

Verkenning duurzame energietechnieken toepasbaar op bloembollenbedrijven

Een economische analyse van decentrale opwekkingsmogelijkheden

K. van der Putten MSc.

© 2011 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit project is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door de partijen in de Meerjarenaafpraak energie Bloembollen (KAVB, PT, min.EL&I, Agentschap NL en telers).



Projectnummer: 3236133000

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Bloembollen, boomkwekerij & fruit

Address : Postbus 16, 6700 AA Wageningen
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : +31 31 2524 62132
Fax : +31 317 41 80 94
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	5
Lijst met gebruikte afkortingen	6
1 Inleiding	7
2 Werkwijze	9
2.1 Sectorgedeelte.....	9
2.2 Technologiedeelte.....	9
3 Energievraag op verschillende bedrijfstypen in de bloembollen- en bolbloemensector	13
3.1 Bedrijfstypen	13
3.2 Energievraag van bedrijfsprocessen.....	13
4 Prijsontwikkelingen van de huidige technologieën.....	19
5 Overzicht van duurzame technologieën	23
6 Technologie 1: Wind op land	25
6.1 Wind op land – Groot (2-3MW).....	25
6.2 Wind op land – Middelgroot (80-250kW).....	27
6.3 Wind op land – klein (2kW)	30
7 Technologie 2: Zon PV.....	33
7.1 Zon PV - groot (100 kWp)	33
7.2 Zon PV - klein (3,5 kWp).....	36
8 Technologie 3: biomassavergisting.....	39
8.1 Monovergisting WKK	40
8.2 Mestcovergisting WKK	42
8.3 Monovergisting aardgas teruglevering	44
8.4 Mestcovergisting aardgas teruglevering	46
9 Technologie 4: biomassaverbranding.....	49
9.1 Biomassaverbranding - warmte	49
10 Technologie 4: biomassavergassing.....	53
10.1 Biomassavergassing - WKK	53
11 Technologie 5: Geothermie.....	57
11.1 Geothermale warmte	57
11.2 Geothermale WKK	59
12 Overzicht van de resultaten	61
13 Conclusies	61
14 Aanbevelingen	65
15 Literatuur	67

Samenvatting

Dit rapport geeft een overzicht van beschikbare duurzame energiebronnen en technieken waarmee decentraal energie kan worden opgewekt in de bloembollensector. Door de verwachte stijging van de gas- en elektriciteitsprijzen uit te zetten tegen de verwachte prijsdaling van de nieuwe, duurzame technologieën, is een schatting gemaakt van het jaar waarin deze technieken financieel aantrekkelijk worden voor bloembollenbedrijven. Hierbij is rekening gehouden met verschillende groeiscenario's en het wel/niet verkrijgen van subsidie. Als uitgangspunt is de gemiddelde jaarlijkse warmte- en elektriciteitsvraag genomen van de 4 meest voorkomende typen bloembollenbedrijven. Verder is er van uit gegaan dat de energievraag door gebruik van efficiëntere technologieën en energiebesparing al sterk is afgenomen tot het minimum haalbare met huidige technieken. Voor alle typen bloembollenbedrijven blijkt dat het naar verwachting binnen enkele jaren interessant is om te investeren in duurzame energieopwekking. Een middelgrote windturbine, een groot oppervlak aan zonnepanelen (100 kWp) of een houtkachel zijn nu of binnen enkele jaren financieel haalbaar. Ook een mestcovergister met WKK of een monovergister met teruglevering kan winstgevend zijn in situaties waarin subsidie kan worden verkregen. De overige onderzochte technieken: biomassa vergassing en geothermie, worden naar verwachting pas na 2020 kostenneutraal.

Lijst met gebruikte afkortingen van eenheden

kWh = kilowattuur = 1.000 Watt vermogen gedurende een periode van 1 uur

kW_e = kilowatt elektrisch = 1000 Watt

MW_e = megawatt elektrisch = 1000.000 Watt aan elektriciteit vermogen

kW_{th} = kilowatt thermisch = 1000 Watt aan verwarmend vermogen

MW_{th} = megawatt thermisch = 1000.000 Watt aan verwarmend vermogen

kW_p = kilowattpiek = 1.000 Watt aan elektrisch piekvermogen

MJ = Megajoule = 1.000.000 Joule aan vermogen

Nm³/h = kubieke meter per uur = 1 kubieke meter aan gas bij normaalcondities (1 bar en 20 °C)

O&M = *Operations and Maintenance* = onderhouds- en operationelekosten

Inv. prijs = investeringsprijs

η = rendement

pot. η verb. = potentiële rendementsverbetering

ha = 1 Hectare = 10.000m² oppervlak

% inv. = percentage van de investeringskosten

M³ gas eq. = kubieke meter aardgas equivalenten, 1 m³ aardgas ≡ 31,65 MJ aan warmte

NCW = Netto Contante Waarde - de huidige waarde van een toekomstige geldstroom

1 Inleiding

Energie is een belangrijke behoefte van onze maatschappij. Door de toenemende vraag en geopolitieke instabiliteit zijn de belangrijkste bronnen, gas en aardolie van fossiele herkomst, echter onder druk komen te staan. Als gevolg hiervan schommelen de energieprijzen hevig rond een constant stijgend gemiddelde en is voorzieningszekerheid steeds moeilijker te garanderen. Daarnaast wordt ons energieverbruik in verband gebracht met klimaatverandering. Sinds de 19^e eeuw is de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van de aarde gestegen met 0.4 - 0.6 graden. Nagenoeg alle klimaatwetenschappers zijn het er over eens dat deze stijging zeer moeilijk kan worden verklaard door alleen natuurlijke oorzaken en dat de kans extreem groot is dat de verhoogde concentratie broeikasgassen in de atmosfeer hier een rol in speelt (Pachauri 2008). Door antropogene activiteit is de gemiddelde concentratie van de belangrijkste twee broeikasgassen CO₂ en CH₄ in de atmosfeer toegenomen van respectievelijk 280ppb en 715ppb voor de industriële revolutie naar 379 ppb en 1774 ppb in 2005. Zowel de mogelijke directe gevolgen van klimaatverandering (b.v. stijging van de zeespiegel, overstromingen, droogte, verdwijnen van diersoorten) als de indirecte gevolgen (b.v. socio-economische instabiliteit, verstoring van transport en handel, ontregeling van industrie en infrastructuur, ziekte en sterfte door ondervoeding/infectieziekten) zijn zeer onwenselijk.

In de internationale verdragen van onder andere Kyoto en Kopenhagen is daarom afgesproken om wereldwijd het fossiele energiegebruik terug te dringen en minder broeikasgassen uit te stoten. Binnen de Europese Unie heeft Nederland zich gecommitteerd aan een aanzienlijke reductie van broeikasgasuitstoot. De overheid heeft met alle sectoren vrijwillige afspraken gemaakt om gezamenlijk de Nederlandse doelstellingen te kunnen halen. Deze doelstellingen zijn een reductie van de uitstoot van broeikasgassen in 2020 met 20% ten opzichte van 1990 en een aandeel van 14% duurzame energie in 2020. In de bloembollensector is momenteel de tweede Meerjarenafpraak Energie en het convenant 'schone en zuinige agrosectoren' van toepassing. In 2011 moet de energie-efficiency ten opzichte van 2006 met 11 % zijn verbeterd ofwel 2,2 % per jaar, en het aandeel duurzame energie moet omhoog tot minimaal 6,4 %. Om als sector de afgesproken doelstellingen te kunnen halen is het belangrijk dat bloembollentelers, -broeiers en -exporteurs zich bewust worden van zowel de noodzaak als van de mogelijkheden van energiebesparing en het gebruik van duurzame energie.

Doelstelling en afbakening

Het doel van dit rapport is om een gefundeerde schatting te maken van het perspectief van duurzame energietechnieken voor de bloembollensector. Duurzame energie is energie verkregen uit hernieuwbare bronnen zoals zon, wind, water en getijde. Deze bronnen zijn praktisch onuitputbaar en, omdat het winnen van energie uit deze bronnen geen emissie naar de omgeving geeft, kunnen we deze bronnen blijven gebruiken zonder de leefomgeving te vervuilen. Daarnaast wordt biomassa afkomstig van planten en organismen veelal genoemd als een duurzame energieoptie. Alhoewel de thermische of bacteriële conversie van biomassa naar energie wel emissies van broeikasgassen met zich meebrengt, is dit een gesloten kringloop: de chemische verbindingen die worden uitgestoten zijn kort daarvoor uit de omgeving onttrokken. Daarom verhoogt het gebruik van biomassa de totale hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer niet. De conversie van biomassa naar energie wordt in dit rapport als een duurzame techniek gezien.

Duurzame energie wordt vaak decentraal opgewekt. Dit heeft twee voordelen. Allereerst zijn duurzame bronnen op kleine schaal beter beschikbaar. Windmolens moeten bijvoorbeeld ver uit elkaar worden geplaatst om elkaar niet te verstoren en een energiecentrale met zonnepanelen neemt veel landoppervlak in, waardoor het in Nederland aantrekkelijker is om deze in kleine hoeveelheden in te passen in het bestaande landschap. Ook is de beschikbaarheid van de opgewekte energie in de tijd beter omdat niet altijd op dezelfde plekken wind of zon voorhanden is. Ten tweede heeft decentrale opwekking ook een energetisch voordeel. Transport van energie is erg inefficiënt. Veel energie gaat indirect verloren bij het aanleggen van de infrastructuur of direct in de vorm van warmteverliezen. Elke energieconversie brengt verliezen met zich mee. Hoe dichter de energieopwekking bij het eindgebruik, hoe minder conversies nodig

zijn, hoe efficiënter de opwekking en hoe minder verliezen. Aangezien de sector dus zelf een efficiënte en belangrijke bijdrage kan leveren aan het verminderen van het gebruik van fossiele brandstoffen, ligt in dit rapport de focus op decentrale toepassing van duurzame energie op het bedrijf zelf. Centrale opwekking (dwz. inkoop van biogas c.q. groene stroom door bloembollenbedrijven) wordt niet in beschouwing genomen.

Er zijn ook alternatieve technieken beschikbaar die niet perse duurzaam zijn maar die wel gebruikmaken van het decentrale principe. Voorbeelden hiervan zijn warmtepompen, een Warmte-kracht koppeling (WKK) op diesel of gas, gebruik van afvalwarmte van stadsverwarming of afvalverbranding etc. Deze technieken kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan het verminderen van de totale Nederlandse energievraag, maar de resterende energie is nog steeds uit fossiele bronnen afkomstig. In dit rapport laten we energiebesparende technieken die niet uit een duurzame bron putten buiten beschouwing. Dat wil niet zeggen dat deze technieken ongewenst zijn, ze vallen alleen niet binnen de afbakening van dit onderzoek. Ook een combinatie van duurzame technieken in combinatie met bovenstaande energiebesparende mogelijkheden maakt vanwege de complexiteit geen deel uit van dit verkennende onderzoek.

Dit rapport geeft een overzicht van beschikbare duurzame bronnen en technieken waarmee direct en decentraal energie kan worden opgewekt op bedrijven in de bloembollensector. Deze technieken worden op economische criteria vergeleken met de referentietechnologie (dwz. uit fossiele bronnen verkregen gas en elektriciteit). Door de verwachte stijging van de gas- en elektriciteitsprijzen uit te zetten tegen de verwachte prijsdaling van de nieuwe, duurzame technologieën, kan een schatting gemaakt worden van het jaar waarin het *break-even* punt wordt bereikt tussen de duurzame technologieën en de referentietechnologie. Om het maximale potentieel uit decentrale energieopwekking te halen is het van belang dat de hoeveelheid opgewekte energie overeenkomt met de energievraag van het bedrijf. Als uitgangspunt wordt in de analyse daarom de gemiddelde jaarlijkse warmte- en elektriciteitsvraag genomen van de 4 meest voorkomende typen bloembollenbedrijven. Verder wordt er vanuit gegaan dat de energievraag door gebruik van efficiëntere technologieën en energiebesparing al sterk is afgenomen tot het minimum haalbare met huidige technologie. Omwille van de complexiteit is geen expliciete rekening gehouden met de mogelijkheid tot het combineren van verschillende technologieën.

2 Werkwijze

Om de technologieën te vergelijken onderscheiden we een sectorgedeelte en een technologiegedeelte. Het sectorgedeelte beschrijft de kenmerken van de bloembollensector die voor alle technieken hetzelfde zijn: de verschillende bedrijfstypen in de bloembollensector, de cumulatieve warmte en elektriciteitsvraag van deze bedrijfstypes en de kostprijsstijging van de huidige technologie. Het technologiegedeelte bestaat uit kenmerken van de duurzame technologieën: de verwachte kostprijzdalingen, prognoses van toenemend gebruik en de uiteindelijke economische haalbaarheid van de nieuwe technieken bij verschillende toekomstscenario's.

2.1 Sectorgedeelte

Recent onderzoek van PPO (Wildschut 2011) heeft een viertal dominante bedrijfstypes geïdentificeerd in de bloembollen en bolbloemensector. Deze bedrijfstypes worden als uitgangspunt gebruikt voor de haalbaarheidsanalyse. Uit de jaarlijkse monitoring van het energiegebruik in de sector is het gemiddelde energiegebruik van de bedrijfstypes bekend. Verder zijn van Tulp, Lelie en Hyacint gegevens bekend over de verdeling van het energiegebruik over de verschillende processen op de bedrijven. Hierdoor is het mogelijk om het energiegebruik per proces te berekenen. Op basis van de mening van experts bij PPO is een inschatting gemaakt van het percentage energiebesparing dat nog mogelijk is om de energievraag van deelprocessen te verkleinen in de nabije toekomst. Op deze manier wordt een realistisch beeld verkregen van het totale energiegebruik per bedrijfstype uitgegaan van maximale energiebesparing.

Als referentietechnologie worden de conventionele technieken om warmte en elektriciteit op te wekken genomen: warmte middels een ketel op aardgas en elektriciteit van het net. De vermeden kosten van deze installaties zullen in de praktijk namelijk nagenoeg gelijk zijn aan de prijzen voor gas en elektriciteit omdat de aanschaf al is betaald en ze behouden zullen blijven als back-up voorziening of om pieklasten op te vangen. De prijsontwikkeling van gas en elektriciteit wordt in dit rapport beschreven door een exponentiele trendlijn die met een constante jaarlijkse procentuele stijging wordt geëxtrapoleerd naar de toekomst. Deze jaarlijkse prijsstijging wordt bepaald door de gemiddelde jaarlijkse stijging in de historische trends van de gas en elektriciteitsprijzen van de afgelopen 14 jaar, de periode waarover historische gegevens beschikbaar zijn. Daarnaast wordt een tweede, conservatieve trendlijn geconstrueerd op basis van een prognose van het Internationaal Energie Agentschap voor stijging van de aardolieprijzen.

2.2 Technologiegedeelte

In het technologiegedeelte wordt per duurzame technologie een raming gegeven van verwachte kostprijzdalingen bij toenemende geïnstalleerde capaciteit in Nederland. Met deze kostprijzdalingen worden 4 scenario's opgesteld op basis waarvan de economische haalbaarheid van een techniek wordt bepaald voor een investering gedaan in een toekomstig kalenderjaar.

2.2.1 Kostprijsontwikkelingen duurzame technologieën

Voor het beschrijven van de prijsontwikkeling van de verschillende duurzame technologieën wordt gebruik gemaakt van ervaringscurves (eng. *experience curves*). Een ervaringscurve beschrijft hoe de prijs van een technologie daalt bij toenemend gebruik (Schoots 2010). De prijsdaling in een ervaringscurve wordt bepaald door leereffecten bij toepassen van de technologie (Learning-by-doing) en door schaalvoordelen in grondstoffen en productie (economies of scale). In de praktijk loopt het leer- en onderzoeksproces een zekere periode parallel, waardoor een deel van de daling van de prijs ook is toe te schrijven aan R&D onderzoek (learning-by-searching). Ook de kostprijzdaling die voortkomt uit rendementsverbeteringen is dus in een ervaringscurve opgenomen.

