
- Technische voorwaarden: klimaatregelingen zijn aanwezig
- B) Hoogrendementsketen 107 (HR107-ketel) toepassen als aanwezige conventioneelrendementsketel (CR-ketel) of verbeterrendementsketel (VR-ketel) als bedrijfslast meer is dan 500 uur per jaar

**FA2 Aanvoertemperatuur cv-water automatisch regelen op basis van de buitentemperatuur**  
Weersafhankelijke regeling als deze ontbreekt op cv-groepen met hoge temperatuurverwarming

**FA3 Warmteverlies door uitgaande ventilatielucht naar buitenlucht voorkomen**  
Warmte met een warmtepomp uit de ventilatielucht terugwinnen als warmtevoorziening op basis van vloerverwarming en gasgestookte verwarmingsketel is van toepassing is.  
Technische randvoorwaarden: warmtepompsystemen hebben een coëfficiënt of performace (COP) van minimaal 5.

**FA4 Warmteverlies door uitgaande ventilatielucht van de luchtwasser naar de buitenlucht beperken**  
Warmtewisselaars in ventilatielucht toepassen als warmte-terugwinsystemen in de luchtwasser ontbreken, de ventilatielucht na centrale afzuiging en de luchtwassers naar buiten wordt afgeblazen en er luchtwassers aanwezig zijn.

**FA5 Energiezuinige warmteopwekking van tapwater toepassen**  
Gasgestookte hoog-rendement boilers (HR-boilers) toepassen wanneer conventionele gasgestookte boilers aanwezig zijn.  
Economische randvoorwaarden: aardgasverbruik is minder dan 170.000 m<sup>3</sup> per jaar.

**FA6 Aanstaan van ruimteverwarming buiten bedrijfstijd voorkomen**  
Tijdschakelaar met of zonder weekschakeling (met of zonder overwerktimer) toepassen als automatische aan- en uitschakelingen ontbreken.

**FB1 Warmteverlies via warmwaterleidingen en -appendages beperken**  
Isolatie aanbrengen om leidingen en/of appendages als dit ontbreekt.  
Economische randvoorwaarden: bedrijfstijd van de installatie waartoe de leidingen en appendages behoren is minimaal 1.250 per jaar.

**FC1 Restwarmte afkomstig van de condensoren van de koelinstallatie nuttig gebruiken**  
Restwarmte van de condensoren nuttig gebruiken voor verwarmingsdoeleinden als deze nog niet wordt gebruikt, ondanks dat er wel warmtebehoefte is.  
Technische randvoorwaarde: vermogen van de koelinstallatie is minimaal 1.400 kiloWatt.

**FC2 Energiezuinig koelen door koude lucht te gebruiken**  
Aanzuiging van koellucht scheiden van afgegeven warmte lucht vanuit koelinstallaties, als er geen gescheiden luchtaanzuiging (bij melkvee) is.

**FD1 Energiezuinig koelen van melk**  
Voorcoeler in de melkleiding voor de melktank toepassen als deze ontbreekt bij een melkveebedrijf.  
Economische randvoorwaarden: melkproductie is minimaal 1.000.000 kilogram per jaar.

**FD2 Koudeverlies door koelcelwand beperken**  
Koelcelwanden volledig isoleren wanneer dit ontbreekt bij een akkerbouw-, bollenteelt-, paddenstoelenteeltbedrijf.  
Economische randvoorwaarden: de koelcellen zijn overwegend het gehele jaar in gebruik.

**FD3 Binnentreden van warmte en/of vochtige lucht in koelcellen beperken**  
Deurschakelaars in celprogramma's toepassen wanneer deze ontbreken bij een akkerbouw-, bollenteelt-, paddenstoelenteeltbedrijf.  
Technische randvoorwaarden: sensoren zijn aanwezig om koeling te onderbreken.

**FD4 Verlichting in koelcellen beperken**  
Uitschakelen van verlichting met bewegingsschakelaars in koelcellen wanneer deze ontbreken bij een akkerbouw-, bollenteelt-, paddenstoelenteeltbedrijf.

**FD5 Energiezuinig bewaren van producten**  
Regelingen voor temperatuurvariatie in de dag- en nachtperiode toepassen wanneer dit ontbreekt bij een akkerbouwbedrijf.  
Technische randvoorwaarden: bewaarcomputers zijn aanwezig.  
Economische randvoorwaarden: producten moeten tolerantie bieden in bewaar temperatuur

**FD6 Beperken ijsvorming op de verdampers van koelinstallaties**  
Regelingen voor ventilatieontdooiing toepassen wanneer dit ontbreekt bij een akkerbouw-, bollenteelt-, paddenstoelenteeltbedrijf.

**FD7 Energiezuinige verlichting in koelcellen toepassen**

---

Armatuuren met ledlampen toepassen wanneer conventionele armaturen met langwerpige fluorescentielampen (TL8) aanwezig zijn bij een akkerbouw-, bollenteelt-, paddenstoelenteeltbedrijf.

**FE1 Vollasturen draaistroommotoren beperken**

IE2-motor met frequentieregeling of beter toepassen als dit ontbreekt.

Technische randvoorwaarden: draaistroommotoren hebben een wisselende belasting of overcapaciteit.

Economische randvoorwaarden: pompen warmwatercircuit: aardgasverbruik is minder dan 170.000 m<sup>3</sup> per jaar. Aanpassingen aan driewegkleppen van het regelsysteem zijn onnodig.

**FE2 Energiezuinige motoren toepassen**

IE4-motoren toepassen of beter als motoren met vermogen minder dan 375 kW en meer dan 4 kW en met rendementsklassen IE1, IE2 of lager aanwezig zijn.

Economische randvoorwaarden: de motor heeft minimaal 4.500 bedrijfsuren per jaar.

**FF1 Energieverbruik van pompen beperken door vermogen vraag gestuurd te regelen**

Pomp met toerenregeling toepassen als dit met smoorregeling wordt gedaan.

Technische randvoorwaarden: variabel debiet is inpasbaar in installatie.

Economische randvoorwaarden: bedrijfstijd pomp is minimaal 1.400 uur per jaar.

**FG1 Op vollast aanstaan van vacuümpomp beperken**

Frequentieregelaars op vacuümpompen toepassen wanneer dit ontbreekt bij een melkveehouderij.

**PA1 Warmteverlies via warmwaterleidingen en -appendages beperken**

Isolatie aanbrengen om leidingen en/of appendages als dit ontbreekt.

Economische randvoorwaarden: bedrijfstijd van de installatie waartoe de leidingen en appendage behoren is minimaal 1.250 uur per jaar.

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



---

Wageningen Livestock Research  
Postbus 338  
6700 AH Wageningen  
T 0317 48 39 53  
E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
[www.wur.nl/livestock-research](http://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.