Het verloop van de curve wordt bepaald door de leerratio. Deze leerratio is gedefinieerd als de percentuele daling van de marktprijs bij verdubbeling van cumulatieve geïnstalleerde capaciteit. Omdat de leerratio een verdubbeling beschrijft, wordt de curve beschreven door een 2^e machtslogaritme van de leerratio.

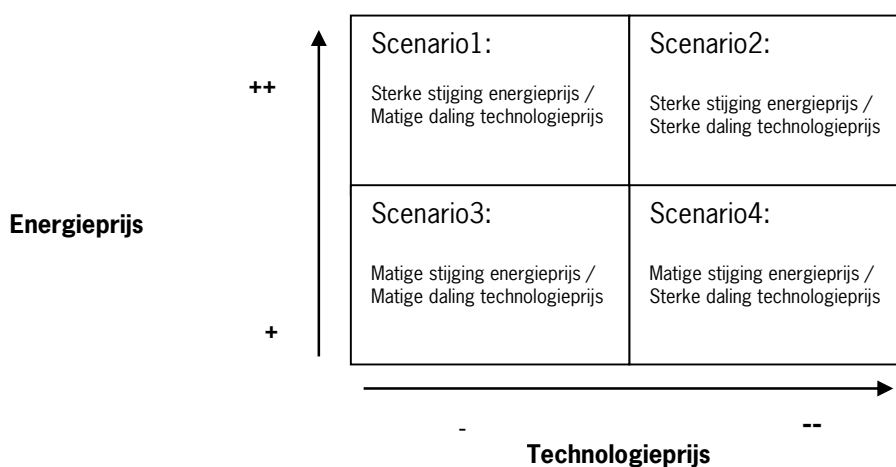
$$Y_{(x)} = K * X^{\log_2(1-LR)}$$

Met: Y = kosten van installatie van de x-de hoeveelheid capaciteit
 K = kosten van installatie van de 1^e hoeveelheid capaciteit
 X = cumulatieve geïnstalleerde capaciteit
 LR = leerratio

De kostprijs van de technologie is dus afhankelijk van de mate van gebruik in Nederland. Voor elk van de technologieën is in de literatuur gezocht naar leerratio's en prognoses van verwachte capaciteitsgroei. Door de grootste groeivoorspelling en de hoogste schatting van de leerratio te combineren wordt voor elke technologie een meest optimistische kostendaling over de tijd worden voorspeld. Op dezelfde wijze kan ook een meest pessimistische kostendaling worden voorspeld.

2.2.2 Kostprijsscenario scenario's

Beslissend voor de economische analyse is de verhouding tussen het stijgen van de fossiele energieprijzen en het dalen van de technologieprijzen. Om gevoel te krijgen voor de invloed die deze stijging en daling hebben op de economische haalbaarheid worden 4 scenario's met verschillende stijgingspercentages doorgerekend. De scenario's vertegenwoordigen elk een extreme stijging van de energieprijzen, daling van de duurzame technologieprijs of beide.



Figuur 1: Vier scenario's uitgezet op assen voor energie- en technologieprijs

Scenario 1: De referentie technologie wordt snel duurder. De gas en elektra prijzen blijven jaarlijks stijgen met het jaarlijks gemiddelde van de afgelopen 14 jaar. De prijs van de duurzame technologie neemt langzaam af doordat er slechts weinig in de technologie wordt geïnvesteerd en de investeringen die gedaan worden maar een kleine kostendaling te weeg brengen. Er wordt uitgegaan van ongunstige technologische parameters en als SDE+subsidie wordt verkregen dan wordt uitgegaan van een laag subsidiebedrag.

Scenario 2: De referentie technologie wordt snel duurder. De gas en elektra prijzen blijven jaarlijks stijgen met het jaarlijks gemiddelde van de afgelopen 14 jaar. De prijs van de duurzame technologie

neemt snel af doordat er veel in de technologie wordt geïnvesteerd. De investeringen die gedaan worden brengen een grote kostendaling te weeg. Er wordt uitgegaan van gunstige technologische parameters en als subsidie wordt verkregen dan wordt uitgegaan van een hoog subsidiebedrag.

Scenario 3: De referentie technologie wordt langzaam duurder. De gas en elektra prijzen stijgen jaarlijks met het gemiddelde van de conservatieve voorspeling voor de aardolieprijzen. De prijs van de duurzame technologie neemt langzaam af doordat er slechts weinig in de technologie wordt geïnvesteerd. De investeringen die gedaan worden, brengen slechts een kleine kostendaling te weeg. Er wordt uitgegaan van ongunstige technologische parameters en als SDE+subsidie wordt verkregen dan wordt uitgegaan van een laag subsidiebedrag.

Scenario 4: De referentie technologie wordt langzaam duurder. De gas en elektra prijzen stijgen jaarlijks met het gemiddelde van de conservatieve voorspeling voor de aardolieprijzen. De prijs van de duurzame technologie neemt snel af doordat er veel in de technologie wordt geïnvesteerd en de investeringen die gedaan worden maar een grote kostendaling te weeg brengen. Er wordt uitgegaan van gunstige technologische parameters en als SDE+subsidie wordt verkregen dan wordt uitgegaan van een hoog subsidiebedrag.

Bij de technologieprijs wordt in de scenario's niet alleen rekening gehouden met de initiële aanschafkosten (en de daling daarvan volgens voorspelde ervaringscurves), maar ook met overige technologische parameters die de kostprijs per geproduceerde hoeveelheid energie beïnvloeden. Dit zijn technologie specifieke aspecten zoals economische levensduur, installatie grootte, eventuele brandstofkosten en onderhoudskosten. Tabel 1 geeft een overzicht van mogelijke parameters die van belang kunnen zijn voor een technologie en welke invloed een grotere waarde van deze parameter heeft op de prijs. Aan het begin van elke technologieparagraaf wordt voor elke scenario een vergelijkbare tabel gepresenteerd met de gebruikte waarden per scenario. In de scenario's 2 en 4 wordt uitgegaan van gunstige technologieparameters, in scenario's 1 en 3 wordt uitgegaan van ongunstige waarden.

Tabel 1: Brongegevens mestcovergisting WKK

Technologische parameter	eenheid	Invloed op prijs per geproduceerde energiehoeveelheid
Leerratio (inv. prijs)	%	Positief
Specifieke investeringskosten	€ / KWe of € /Nm ³ /h	Negatief
O&M vast	% inv.	Negatief
O&M variabel ¹	€ / kWh	Negatief
Bedrijfstijd (vollasturen)	uren/jaar	Positief
Economische levensduur	jaren	Positief
Typische installatie grootte	kWe	Positief
Brandstofkosten	€ / GJe	Negatief
Energie inhoud brandstof	GJ / ton	Positief
Brandstofkosten (inkoop)	€ / ton	Negatief
Installatie rendement	%	Positief
Thermisch rendement referentie technologie	%	Negatief
Energie inhoud afval	GJ / Ha of GJ/100000 geproduceerde stelen	Positief

2.2.3 Berekening van de economische haalbaarheid

Voor alle technologieën worden de initiële investering en de jaarlijkse geldstromen berekend. We berekenen zowel de geldstromen met als zonder overheidssubsidie (zie bijlage 1 voor mogelijke subsidies). De initiële

investering bestaat uit de aanschaf- en plaatsingskosten van de duurzame installatie. Deze kosten nemen af naarmate de technologie goedkoper wordt. Op de initiële aanschafprijs is subsidie mogelijk in de vorm van Energie Investerings Aftrek (ca. 10% voordeel). De jaarlijkse geldstromen bestaan uit een optelsom van kosten en baten. De jaarlijkse kosten bestaan uit onderhoud voor de installatie en eventueel kosten voor brandstofgebruik (bijvoorbeeld biomassa/snoeihout). De jaarlijkse baten bestaan uit vermeden kosten voor gas en elektra. Daarnaast worden de jaarlijkse geldstromen ook berekend indien gebruik kan worden gemaakt van de Stimulering Duurzame Energie plus (SDE+) – regeling. Deze subsidie geeft garantie dat voor de duurzaam opgewekte elektriciteit/warmte een bepaalde vergoeding kan worden verkregen. Het verschil tussen de werkelijke prijzen en de garantieprijzen wordt door de overheid vergoed. Bij de berekeningen van de jaarlijkse baten mét subsidie wordt in scenario 2 en 4 uitgegaan van het maximale subsidiebedrag. In scenario 1 en 3 wordt bij berekening mét subsidie uitgegaan van het minimale subsidiebedrag (zie bijlage 1 voor subsidiebedragen).

De economische haalbaarheid van de verschillende duurzame opties wordt berekend door een tweetal criteria toe te passen op de geldstromen. Allereerst wordt gebruik gemaakt van de Netto Contante Waarde (NCW). De netto contante waarde is de optelsom van alle positieve en negatieve geldstromen, maar waarbij de geldstromen verdisconteerd worden naar hun huidige waarde middels een rentevoet van 4%¹. De verdiscontering komt voort uit het feit dat een geldbedrag in de toekomst minder waard is dan in het heden, aangezien hetzelfde bedrag ook voor een andere investering had kunnen worden aangewend. De NCW geeft een goede indicatie van de absolute hoogte van de winst die kan worden gemaakt, maar zegt niets over de verhouding met het investeringsbedrag dat benodigd is om deze winst te realiseren. Een NCW van nul wordt als neutraal gezien, elke positieve waarde voorspelt dat het project in ieder geval niet meer zal kosten dan dat het opbrengt.

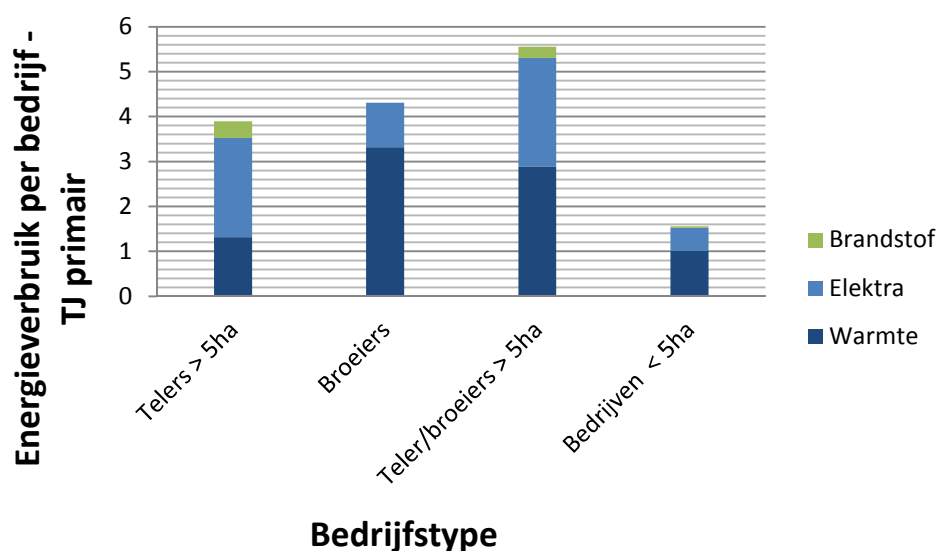
Daarnaast wordt ook de rentabiliteit van de investering berekend. De rentabiliteit is de interne rentevoet waarbij de NCW gelijk is aan nul. De rentabiliteit geeft dus het rentepercentage dat een spaarrekening zou moeten hebben wil deze dezelfde winst opleveren als de investering. De rentabiliteit is dus een maat voor de relatie tussen de grootte van de investering en de grootte van de winst, maar zegt niets over de absolute grootte van de investering. Over het algemeen wordt in het bedrijfsleven, afhankelijk van de risico's van een project, minimaal een rentabiliteit van 10% nagestreefd bij de beoordeling van projecten.

¹ 4% is in Nederland een gangbare rentevoet welke o.a. wordt gehanteerd in overheidsprojecten

3 Energievraag op verschillende bedrijfstypen in de bloembollen- en bolbloemensector

3.1 Bedrijfstypen

Wildschut (2011) beschrijft vier bedrijfstypes die typerend zijn voor de bloembollensector. De twee voornaamste types zijn bedrijven die bloembollen telen, zgn. 'telers > 5 ha' en grotere bedrijven die teelt en bloemproductie activiteiten combineren, zgn. 'teler-broeiers > 5 ha'. De totale groep telers > 5 ha omvatte 61% van het Nederlandse areaal bloembollen tussen 1995 en 2009. Een gemiddelde teeltbedrijf in deze groep heeft een areaal van 28,3 ha. De groep teler-broeiers > 5 ha omvatte 37% van het areaal bloembollen en produceerden ook 73% van alle bolbloemen in dezelfde periode. Een gemiddelt teelt-broeibedrijf >5 ha heeft een teeltareaal van 19,0 ha en produceert jaarlijks 3,0 miljoen stelen. Bedrijven met alleen broeiactiviteiten, zgn. broeiers, produceerden in deze periode 20 % van alle bolbloemen, gemiddeld 3,2 miljoen stelen per bedrijf. De overige 2% bloembollenteelt en 8% bolbloemenproductie tussen 1995 en 2009 komt voor rekening van kleine teelt of teelt-broeibedrijven waarvan het teeltareaal kleiner is dan 5 ha. Deze groep heeft een gemiddeld teeltareaal van 2,7 ha en produceert gemiddeld 1,1 miljoen stelen per bedrijf. Deze groep bestaat veelal uit bedrijven die bijzondere bolgewassen produceren.



Figuur 2: primair energiegebruik per bedrijfstype

Het primaire energiegebruik op een gemiddeld bedrijf van elk type is weergegeven in figuur 2. Op kleine bedrijven < 5 ha is er een andere verhouding tussen warmte en elektriciteitsverbruik dan op grote bedrijven > 5 ha. Bij de teelt wordt meer energie gebruikt op kleine bedrijven, maar in de broeierij juist minder. Een gemiddeld bedrijf < 5 ha verbruikt bijna drie keer zoveel gas en 20% meer elektriciteit per hectare teelt, dan een teelt-broeibedrijf > 5 ha, maar per gebroeide bloem wordt juist minder gas en elektriciteit gebruikt. Door de grote hoeveelheden warmte die worden gebruikt in de kas, heeft een gemiddeld broeibedrijf een grotere warmtevraag dan een gemiddeld teeltbedrijf. Teler-broeiers > 5 ha hebben de grootste gemiddelde energievraag per bedrijf.

3.2 Energievraag van bedrijfsprocessen

Het energieverbruik op bloembollenbedrijven is onder te verdelen naar de verschillende bedrijfsprocessen.

Wildschut et al. (2006) en Wildschut en Kok (2007) beschrijven de percentuele verdeling van de energievraag van de processen op teelt- en broeibedrijven van de meest voorkomende gewassen: Tulp, Hyacint en Lelie. We nemen het gemiddelde van deze verdeling (gewogen naar areaal anno 2009) om tot de verdeling op een typisch bloembollenbedrijf te komen.

Tabel 2: jaarlijkse elektriciteitsverbruik op een gemiddeld teeltbedrijf > 5ha

Proces	%	kWh	pot. η verb.	kWh
totaal	100%	201.806	33%	138.417
spoelen	1%	2.856	0%	2.856
drogen	3%	6.815	42%	3.952
ventilatie	21%	42.321	50%	21.160
intern transport (heftrucks)	16%	31.295	0%	31.295
verwerken	20%	39.786	0%	39.786
circulatie	39%	78.734	50%	39.367

3.2.1 Teeltbedrijven > 5 ha

Tabel 2 beschrijft het elektriciteitsverbruik op een teeltbedrijf > 5 ha. Gemiddeld wordt op een teeltbedrijf 21% van de elektriciteit gebruikt voor de ventilatie van de bewaarde bollen, 39% van de elektriciteit wordt gebruikt door de circulatieventilatoren. Het verwerken van de bollen (voornamelijk het pellen) gebruikt 20% van de elektriciteit. De processen drogen en spoelen gebruiken samen slechts 4% van de elektriciteit op het bedrijf. De belangrijkste energiebesparing op het bedrijf is mogelijk door gebruik te maken van State-of – the-Art (StArt) bewaring van de bollen (Wildschut, Gude et al. 2010). Bij StArt-bewaring wordt gebruik gemaakt van een Ethyleen-meter om niet meer te ventileren dan noodzakelijk. Ventileren en circuleren bij de bewaring is noodzakelijk om vocht en schadelijke gassen zoals ethyleen af te voeren. De circulatie ventilatoren worden teruggetoerd met frequentieregelaars, waardoor de energiebesparing exponentieel toeneemt. De besparingen kunnen hierdoor oplopen tot gemiddeld 50% op de benodigde elektriciteit voor circulatie en ventilatie. Bij het drogen kan gebruik gemaakt worden van een ‘verbeterde kuubskist’. Deze bewaarkist bevat een tweetal geperforeerde pijpen waardoor de lucht makkelijker naar buiten kan en het droogproces aanzienlijk wordt verkort. Doordat de droogventilatoren minder lang hoeven te draaien is een besparing van 42% op het elektriciteitsgebruik bij het droogproces mogelijk. Gemiddeld is een elektriciteitsbesparing over alle processen bij de teelt mogelijk van 33%.

Tabel 3: warmtevraag op een gemiddeld teeltbedrijf > 5 ha

Proces	%	GJ	pot. η verb.	GJ
Totaal	100%	1.320	50%	667
Ventilatie	99%	1.307	50%	653
Overig	1%	13	0%	13

De warmtevraag op een gemiddeld teeltbedrijf bedraagt momenteel circa 1300 GJ per jaar (tabel 3). Nagenoeg al deze warmte is benodigd om de buitenlucht op te warmen waarmee wordt geventileerd tijdens de bewaring. Door gebruik te maken van de eerder beschreven StArt bewaring, kan tot 50% worden bespaard op de warmtevraag van dit proces bij tulpenbollen. Aangezien dit verreweg het meest geteelde bolgewas is, kan de totale warmtevraag tijdens de bewaring dus bijna worden gehalveerd door gebruik te maken van de nieuwste technieken.

Tabel 4: elektriciteitsverbruik op een gemiddeld broeibedrijf

Proces	%	kWh	pot. η verb.	kWh
totaal	100%	90.747	- 9%	98.460
opplanten	5%	4.537	0%	4.537
Kas	12%	10.890	0%	10.890
bossen	12%	10.890	0%	10.890
belichten	17%	15.427	-50%	23.140
intern transport	19%	17.242	0%	17.242
koelen	35%	31.761	0%	31.761

3.2.2 Broeibedrijven

Een gemiddeld broeibedrijf gebruikt circa 90.000 kWh per jaar. De meeste elektriciteit is benodigd voor de koelmachines bij de preparatie van de bollen (35%) en voor intern transport (19%). Een aanzienlijke energiepost is ook de belichting van het gewas in de kas (17%). Een recente ontwikkeling is de opkomst van meerlagensystemen waarbij het gewas verticaal wordt gestapeld. Omdat de bovenste lagen schaduw werpen op de ondergelegen lagen, is hierbij extra belichting nodig. Alhoewel er een toenemend gebruik is te verwachten van energiezuinige LED verlichting, waardoor de benodigde hoeveelheid energie per lichthoeveelheid afneemt, zal de totale hoeveelheid benodigde elektriciteit voor belichting sterk toenemen. Geschat wordt dat 33% extra elektriciteit nodig zal zijn voor belichting. Het totale elektriciteitsverbruik op een broeibedrijf kan met 9% toenemen bij toepassing van meerlagenteelt.

Tabel 5: de jaarlijkse warmtevraag op een typisch broei bedrijf

Proces	%	GJ	pot. η verb.	GJ
totaal	100%	3.316	-10%	3.644
kasverwarming	99%	3.283	-10%	3.611
overig	1%	33	0%	33

Op een gemiddeld broeibedrijf wordt jaarlijks circa 3300 GJ aan warmte gebruikt. De warmtevraag per hoeveelheid product zal op een broeibedrijf sterk afnemen bij meerlagenteelt. Doordat er meer gewas in dezelfde ruimte aanwezig is, hoeft er minder lucht te worden opgewarmd per geproduceerde bloem. De energie-efficiëntie zal sterk toenemen. Echter, het bedrijf in zijn totaliteit zal niet minder energie gebruiken, maar juist meer. Doordat er meer vocht moet worden afgevoerd zal het warmtegebruik licht stijgen. Alhoewel dit deels gecompenseerd wordt door warmteproductie van de extra belichting kan de warmtevraag met circa 10% toenemen. Daarbij is rekening gehouden met gebruik van efficiënte technieken voor ontvochtigen, zoals mechanisch ontvochtigen d.m.v. buitenlucht bijmenging.

3.2.3 Gecombineerde teelt- en broeibedrijven

Op een gecombineerd teelt- en broeibedrijf is per proces dezelfde energiebesparing mogelijk als op aparte teelt- of broeibedrijven. De mogelijke besparing op het totale energieverbruik van het bedrijf is afhankelijk van de verdeling tussen teelt- en broeiactiviteiten. Deze is verschillend voor bedrijven < 5 ha en > 5 ha.

Tabel 6: jaarlijkse elektriciteitsverbruik op een gemiddeld teelt-broeibedrijf > 5 ha

Proces	%	kWh	pot. η verb.	kWh
totaal	100%	221.509	18%	181.060
spoelen	1%	1.974	0%	1.974
drogen	2%	4.709	42%	2.731
verwerken	12%	27.492	0%	27.492
circulatie	25%	54.404	50%	27.202
ventilatie/koeling	26%	57.965	31%	39.720

intern transport	17%	37.216	0%	37.216
belichten	6%	13.951	-50%	20.926
Kas	4%	9.848	0%	9.848
bossen	4%	9.848	0%	9.848
opplanten	2%	4.103	0%	4.103

Tabel 6 beschrijft het elektriciteitsverbruik op een teelt-broeibedrijf > 5 ha. De processen voor de teelt zijn de grootste elektriciteitsverbruikers. Ventilatie/koeling en circulatie bij de bewaring verbruiken respectievelijk 26% en 25% van de elektriciteit op het bedrijf, op de voet gevolgd door intern transport (17%) en verwerking van de bollen (12%). De broeiprocessen, belichting, mechanische systemen in de kas en het bossen en opplanten, gebruiken samen slechts 16% van de elektriciteit op het gecombineerde teelt-broeibedrijf > 5 ha. Op het bedrijf is een besparing van 18% mogelijk op het totale elektriciteitsverbruik door toepassen van de eerder besproken maatregelen bij teelt en broeierij.

Tabel 7: jaarlijkse warmtevraag op een gemiddeld teelt-broeibedrijf > 5 ha

proces	%	GJ	pot. η verb.	GJ
Totaal	100%	2.889	18%	2.362
Teelt	47%	1.369	50%	691
Broei	53%	1.520	-10%	1.670

De warmtevraag op een typisch teelt-broeibedrijf > 5 ha is nagenoeg gelijk verdeeld over de teelt en broeiprocessen. 47 % van de warmte is benodigd bij de teelt en 53 % van de warmte in de broeierij (tabel 7). De gemiddelde warmtevraag op het bedrijf zal met 18% worden teruggedrongen door het toepassen van eerder besproken energie-efficiënte maatregelen.

Tabel 8: jaarlijkse elektriciteitsverbruik op een gemiddeld bedrijf < 5 ha

Proces	%	kWh	pot. η verb.	kWh
totaal	100%	47.478	15%	40.122
spoelen	1%	375	0%	375
drogen	2%	894	42%	519
verwerken	11%	5.221	0%	5.221
circulatie	22%	10.333	50%	5.166
ventilatie/koeling	27%	12.902	28%	9.303
intern transport (heftrucks)	17%	8.096	0%	8.096
belichten	8%	3.569	-50%	5.353
Kas	5%	2.519	0%	2.519
bossen	5%	2.519	0%	2.519
opplanten	2%	1.050	0%	1.050

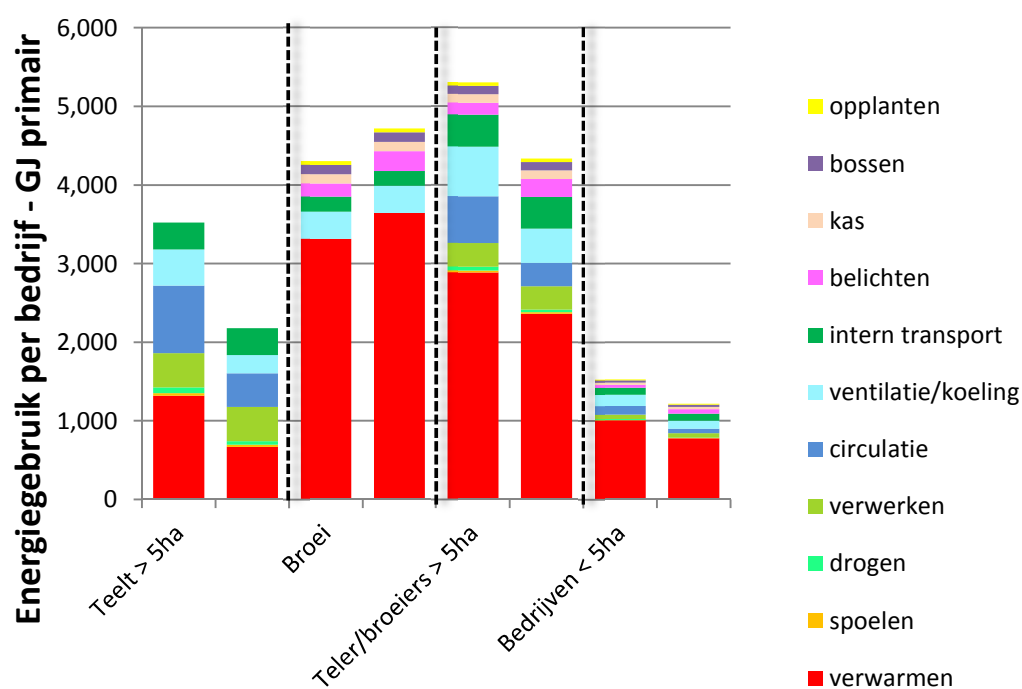
3.2.4 Gecombineerde bedrijven met minder dan 5 hectare teelt

Op een bedrijf < 5ha wordt vanzelfsprekend veel minder elektriciteit gebruikt dan op een bedrijf > 5ha. Het voornaamste elektriciteitsgebruik zit in dezelfde processen als op bedrijven > 5 ha. Ventilatie/koeling (27%) en circulatie (22%) nemen de grootste gedeeltes voor hun rekening, gevolgd door intern transport (17%) en verwerking (11%). Door het toepassen van energie-efficiënte maatregelen bij de processen is een totale vermindering van 15% te verwachten.

Tabel 9: jaarlijkse warmtevraag op een gemiddeld bedrijf < 5 ha

proces	%	GJ	pot. η verb.	GJ
totaal	100%	1.007	23%	778
Teelt	55%	553	50%	279
Broei	45%	454	-10%	499

Ook de warmtevraag op een teelt-broei bedrijf < 5ha is anders verdeeld dan bij bedrijven > 5 ha. Op kleine bedrijven vragen de teelt- en bewaaractiviteiten (55% van warmtevraag) meer warmte dan de broeiactiviteiten (45%). De mogelijke besparingen op de warmtevraag zijn vergelijkbaar. Een afname van 23% van de totale warmtevraag is te verwachten door toepassen van besparingsmaatregelen bij teelt- en broei processen.

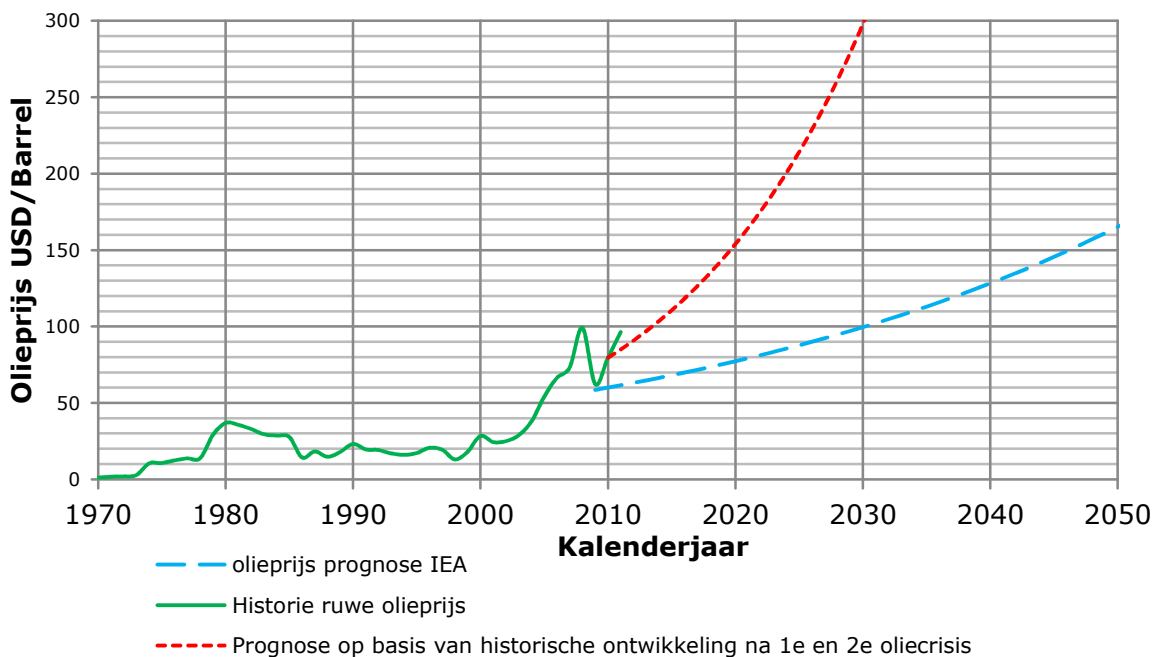


Figuur 3: Gemiddeld energiegebruik op een bedrijf van elk type, huidig en met de laatste stand van techniek

Figuur 3 geeft een overzicht van de verandering in de energiehuishouding op de vier typen bedrijven die zal plaatsvinden door de maximale energiebesparing toe te passen die mogelijk is met huidige technieken.

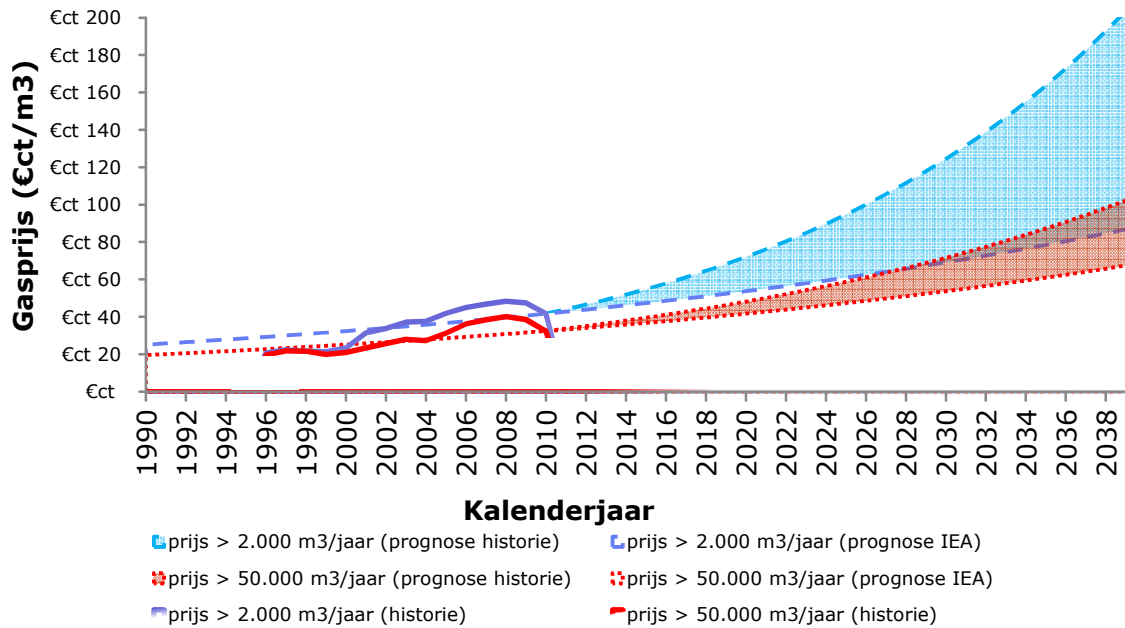
4 Prijsontwikkelingen van de huidige technologieën

De prijs van aardgas verkregen uit het aardgasnet wordt gebruikt om de vermeden kosten voor de warmtevraag te berekenen. Hierbij wordt verondersteld dat de kapitaal- en onderhoudskosten van de verwarmingsketel verwaarloosd kunnen worden omdat in de praktijk de brandstofkosten de grootste kostencomponent zijn. De elektriciteitsprijs wordt gebruikt om de vermeden kosten voor het elektriciteitsgebruik te berekenen. Ook hier geldt dat de aansluitkosten op het net vermeden zouden kunnen worden, maar dat dit in de praktijk zelden gebeurt, mede omwille van teruglevering. De prijzen die worden gehanteerd zijn inclusief levering en heffingen, maar exclusief BTW en aansluitkosten.



Figuur 4: Prijsontwikkeling ruwe olie 1970-heden

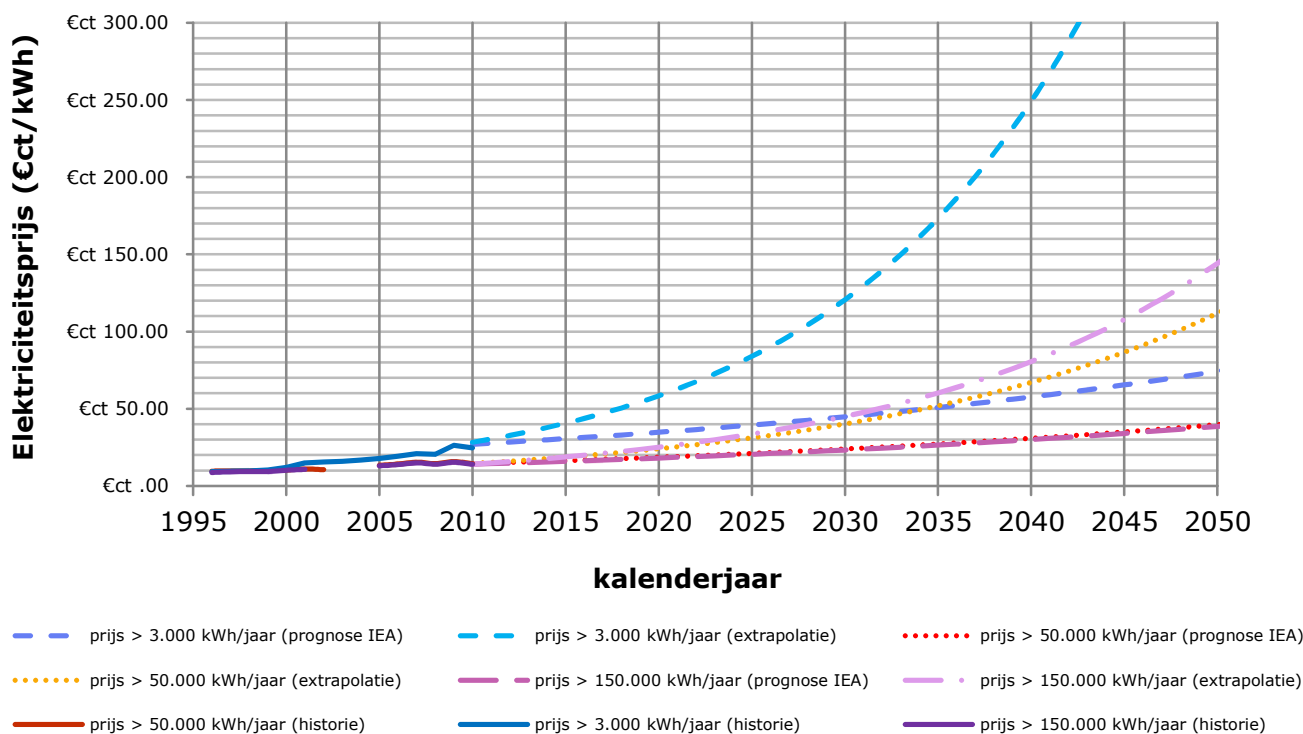
In Nederland zijn de gas en elektriciteitsprijzen naast onderhevig aan marktwerking ook sterk gekoppeld aan de olieprijs. Aardgas is namelijk een substituum voor aardolie (zogenaamde oliekoppeling), en van oorsprong worden lange termijn elektriciteitscontracten afgesloten op basis van de gasprijs. Een lange termijn voorspelling van de gas- en elektriciteitsprijs kan dus worden gebaseerd op de voorspellingen voor de olieprijs. Het internationaal energieagentschap (IEA) doet elk jaar de zogenaamde "World energy outlook" waarin kerngetallen en prognoses van de wereldenergievraag worden gegeven. Het IEA voorspelt, gecorrigeerd voor inflatie, een stijging van de ruwe olieprijs van 60,- USD / barrel in 2009 naar 113,- USD / barrel in 2035 (figuur 4, blauwe lijn) (IEA 2009). Dit is een stijging van 2,6% per jaar. Gezien de huidige stijging van de olieprijs die incidenteel al piekt boven de 120 USD / barrel is dit een conservatieve schatting. Sinds 1983, nadat de markt zich herstelde van de 2^e oliecrisis, is de ruwe olieprijs gemiddeld gestegen met 6,8% per jaar (figuur 4, groene lijn). Extrapolatie van het 2010 prijspeil naar de toekomst volgens de trendlijn van de historische ontwikkelingen voorspelt een veel snellere stijging (figuur 4, rode lijn).



Figuur 5: Ontwikkeling in de eindgebruikersprijs van aardgas (bron: CBS,2011)

De aardgasprijzen in Nederland zijn afhankelijk van het afgenomen volume. Grootverbruikers betalen minder dan kleinverbruikers. Van origine worden de tariefgroepen ingedeeld in '> 500 m³/jaar', '> 2000 m³/jaar', '> 50 000 m³/jaar' en '> 150 000 m³/jaar'². Voor "telers" en "teler/broeiers < 5ha" in de bloembollensector is de tariefgroep '> 2000 m³/jaar' van toepassing en voor "broeiers" en "teler/broeiers > 5 ha" de tariefgroep '> 50 000 m³/jaar'. De ononderbroken lijnen in figuur 5 geven de historische ontwikkeling van de prijzen in deze tariefgroepen weer (CBS 2011). Deze prijzen zijn inclusief heffingen (gecorrigeerd voor het tuinbouwtarief voor energiebelasting) en leveringskosten, maar exclusief BTW. Als deze prijzen worden geëxtrapoleerd volgens de jaarlijkse percentuele stijging van de afgelopen 14 jaar, gemiddeld 5,6 %, voorspelt dit een grote stijging (bovenste blauwe en rode stippellijn in figuur 5). Dit stijgingspercentage wordt genomen als bovengrens voor 'snelle stijging' zoals in scenario 1 en 2. Extrapoleren corresponderend met de door het IEA voorspelde stijging van de olieprijs van 2,6% per jaar leidt tot een gematigde, maar nog steeds aanzienlijke, stijging (onderste blauwe en rode stippellijn in figuur 5). Deze voorspelling wordt als ondergrens genomen voor 'matige stijging' zoals in scenario 3 en 4.

² Sinds de liberalisering van de energiemarkt zijn deze tariefgroepen officieel komen te vervallen en kunnen losse contracten 'op maat' worden afgesloten. Om toch onderscheid te maken tussen klein- en grootverbruikerstarieven hanteren we de indeling van voor de liberalisering.



Figuur 6: Ontwikkelingen in de eindgebruikersprijs van elektriciteit

Vergelijkbaar met de aardgasprijzen zijn ook de elektriciteitsprijzen afhankelijk van de afgenomen hoeveelheid. De relevante tariefgroepen voor de bloembollensector zijn: '3000 – 50.000kWh / jaar' voor kleine teelt of teeltbroeibedrijven < 5 ha, '50.000 – 150.000kWh / jaar' voor een gemiddeld broeibedrijf of teeltbedrijven > 5 ha en '> 150.000kWh / jaar' voor de grote teler-broeiers > 5 ha. De doorgetrokken lijnen in figuur 6 geven de historische ontwikkeling van de elektriciteitsprijzen in deze tariefgroepen weer in de periode tussen 1996 en 2010 (CBS 2011). Deze prijzen zijn inclusief de geldende energiebelastingen en leveringsheffingen, maar exclusief BTW. Met name de prijzen voor kleingebruikers (tariefgroepen tot 50.00kWh / jaar) zijn in de afgelopen 15 jaar sterk gestegen met 7,5% per jaar. Dit komt voor een deel door een sterk gestegen energiebelasting. De prijzen voor afnemers van grotere hoeveelheden stegen ook boven gemiddeld (respectievelijk 5,3 en 6,0% per jaar voor tariefgroepen '50.000 – 150.000kWh / jaar' en '> 150.000kWh / jaar'). Als deze historische trends worden geëxtrapoleerd naar de toekomst valt een toenemende stijging te verwachten (de bovenste blauwe, lichtpaarse en oranje stippellijnen in figuur 6). Deze stijging wordt als bovengrens genomen voor 'snelle stijging' zoals in scenario 1 en 2. Als de huidige elektriciteitsprijzen van de verschillende tariefgroepen worden doorgetrokken met 2,6% per jaar, zoals voorspeld voor de olieprijs door het IEA, valt nog steeds een stijging te verwachten, maar aanzienlijk lager dan gegeven de historische trend (de onderste blauwe, donkerpaarse en rode stippellijnen in figuur 6). Er wordt een voorspelde stijging genomen van 2,6% per jaar als ondergrens voor 'matige stijging' in scenario 3 en 4.

Tabel 10: Duurzame energietechnologieën, geordend per duurzame bron

Duurzame bron	Technologie	Energiedrager	Gangbare benaming of toepassing	Specifieke investerings kosten	Verwacht Economisch rendement	Ontwikkelings-stadium	toepasbaarheid in bollensector
Aardwarmte	Geothermie	Stoom	Aardwarmte	hoog	hoog	Praktijktests	gemiddeld
Zon (direct)	Zonnethermie	warme lucht	Zonnedak	gemiddeld	hoog	Commercieel	hoog
	Photo Voltaïsch (PV)	Elektriciteit	Zonnecel	hoog	hoog	Commercieel	zeer hoog
	Thermoelektrisch (thompson effect)	Elektriciteit	Thermokoppel	hoog	gemiddeld	Laboratorium	zeer laag
Wind	Windturbine	Elektriciteit	Windmolens	gemiddeld	hoog	Commercieel	zeer hoog
Water	Hydro-elektrisch	Elektriciteit	Waterkrachtcentrale	hoog	hoog	Ver ontwikkeld	laag
	Osmose	Elektriciteit	Blue energy	hoog	gemiddeld	Laboratorium	zeer laag
Biomassa	Anaerobe fermentatie	Biogas	Vergisting	gemiddeld	hoog	Praktijkdemo	hoog
	Thermische conversie	Warme lucht	Verbranding	Laag	gemiddeld	Commercieel	hoog
	Vergassing	Syn gas	Houtvergasser / houtgasgenerator	laag	hoog	Praktijktests	hoog
	Pyrolyse + Fischer tropisch	Biodiesel	Dieselmotor	hoog	laag	Laboratorium	laag
	Pyrolyse + Methanolisatie	Biomethanol	Ottomotor	hoog	laag	Laboratorium	laag
	Hydro Thermal Upgrading	Bio-olie	Dieselmotor	hoog	laag	Laboratorium	laag
	Fermentatie	Bio-ethanol	Ottomotor	hoog	laag	Laboratorium	laag
Oceanisch	Getijde	Elektriciteit	-	hoog	hoog	Ver ontwikkeld	laag
	Golfslag	Elektriciteit	-	hoog	hoog	Ver ontwikkeld	laag

5 Overzicht van duurzame technologieën

Tabel 10 geeft een overzicht van bij onderzoekers van PPO bekende energietechnologieën die putten uit een duurzame bron. Per technologie is een inschatting gemaakt van de hoogte van de investeringskosten, het verwachte economische rendement, het ontwikkelingsstadium en de toepasbaarheid op bloembollenbedrijven. Hieruit komen zeven technologieën naar voren die het meest interessant zijn voor de bloembollensector: Windturbines, zonnepanelen (Foto Voltaïsch), biomassavergisting, biomassaverbranding, biomassavergassing (WKK), aardwarmte en zonnethermie (zonnedak). Zonnedaken zijn eerder onderzocht door PPO en haalbaar voor de bloembollensector bevonden (Rijssel and Hazelaar 2003) en deze techniek zal daarom in dit rapport niet verder worden behandeld. De overige technieken worden financieel doorgerekend. Voor windturbines en zonnepanelen wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende groottes om een inschatting te maken op welke schaal de techniek het beste kan worden toegepast. Biomassavergisting wordt uitgesplitst in covergisting met mest en monovergisting (alleen groenafval) en in een variant waarbij het geproduceerde biogas direct wordt gebruikt voor warmteopwekking of voor zowel warmteopwekking als elektriciteitsproductie middels een warmte krachtkoppeling.

6 Technologie 1: Wind op land

Onder deze technologie wordt verstaan het omzetten van windenergie middels een generator naar elektriciteit. Het vermogen dat in een windturbine wordt opgewekt is variabel en afhankelijk van de windsnelheid. Als meer elektriciteit wordt opgewekt dan op dat moment kan worden gebruikt op het bedrijf, dan wordt het overschot teruggeleverd aan het elektriciteitsnet. Windturbines op het land zijn beschikbaar in verschillende groottes. We onderscheiden groot, middel en klein. Onder grootschalige windtechnologie op het land worden windturbines met een vermogen tussen de 2 en 3 MW_e verstaan. Windturbines van een gemiddelde grootte zijn 80-250kW_e. Kleine windturbines worden geleverd met vermogens rond de 2kW_e.

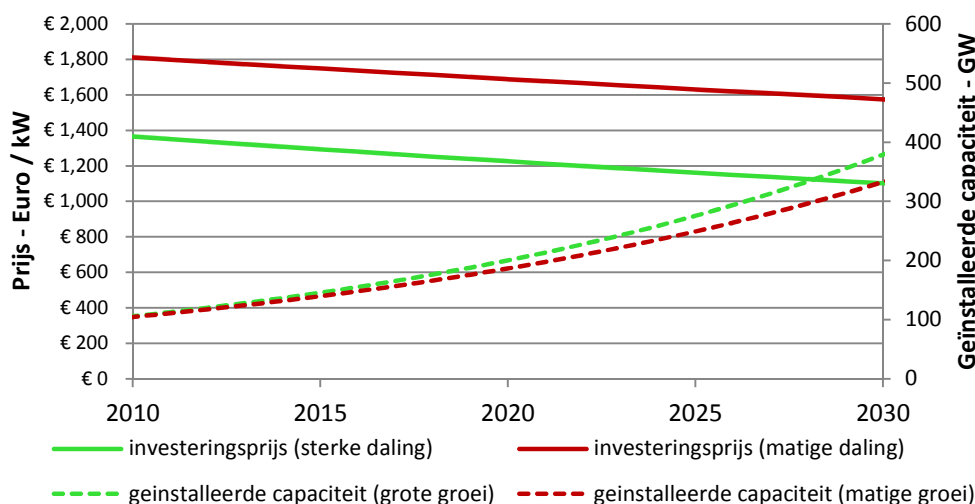
6.1 Wind op land – Groot (2-3MW)

Tabel 11: Brongegevens wind op land - groot

	eenheid	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Bronnen
Leerratio (inv. prijs)	%	8%	11%	8%	11%	(McDonald and Schratzenholzer 2001; Schoots 2010)
Specifieke investeringskosten	€ / KW	1875	1350	1875	1350	(Lensink, Wassenaar et al. ; Junginger, Lako et al. 2008; Schoots 2010)
Bijkomende kosten ¹	% inv.	2,67%	1,19%	2,67%	1,19%	(Lensink, Wassenaar et al.)
O&M variabel ²	€ / kWh	0,011	0,011	0,011	0,011	(Lensink, Wassenaar et al.)
Bedrijfstijd (vollast uren)	uren/jaar	1800	2200	1800	2200	(Lensink, Wassenaar et al. ; DWA 2008; Schoots 2010; Baal 2011)
Economische levensduur	jaren	15	15	15	15	(Lensink, Wassenaar et al.)
Typische installatie grootte	kW _e	1800	3000	1800	3000	(Lensink, Cleijne et al. 2009)

¹ Netwerkaansluiting, grondkosten

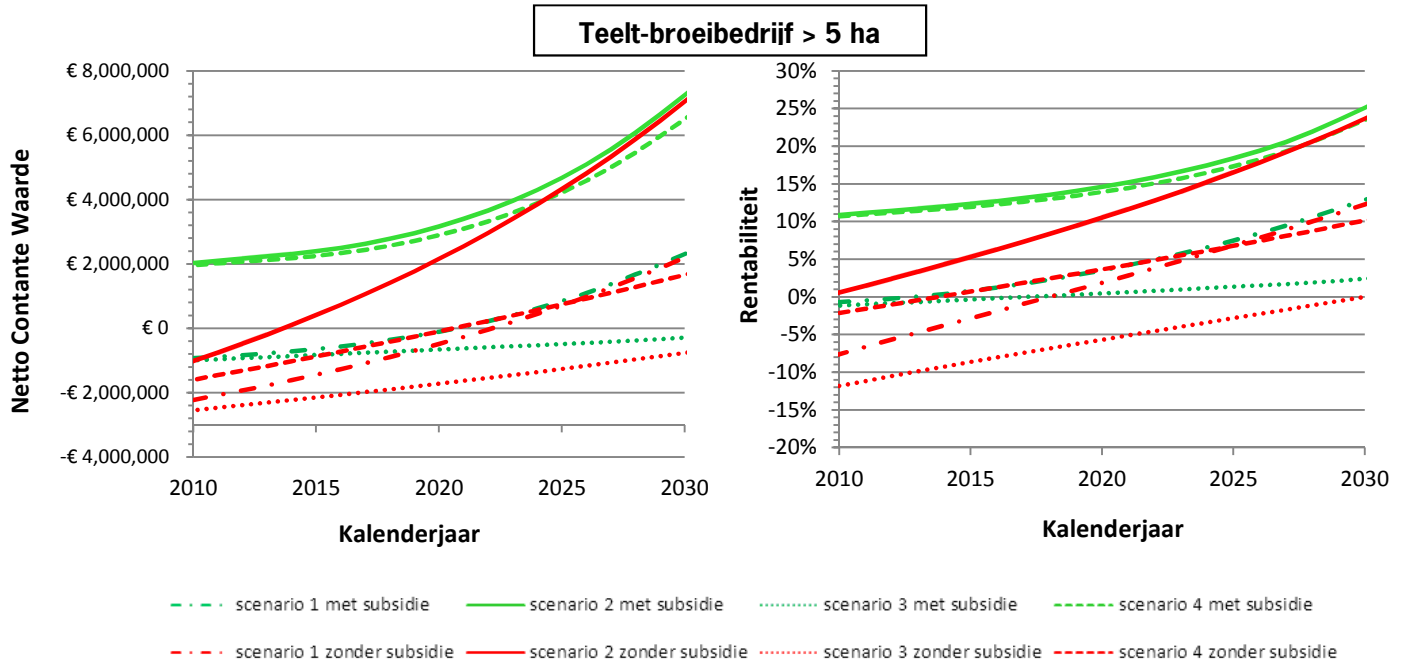
² Onderhoud en verzekeringen



Figuur 7: verwachte daling van de investeringskosten en toename van geïnstalleerde capaciteit voor windtechnologie groot – 2-3MW

Voor windtechnologie op het vaste land is een leerratio te verwachten van tussen de 11 % (Schoots 2010) en 8 % (McDonald and Schratzenholzer 2001). In 2010 was de totale geïnstalleerde capaciteit aan windturbines van alle groottes 93 GW (CBS, 2011). Voor 2050 is een toename naar minimaal 1060GW en

maximaal 1360GW te verwachten (Schoots 2010). Relatief gezien zit windtechnologie al redelijk ver in de ontwikkelingscurve en zal de investeringsprijs niet meer met grote schreden afnemen. De verwachte prijsdaling van de specifieke investeringskosten van grote windturbines als functie van de geïnstalleerde capaciteit is afgebeeld in figuur 7.



Figuur 8: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in windenergie groot – 2-3MW per kalenderjaar (teelt-broeibedrijf > 5 ha)

Op basis van de verwachte prijsdaling zijn de netto contante waarde (NCW) en rentabiliteit van een investering in een grote windturbine berekend (figuur 8). Vanwege het grote vermogen van een windturbine met 2-3MW, ten opzichte van het benodigde vermogen op een gemiddeld bloembollenbedrijf is de economische situatie nagenoeg gelijk voor alle vier typen bedrijven. Voor alle bedrijven wordt circa 6.500 MWh teruggeleverd aan het net en slechts 40-180MWh gebruikt op het bedrijf zelf. Financieel gezien is teruglevering een minder interessante optie dan eigen gebruik, omdat een hogere prijs wordt vermeden bij eigen gebruik dan wordt verkregen bij teruglevering. Desalniettemin heeft een investering in een grote windturbine een positieve NCW indien subsidie wordt verkregen en de technologische omstandigheden gunstig zijn (scenario's 2 en 4). Ook zonder subsidie is een grote windmolen naar verwachting vanaf 2014 al kostendekkend voor een gemiddeld bloembollen bedrijf als de technologische omstandigheden gunstig zijn en de energieprijzen sterk stijgen. Daar staat tegenover dat een initiële investering van circa € 5.000.000 nodig is voor aanschaf en plaatsing van de installatie. De rentabiliteit van de totale investering is dus relatief laag. Alleen bij een sterke daling van de technologieprijs (scenario's 2 en 4) én indien subsidie wordt verkregen, heeft een grote windturbine een verwachte rentabiliteit boven de 10%. In geval geen subsidie wordt verkregen, wordt deze grens in het meest gunstige geval (scenario 2) pas in 2020 bereikt. Vanaf 2030 is de verwachting dat een investering in een grootschalige windturbine onder nagenoeg alle omstandigheden financieel interessant is.

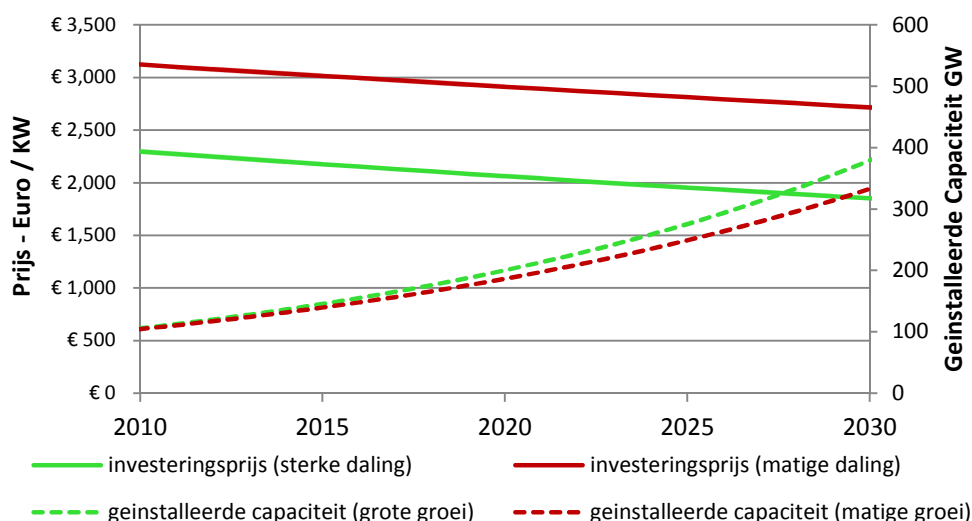
6.2 Wind op land – Middelgroot (80-250kW)

Tabel 12: Brongegevens wind op land - middel

	eenheid	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Bronnen
Leerratio (investeringsprijs)	%	8%	11%	8%	11%	(McDonald and Schratzenholzer 2001; Schoots 2010)
Specifieke investeringskosten	€ / KW	3123	2271	3123	2271	(ES Renewables Ltd 2011; WES 2011)
Bijkomende kosten ¹	% inv.	1,15%	0,51%	1,15%	0,51%	(Lensink, Wassenaar et al.)
O&M variabel ²	€ / kWh	0,011	0,011	0,011	0,011	(Lensink, Wassenaar et al.)
Bedrijfstijd (vollast uren)	uren/jaar	1800	2400	1800	2400	(Lensink, Wassenaar et al. ; DWA 2008; Schoots 2010; Baal 2011) WES 2011)
Economische levensduur	jaren	20	20	20	20	(ES Renewables Ltd 2011; WES 2011)
Typische installatie grootte	kWe	80	250	80	250	(ES Renewables Ltd 2011; WES 2011)

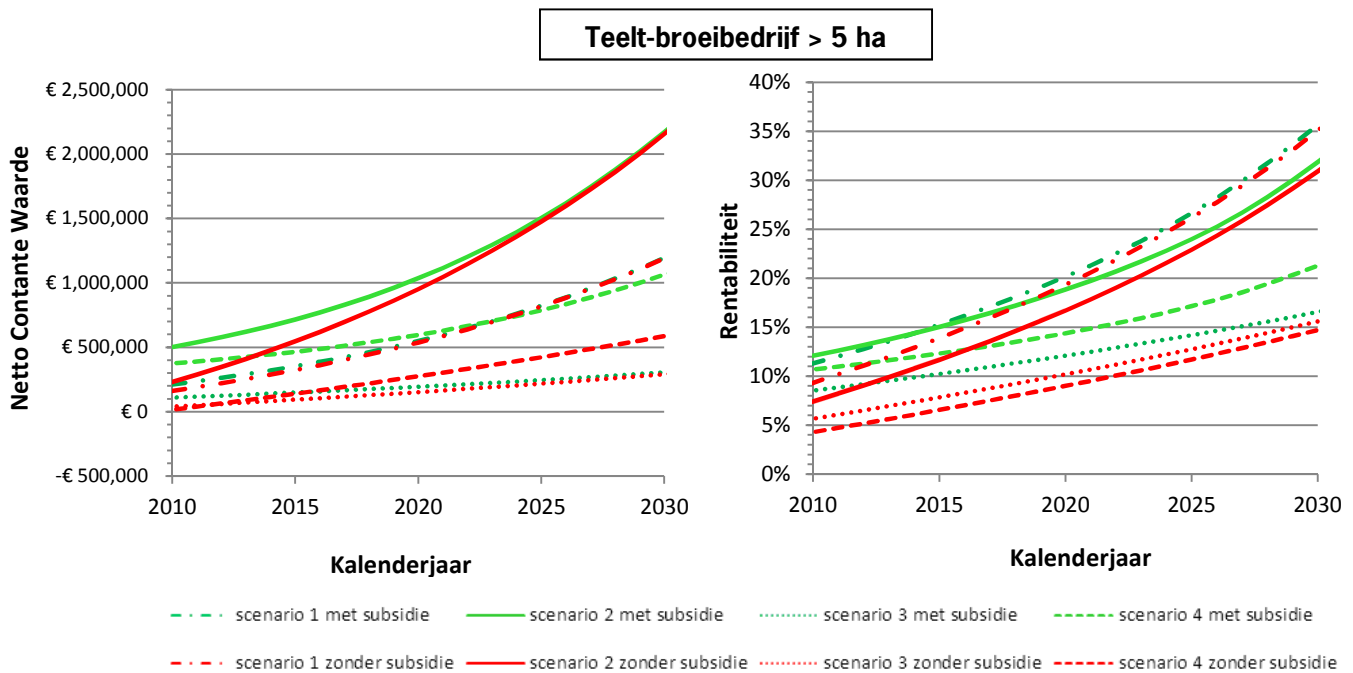
¹ Netwerkaansluiting, grondkosten

² Onderhoud en verzekeringen



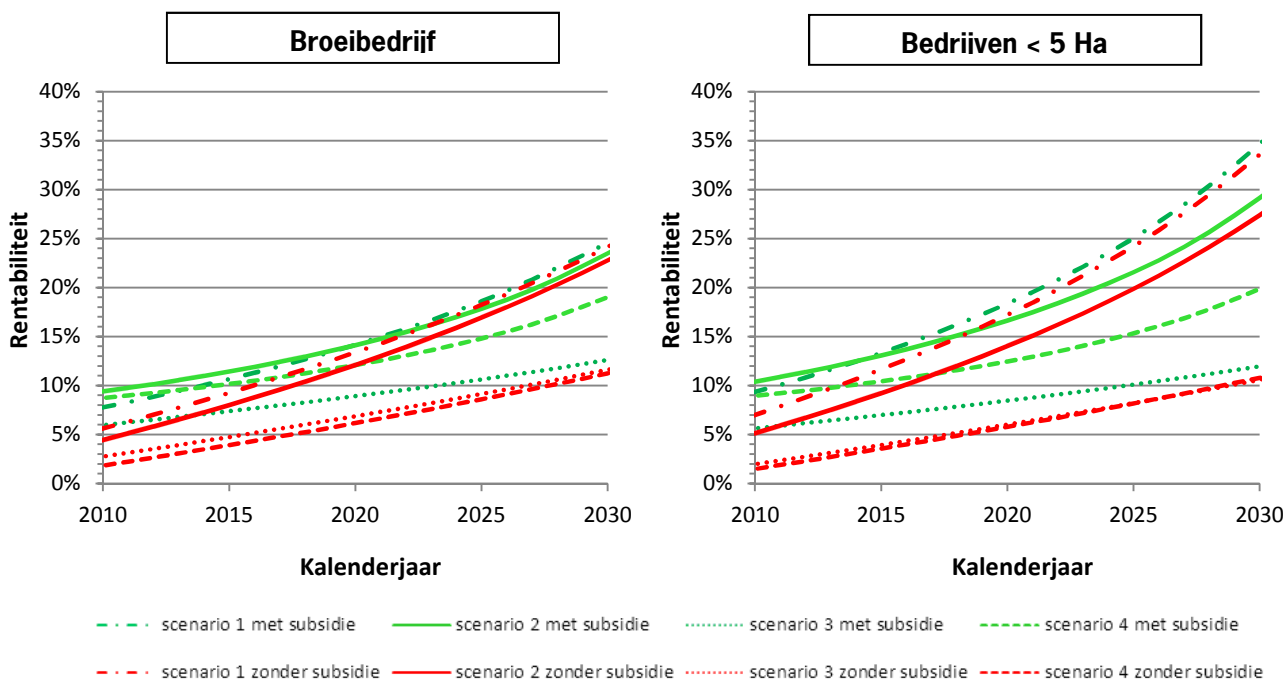
Figuur 9: verwachte daling van de investeringskosten en toename van geïnstalleerde capaciteit voor windtechnologie middelgroot 80 - 250 kW

Middelgrote windtechnologie op het vaste land wordt verondersteld onder dezelfde leerratio en capaciteitsgroei te vallen als grote turbines. De prijs van middelgrote windturbines ligt tussen de 2300 €/kW en 3100 €/kW (ES Renewables Ltd 2011; WES 2011) Voor middelgrote windturbines is de verwachte prijsdaling van de specifieke investeringskosten als functie van de geïnstalleerde capaciteit afgebeeld in figuur 9.



Figuur 10: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in windenergie middelgroot – 80-250kW per kalenderjaar (teelt-broeibedrijf > 5 ha)

Op basis van de verwachte prijsdaling zijn de netto contante waarde en rentabiliteit berekend van een investering in een middelgrote windturbine door een gemiddeld bloembollenbedrijf van elk type. Voor bloembollenbedrijven met een grote elektriciteitsvraag, teeltbedrijven > 5 ha en teelt-broeibedrijven > 5 ha, is de verwachte NCW van een investering in een middelgrote windturbine in alle gevallen positief (figuur 10). In de nabije toekomst zal de NCW van een dergelijke investering alleen maar toenemen. De grootte van de benodigde investering is circa € 500.000 voor een 250kW model en € 250.000 voor een 80 kW model. Met subsidie is de rentabiliteit voor deze twee bedrijfstypes al snel hoger dan 10 %. Voor Teelt-broeibedrijven > 5 valt dit vanaf 2014 te verwachten. Voor teeltbedrijven > 5 ha is dit voorspeld vanaf 2019. Maar ook zonder subsidie worden middelgrote windturbines naar verwachting financieel aantrekkelijk. Anno 2011 is de voorspelde rentabiliteit al minimaal 6 % en vanaf 2020 valt in alle scenario's een rentabiliteit groter dan 10% te verwachten.



Figuur 11: Prognoses rentabiliteit voor een investering in windenergie middel – 80-250kW per kalenderjaar (**Links: broeibedrijf, Rechts: bedrijf < 5 ha**)

Voor een gemiddeld broeibedrijf en voor een teelt-broeibedrijf < 5 ha is een middelgrote windturbine financieel minder aantrekkelijk dan voor een teeltbedrijf > 5 ha of een teelt-broeibedrijf > 5 ha, maar nog steeds zijn de verwachtingen gunstig. Omdat de elektriciteitsvraag op deze eerste twee bedrijfstypes een stuk lager is, kan minder van de opgewekte elektriciteit op het eigen bedrijf worden gebruikt. Op een gemiddeld teeltbedrijf > 5 ha wordt weliswaar minder elektriciteit gebruikt dan op een broeibedrijf, maar het kleinverbruikerstarief dat op deze bedrijven betaald moet worden is relatief hoog, waardoor de NCW in verschillende scenario's op beide bedrijfstypes ongeveer gelijk is. Voor bedrijven < 5 ha is in scenario 3 en 4 (matige stijging energieprijis) zonder subsidie tot 2015 een negatieve netto contante waarde te verwachten. Voor broeibedrijven is dit tot 2013 het geval. Op beide van deze bedrijfstypen wordt verwacht dat de rentabiliteit van een investering in middelgrote windenergie in de komende jaren gestaagd toeneemt (figuur 11). Vanaf respectievelijk 2022 en 2024 heeft een investering waarop subsidie wordt verkregen voor broeibedrijven en voor bedrijven < 5 ha naar verwachting een rentabiliteit boven de 10%. Vanaf 2025 neemt de rentabiliteit van middelgrote windturbines voor kleine bedrijven < 5 ha snel toe, met name in scenario's 1 en 2 (figuur 11, rechts). Dit wordt verklaard door de kleinverbruikerstarieven waarvan gezien de historische trends valt te verwachten dat deze sneller zullen stijgen dan de grootverbruikerstarieven.

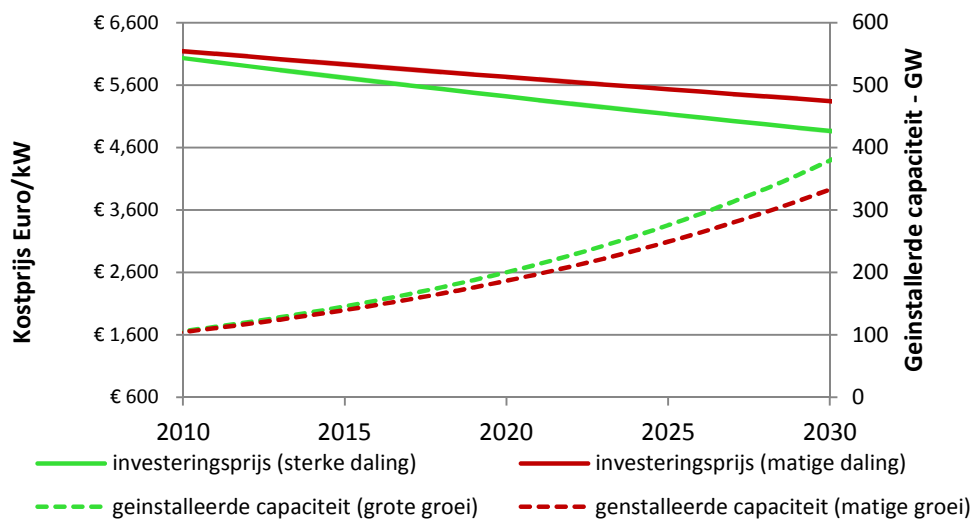
6.3 Wind op land – klein (2kW)

Tabel 13: Brongegevens wind op land - klein

	eenheid	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Bronnen
Leerratio (inv. prijs)	%	8%	11%	8%	11%	(McDonald and Schratzenholzer 2001; Schoots 2010)
Specifieke investeringskosten	€ / KW	6100	5967	6100	5967	(Terbijhe, van der Voort et al. 2010; Duurzaamthuis 2011)
Bijkomende kosten ¹	% inv.	0,43%	0,43%	0,43%	0,43%	(Lensink, Wassenaar et al. ; Duurzaamthuis 2011)
O&M variabel ²	€ / kWh	0,011	0,011	0,011	0,011	(Lensink, Wassenaar et al.)
Bedrijfstijd (vollasturen)	uren/jaar	2109	2200	2109	2200	(Duurzaamthuis 2011; duurzame-energiebronnen.nl 2011)
Economische levensduur	jaren	15	20	15	20	(Terbijhe, van der Voort et al. 2010)
Typische installatie grootte	kWe	1,8	1,8	1,8	1,8	(skydream 2011)

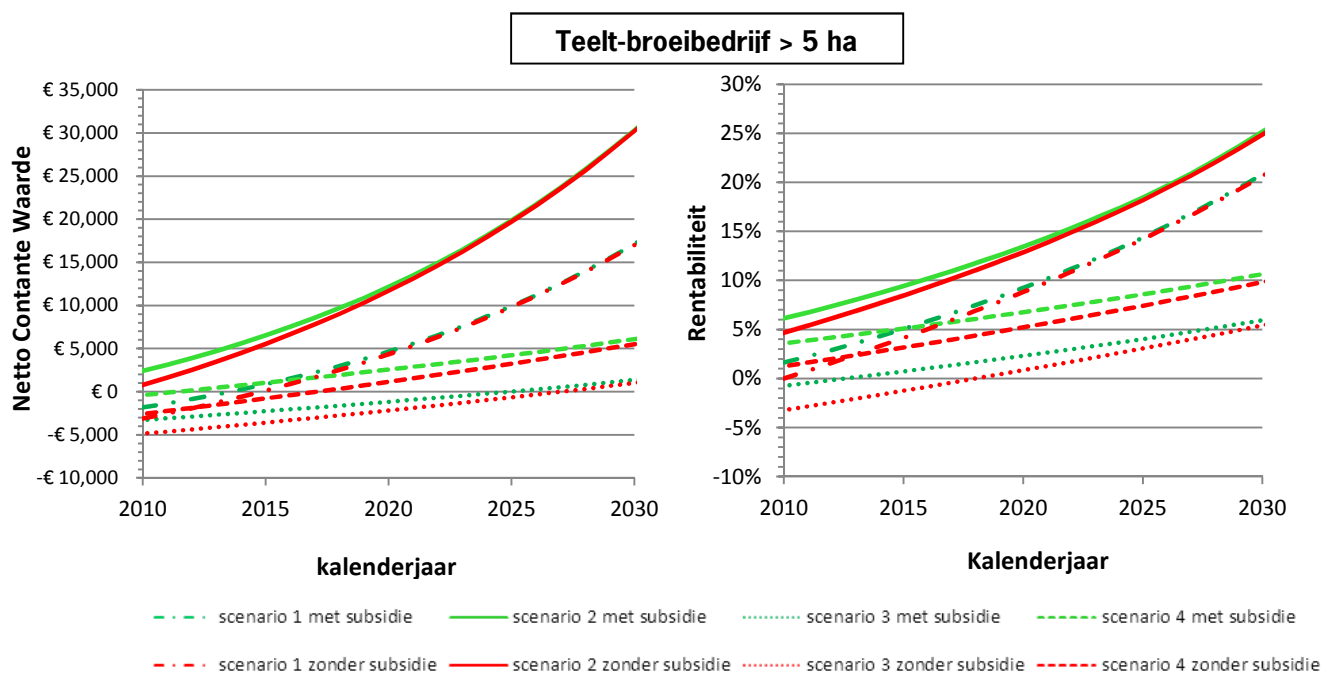
¹Netwerkaansluiting, grondkosten

²Onderhoud en verzekeringen



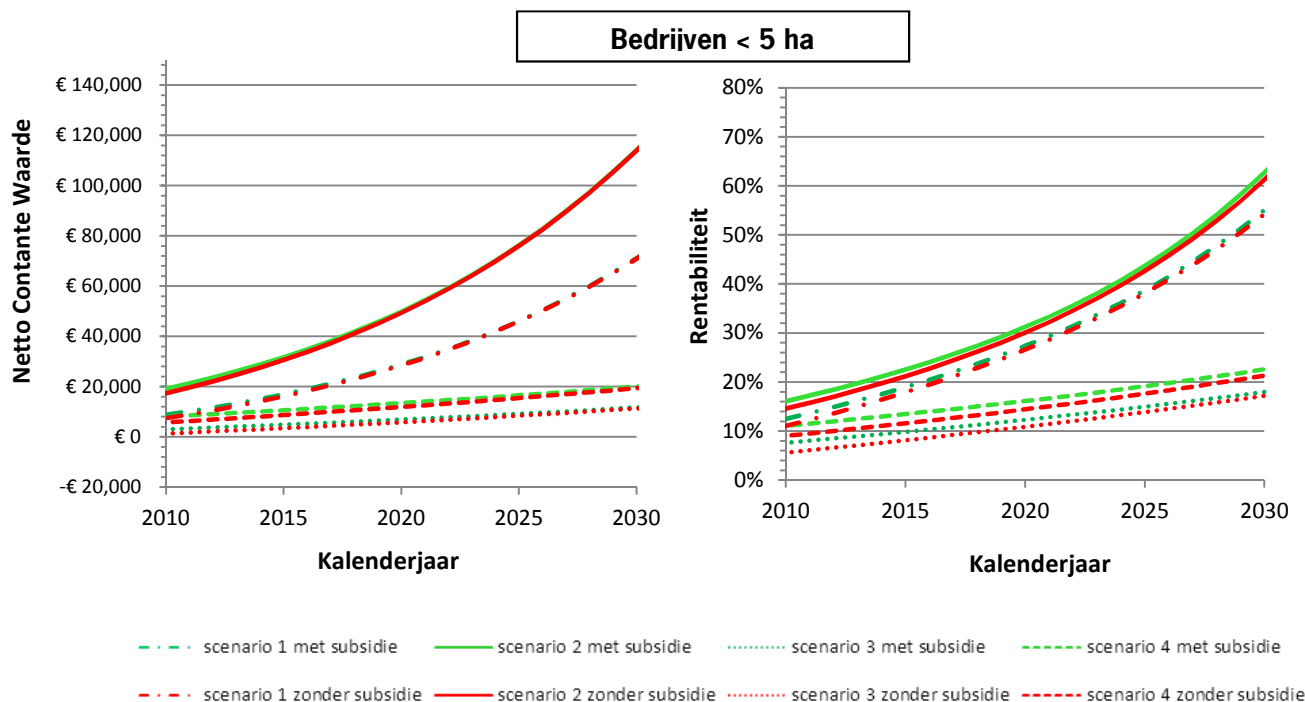
Figuur 12: verwachte daling van de investeringskosten en toename van geinstalleerde capaciteit voor windtechnologie klein 2 kW

Ook kleine windturbines op het vaste land worden verondersteld onder dezelfde leerratio en capaciteitsgroei te vallen als grote turbines. Voor kleinschalige windtechnologie zal de voorspelde kostprijddaling, in vergelijking met middelgrote en grote windturbines, waarschijnlijk aan de hoge kant zijn. De totale capaciteitsgroei van windenergie in Nederland is voorspeld te groeien van 93 GW in 2010 (CBS, 2011) naar 1060GW tot 1360GW in 2050 (Schoots 2010). Voor kleine windturbines is de verwachte prijsdaling van de specifieke investeringskosten als functie van de geinstalleerde capaciteit afgebeeld in figuur 12.



Figuur 13: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in windturbines klein-2kW (teelt-broeibedrijf > 5 ha)

Op basis van de verwachte prijsdaling zijn de netto contante waarde (NCW) en rentabiliteit berekend van een investering in een kleine windturbine door een gemiddeld bloembollenbedrijf van elk type. Voor een teelt-broeibedrijf > 5ha, een broeibedrijf of teeltbedrijven > 5 ha is de NCW en rentabiliteit vergelijkbaar omdat de opgewekte hoeveelheid elektriciteit (circa 4000kWh) geheel op het eigen bedrijf kan worden gebruikt. De NCW van een investering in een kleine windturbine is in de scenario's 1,2 en 4 vanaf 2016 positief voor deze drie bedrijfstypes. Alleen in het meest ongunstige scenario, wanneer zowel de energieprijzen slechts matig stijgen en de technologieprijs slechts langzaam daalt, is de voorspelling dat het zonder subsidie tot 2026 duurt voordat een positieve NCW valt te verwachten (figuur 13, links). Een gemiddelde investering voor een kleine windturbine ligt rond de € 12.000. Vanwege de hoge aanschafprijs in relatie tot de geproduceerde hoeveelheid energie, is de invloed van subsidie (die bedoeld is voor grotere, efficiëntere windturbines) marginaal. De verwachte rentabiliteit van een dergelijke investering is op deze bedrijven in ieder geval tot 2016 nog lager dan 10%. Voor kleinschalige windturbines is het van belang dat de technologieprijs snel daalt. In dat geval is het de verwachting dat vanaf 2016 de rentabiliteit hoger is dan 10% (figuur 13, rechts).



Figuur 14: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in windturbines klein-2kW (bedrijven < 5 ha)

Door het hoge kleinverbruikerstarief dat deze bedrijven betalen voor elektriciteit is een kleine windturbine voor teelt en teelt-broeibedrijven < 5 ha aantrekkelijker dan voor grotere bedrijven. De verwachte NCW van een investering in kleinschalige windenergie is in alle scenario's positief. Ook de verwachte rentabiliteit is in alle scenario's groter dan 6%. Met name in scenario's 2 en 4 (sterke daling van de technologieprijs) wordt verwacht dat de rentabiliteit fors zal stijgen. In scenario's 1, 2 en 4 ligt de verwachte rentabiliteit vanaf 2015 boven de 10%. Alleen in het meest pessimistische scenario 3 is een rentabiliteit boven de 10% pas vanaf 2018 te verwachten.

7 Technologie 2: Zon PV

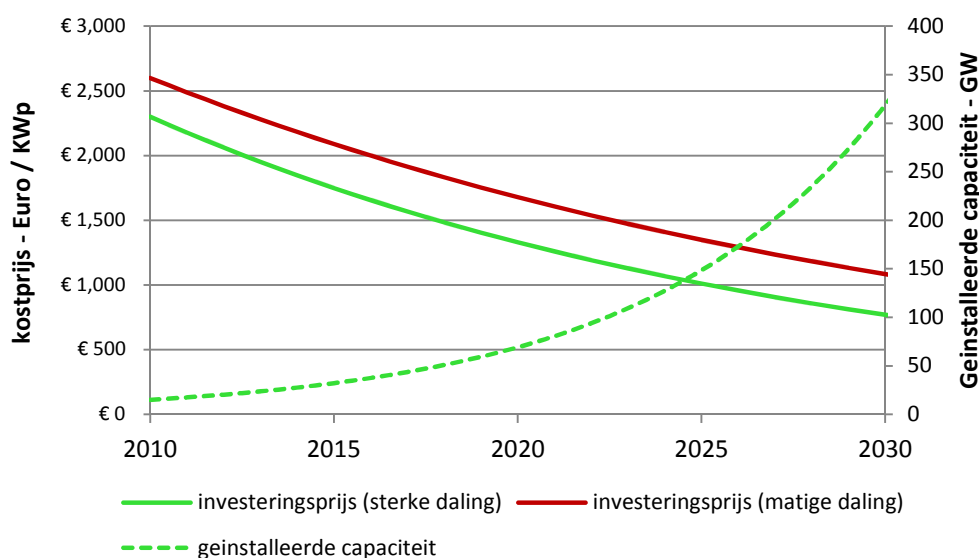
Bij foto voltaïsche zonne-energie (zon PV), ook wel zonnepanelen genoemd, wordt instralend zonlicht omgezet in een potentiaalverschil waardoor een elektrische stroom kan worden gerealiseerd. De hoeveelheid opgewekte elektriciteit is afhankelijk van de hoeveelheid instraling en de plaatsing van de panelen. In Nederland verschilt de hoeveelheid instraling per locatie nooit meer dan enkele procenten (Huld and Dunlop 2011). Er wordt van uitgegaan dat de panelen onder een optimale hoek en positie worden geplaatst. Net als bij windturbines kan het opgewekte vermogen zeer verschillend zijn van moment tot moment, bovendien wordt er 's nachts geen elektriciteit opgewekt. Daarom wordt uitgegaan van een installatie die gekoppeld is aan het elektriciteitsnet. De geproduceerde hoeveelheid elektriciteit wordt zoveel mogelijk op het eigen bedrijf gebruikt en overschotten worden teruggeleverd aan het net. We onderscheiden grote installaties met een vermogen van 100kWp en kleine installaties met een vermogen van 3,5kWp.

7.1 Zon PV - groot (100 kWp)

Tabel 14: Brongegevens zon PV - groot

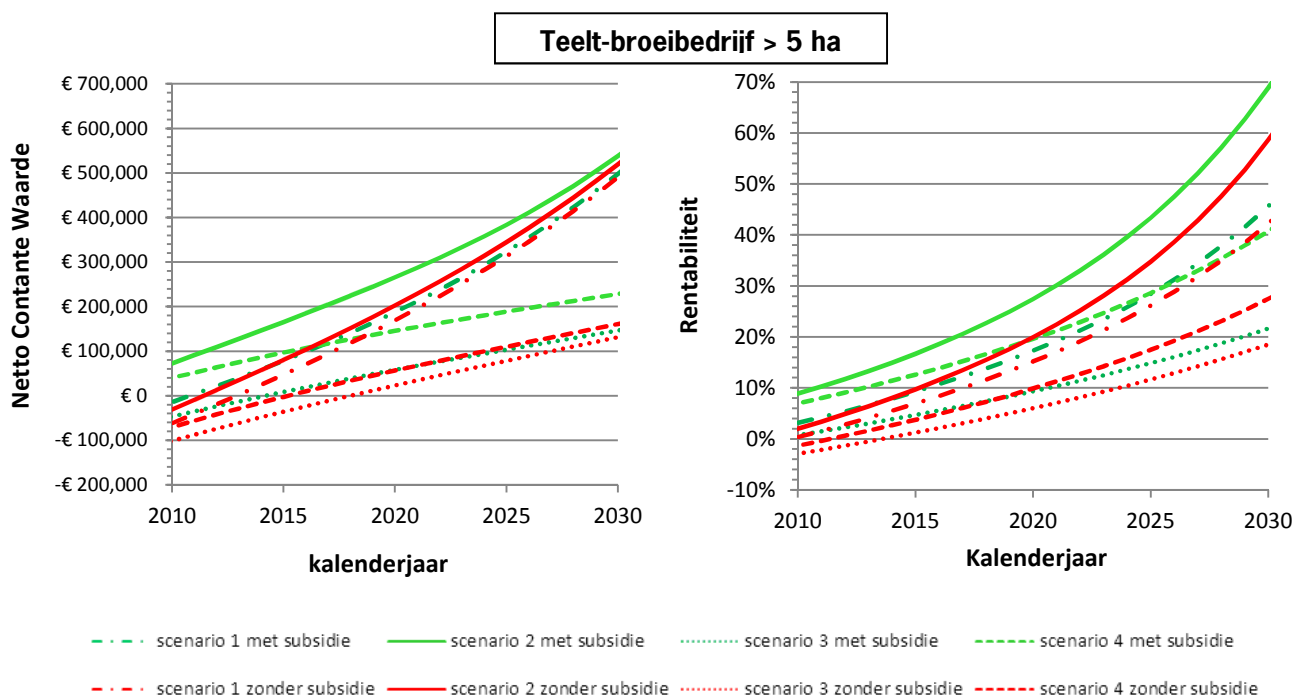
	eenheid	Scenario 1 & 3	Scenario 2 & 4	Bronnen
Leerratio (inv. prijs)	%	18%	22%	(McDonald and Schratzenholzer 2001; Schoots 2010)
Specifieke investeringskosten	€/ KW	2600	2300	Lensink, Wassenaar et al.)
Vast O&M	% inv.	0%	0%	(Lensink, Wassenaar et al. ; Duurzaamthuis 2011)
O&M variabel ¹	€/ kWh	€ 0,025	€ 0,025	(Lensink, Wassenaar et al.)
Bedrijfstijd (vullasturen)	uren/jaar	850	850	Lensink, Wassenaar et al.)
Economische levensduur	jaren	15	15	Lensink, Wassenaar et al.)
Typische installatie grootte	kWe	100	100	Lensink, Wassenaar et al.)

¹ Onderhoud en verzekeringen



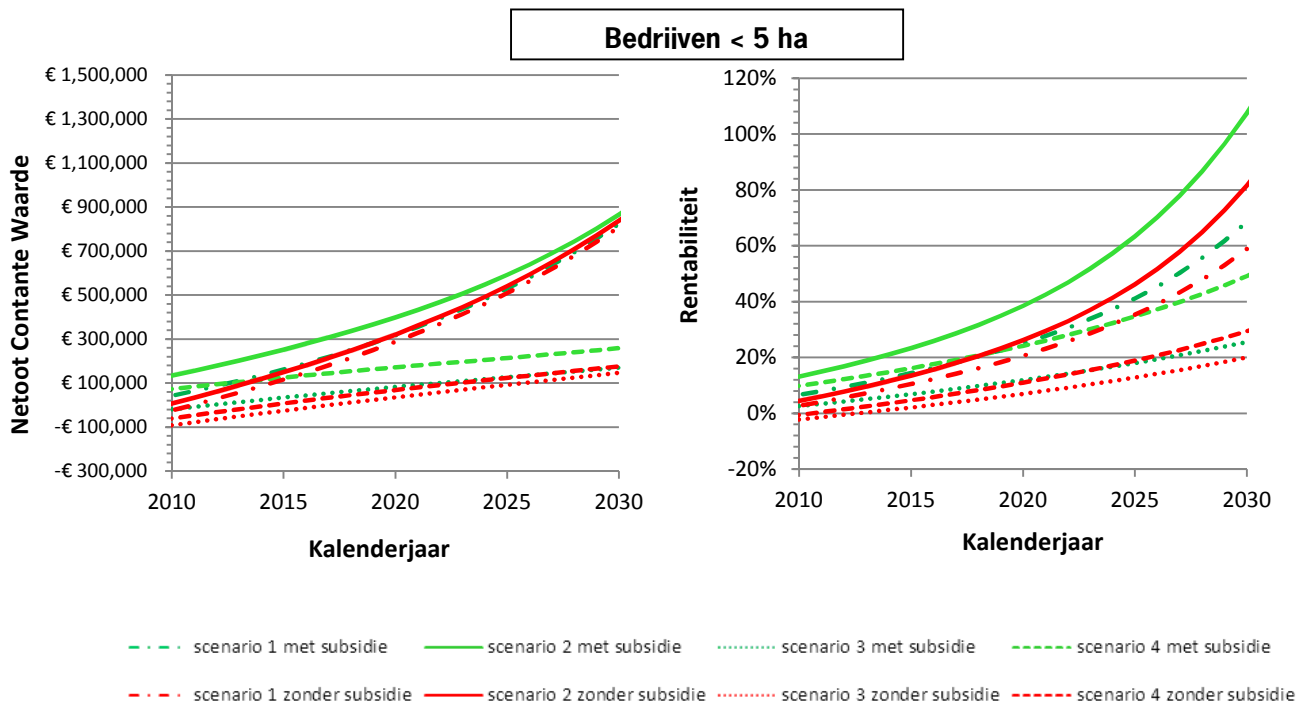
Figuur 15: verwachte daling van de investeringskosten en toename van geïnstalleerde capaciteit voor Zon PV (100 kW)

Voor fotovoltaïsche zonnetechnologie is een hoge leerratio te verwachten van tussen de 18 % en 22 % (McDonald and Schrattenholzer 2001). In 2010 was de totale geïnstalleerde capaciteit aan kleine en grote zonnepanelen 15 GW (CBS, 2011). Voor 2045 is een toename naar circa 3112GW voorspeld van de totale geïnstalleerde capaciteit aan zon PV in Nederland (Schoots 2010). Voor Zon PV zijn nog grote ontwikkelingen te verwachten, daarnaast zal de penetratiegraad in de komende jaren sterk toenemen. De verwachte prijsdaling van de specifieke investeringskosten van grote zonnepanelen als functie van de geïnstalleerde capaciteit is afgebeeld in figuur 15.



Figuur 16: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in zon PV groot (100kWp) (teelt-broeibedrijf > 5 ha)

De NCW en rentabiliteit zijn berekend van een investering in een 100kW PV installatie door een gemiddeld bloembollenbedrijf van elk type. Voor een teelt-broeibedrijf > 5ha, een broeibedrijf of een teeltbedrijf > 5 ha zijn de NCW en rentabiliteit vergelijkbaar omdat de opgewekte hoeveelheid elektriciteit (circa 85000kWh) geheel op het eigen bedrijf kan worden gebruikt. Voor deze drie grote bedrijfstypes is de voorspelde NCW voor een investering in PV anno 2011 alleen positief indien subsidie wordt verkregen en er een gunstige technologieprijs wordt verondersteld (scenario's 2 en 4 – zie figuur 16 links). Maar in de nabije toekomst nemen de verwachte NCW's flink toe. In een ongunstige technologische situatie (scenario 1 en 3) maar met subsidie is de NCW van een investering in een grote PV installatie al vanaf 2014 positief. Maar ook zonder subsidie kan een investering in de meest kosteneffectieve PV installaties (scenario 2) vanaf 2012 een positieve NCW hebben. Vanaf 2013 is ook voor minder effectieve installaties een positieve NCW te verwachten als de energieprijzen blijft doorstijgen (scenario 1). Alleen in het geval er geen subsidie verkregen wordt en zowel energieprijzenstijgingen als kostendaling van de paneelprijzen uitblijven (scenario 3) wordt een break-even prijs pas in 2018 bereikt. De aanschafprijs en installatiekosten van een 100kWp PV installatie bedragen momenteel tussen de € 200.000 en € 230.000. De rentabiliteit van een investering is, gegeven de huidige verwachte NCW, dus nog vrij laag (figuur 16, rechts). Alleen bij maximale subsidie valt een rentabiliteit van 9% te verwachten. Door de snel dalende technologieprijs van PV is er echter een explosieve stijging van de rentabiliteit te verwachten. Zonder subsidie wordt de 10% grens tussen 2015 (scenario 2) en 2020 (scenario 4) bereikt. Vanaf 2024 heeft een grote zon PV installatie onder alle scenario's een verwachte rentabiliteit groter dan 10%.



Figuur 1/: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in zon PV groot (100KwP) (bedrijf < 5 ha)

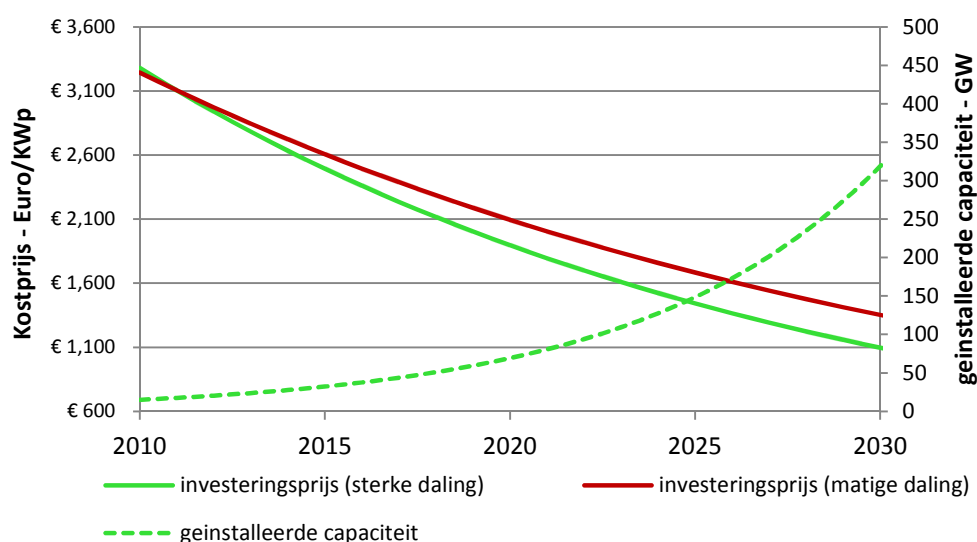
Voor een gemiddeld bedrijf < 5ha kan maar ongeveer de helft van de jaarlijks opgewekte 80.000kWh op het eigen bedrijf worden gebruikt, de rest wordt teruggeleverd tegen een ongunstig tarief. Daar staat tegen over dat deze kleine bedrijven een hoger tarief betalen. Voor een klein bedrijf is de economische haalbaarheid van een grote PV installatie daarom groter dan voor grote bedrijven. In een gunstige situatie (scenario 2) is het voor een gemiddeld bedrijf < 5ha ook zonder subsidie nu al interessant om een PV installatie van 100KwP te laten plaatsen (figuur 17, rechts). Zonder subsidie kan een rentabiliteit van 6% worden behaald, met subsidie kan dit nu al oplopen tot 15%. Vanaf 2017 wordt in alle scenario's zonder subsidie break-even gedraaid op een investering in een grote PV installatie (figuur 17, links).

7.2 Zon PV - klein (3,5 kWp)

Tabel 15: Brongegevens zon PV - klein

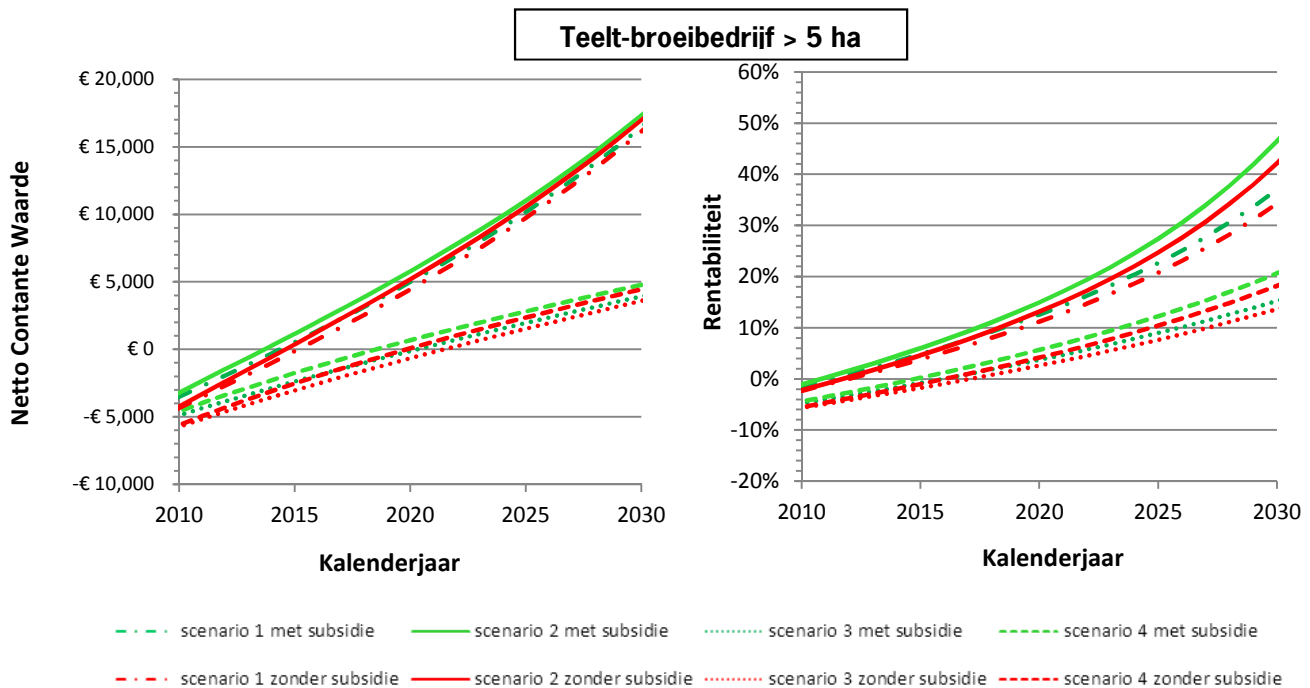
	eenheid	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Bronnen
Leerratio (inv. prijs)	%	18%	22%	18%	22%	(McDonald and Schrattenholzer 2001; Schoots 2010)
Specifieke investeringskosten	€/ KW	3105	3105	3105	3105	Lensink, Wassenaar et al.)
Vast O&M	% inv.	0%	0%	0%	0%	(Lensink, Wassenaar et al. ; Duurzaamthuis 2011)
O&M variabel ¹	€/ kWh	€ 0,031	€ 0,031	€ 0,031	€ 0,031	(Lensink, Wassenaar et al.)
Bedrijfstijd (vollasturen)	uren/jaar	850	850	850	850	Lensink, Wassenaar et al.)
Economische levensduur	jaren	15	15	15	15	Lensink, Wassenaar et al.)
Typische installatie grootte	kWp	3,5	3,5	3,5	3,5	Lensink, Wassenaar et al.)

¹Onderhoud en verzekeringen



Figuur 18: verwachte daling van de investeringskosten en toename van geinstalleerde capaciteit voor Zon PV (3,5kW)

Gegeven de modulaire toepassing van de technologie wordt voor kleinschalige fotovoltaïsche zonnetechnologie dezelfde leerratio verwacht als voor grootschalige PV. Kostprijnsverschillen komen voort uit verschil in aansluit- en plaatsingskosten t.o.v. het te installeren vermogen. De verwachte prijsdaling van de specifieke investeringskosten van kleine zonnepanelen als functie van de geinstalleerde capaciteit is afgebeeld in figuur 18.



Figuur 19: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in zon PV klein-3,5kW (teelt-broeibedrijf > 5 ha)

De NCW en rentabiliteit zijn berekend van een investering in een kleine PV installatie door een gemiddeld bloembollenbedrijf van elk type. Voor alle typen bollenbedrijven is de door een kleine PV installatie opgewekte 3000kWh weinig vergeleken bij het energiegebruik. Daarnaast is de prijs van een kleine installatie relatief gezien hoog en zijn er weinig subsidiemogelijkheden (alleen MIA/ EIA is mogelijk, in de nieuwe SDE+ regeling geen subsidie meer beschikbaar.) Voor een gemiddeld teeltbedrijf > 5 ha, broeibedrijf of teelt-broeibedrijf > 5 ha is het op korte termijn daarom niet interessant om te investeren in een kleine installatie. In het gunstigste geval (scenario 2) wordt in 2015 een positieve NCW bereikt en in 2019 een rentabiliteit boven de 10%. In het ongunstigste geval (scenario 3) wordt een positieve NCW pas in 2021 bereikt en een rentabiliteit boven de 10% pas in 2027 (figuur 19).

Voor een bedrijf < 5 ha is een investering juist extra aantrekkelijk door het hoge elektriciteitsstarief dat op deze kleine bedrijven moet worden betaald voor stroom van het net. In geen enkele van de scenario's wordt momenteel een negatieve NCW voor een investering in een kleine PV installatie berekend. De rentabiliteit voor een klein bedrijf is in een gunstige situatie nu al groter dan 10%. In het ongunstigste geval (scenario 3) is de verwachting dat deze grens in 2017 wordt doorbroken.

8 Technologie 3: biomassavergisting

Anaerobe vergisting is een bacterieel proces waarbij biomassa(rest)stromen worden omgezet in biogas. Vergisting is om twee redenen interessant voor bloembollenbedrijven. Allereerst zijn zowel de organische reststromen die bij de teelt als bij de broeierij vrijkomen naar alle waarschijnlijkheid geschikt voor vergisting. Er hoeft dus minder biomassa te worden ingekocht omdat het eigen afval kan worden gebruikt. Daarnaast is het restproduct (zgn. digestaat) mogelijk geschikt om als meststof te gebruiken. Het vergistingsproces en de opslag van het geproduceerde biogas vindt plaats in grote silo's op het bedrijfsterrein en heeft dus veel beschikbare ruimte nodig. Op landbouwbedrijven is vaak veel ruimte voor handen wat mogelijkheden biedt voor duurzame technieken die veel ruimte vragen (Terbijhe, van der Voort et al. 2010).

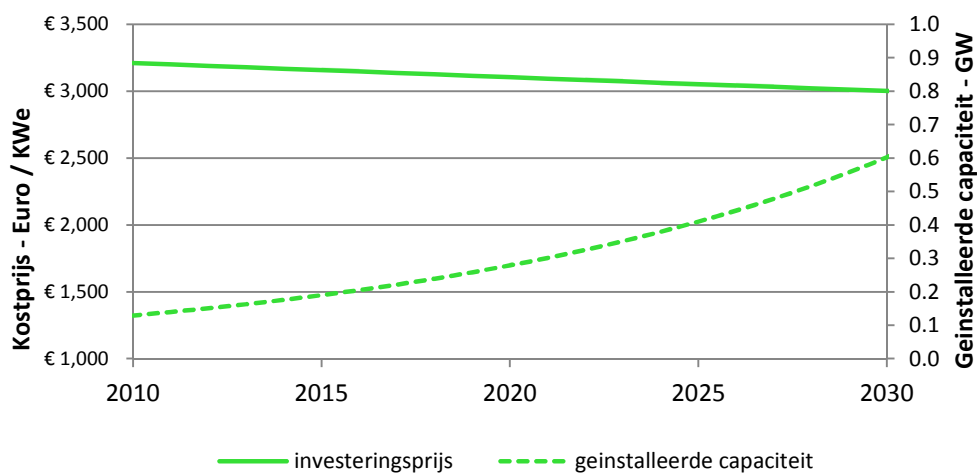
Welke soorten reststromen worden vergist hangt af van het type vergister. In een monovergister wordt alleen dierlijke mest of alleen plantaardig afval vergist (bijvoorbeeld bloembollenafval aangevuld met plantaardige reststromen van een naburig bedrijf). In een mestcovergister wordt dierlijke mest gemengd met plantaardige stromen. Deze laatste optie is financieel en technisch interessant omdat het vergistingsproces efficiënter verloopt bij menging van de twee typen reststromen. Daarnaast kan er een financiële vergoeding worden ontvangen voor de verwerking van de dierlijke mest. Het geproduceerde biogas kan direct worden verbrand in een gasmotor voor elektriciteitsopwekking of het kan, na opwerking, worden gebruikt als vervanging van aardgas. Energetisch gezien is de eerste optie het meest interessant omdat dan zowel de opgewekte elektriciteit als de warmte van de gasmotor kan worden benut (warmte kracht koppeling) en een overschot aan elektriciteit kan worden teruggeleverd aan het net. Financieel kan het ook aantrekkelijk zijn om het biogas op te waarden naar aardgaskwaliteit. Dit behoeft een kleinere investering dan een WKK en het aardgas kan dan worden ingevoerd in het aardgasnet. We onderscheiden vier subtechnologieën voor biomassavergisting op bloembollenbedrijven: monovergisting teruglevering, monovergisting WKK, mestcovergisting teruglevering en mestcovergisting WKK. Vanwege de nieuwe aard van de technologie zijn de technologische parameters nog onzeker. Het is voor vergisting daarom niet zinvol om onderscheid te maken in technologieparameters tussen de scenario's. De prijzen voor vermeden fossiel brandstofgebruik verschillen wel tussen de scenario's.

8.1 Monovergisting WKK

Tabel 16: Brongegevens monovergisting wkk

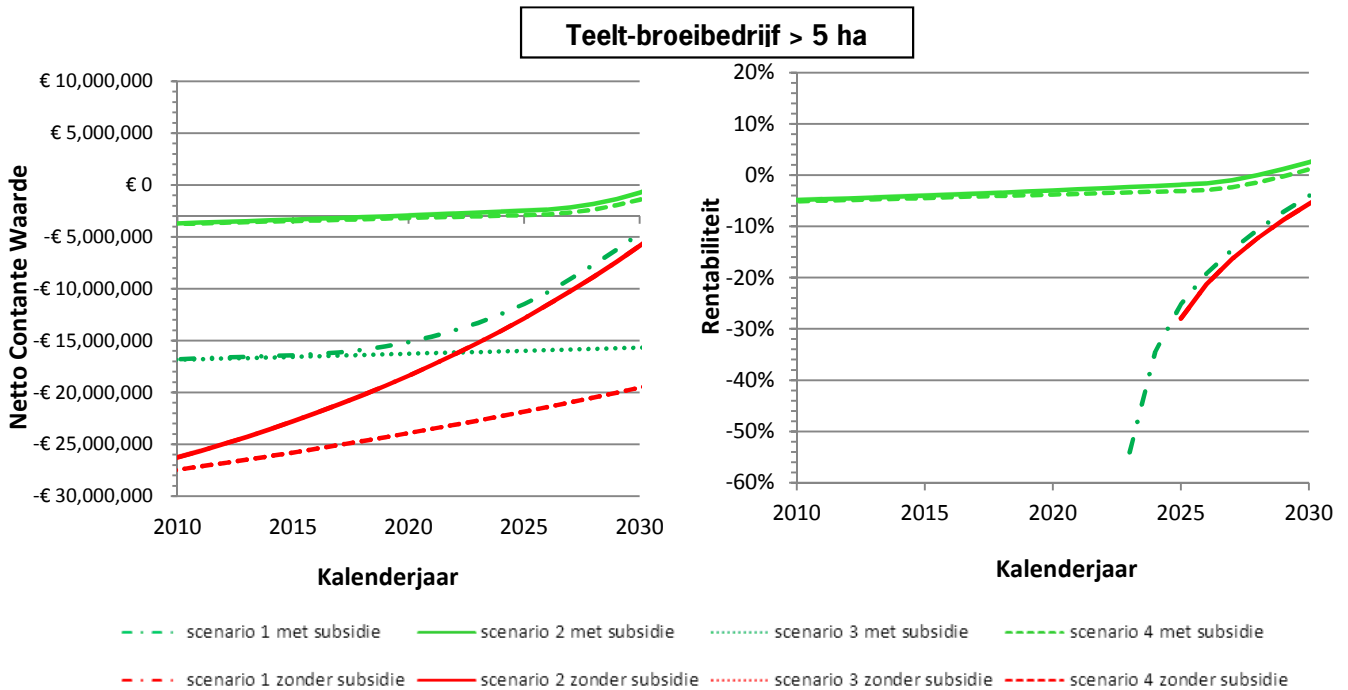
	eenheid	Scenario 1 t/m 4	Bronnen
Leerratio (inv. prijs)	%	3%	(Schoots 2010)
Specifieke investeringskosten	€ / KWe	3200	(Lensink, Wassenaar et al.)
O&M vast	% inv.	7%	(Lensink, Wassenaar et al.)
O&M variabel ¹	€ / kWh	0,107	
Bedrijfstijd (vollasturen)	uren/jaar	8000	
Economische levensduur	jaren	12	
Typische installatie grootte	kWe	3000	
Brandstofkosten	€ / Gje	30	
Energie inhoud biomassa (inkoop)	GJ biogas / ton	3,4	
Grondstofkosten (inkoop)	€ / ton	25	
Vergister rendement	%	67%	
Elektrisch rendement	%	37%	
Thermisch rendement	%	8%	(schatting PPO 2011)
Thermisch rendement ref. tech.	%	90%	
Energie inhoud eigen afval teelt	GJ / Ha	10	
Energie inhoud eigen afval broeierij	GJ/100000 stelen	10	

¹incl. grondstofkosten



Figuur 20: verwachte daling van de investeringskosten en toename van geïnstalleerde capaciteit voor monovergisting WKK (3 kWe)

Voor vergisting zijn marginale ontwikkelingen te verwachten. Voor vergistingstechnologie wordt een leerratio voorspeld van 3 % (Schoots 2010). Gasmotoren zijn relatief uitontwikkeld, voor de WKK installatie is dus geen additionele leerratio te verwachten. In 2010 was de totale geïnstalleerde capaciteit aan vergistingsinstallaties 0,12 GW (CBS 2011). Voor 2040 is een vertienvoudiging van de geïnstalleerde capaciteit voorspeld naar 1,3 GW (Schoots 2010). De prijs voor een monovergistingsinstallatie in combinatie met een WKK is momenteel € 3200/kW bij een installatiegrootte van 3000 kW. Deze investeringskosten worden verwacht te dalen naar circa € 2900/kW in 2040 (figuur 20).



Figuur 21: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in een monovergister met WKK (teelt-broeibedrijf > 5 ha)

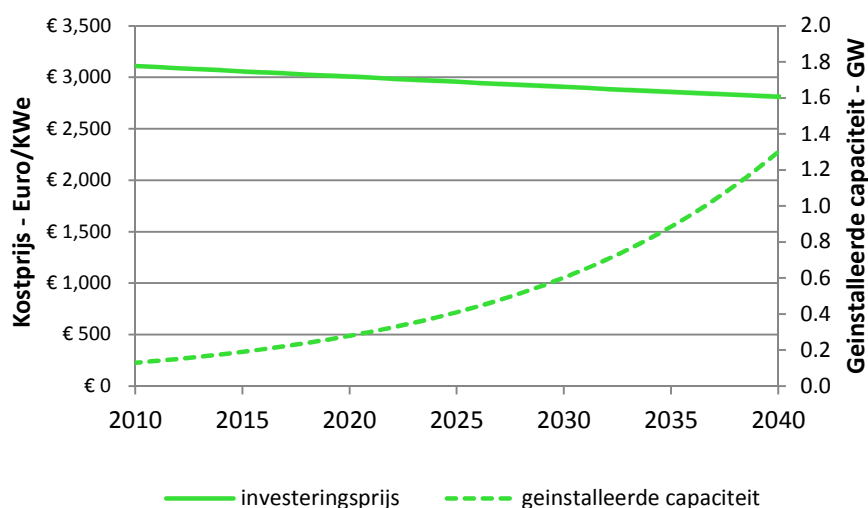
De NCW en Rentabiliteit zijn berekend van een investering in een monovergister met een WKK van 3MW_e. Een dergelijke installatie wekt circa jaarlijks 24.000.000 kWh op, ruim een factor 100 meer dan een gemiddeld teelt-broeibedrijf jaarlijks gebruikt. Financieel gezien is een vergister voordelig voor bedrijfstypen die veel organisch afval produceren omdat er dan minder grondstoffen van buiten het bedrijf hoeven te worden aangetrokken. Op een gemiddeld teelt-broeibedrijf > 5 ha is jaarlijks het meeste organisch afval beschikbaar en is de financiële situatie voor een vergister het gunstigst. Schattingen van PPO geven aan dat op zo'n bedrijf teeltafval voor handen is met een biogas-equivalent van 190 GJ / jaar en broeierijafval equivalent met 300 GJ / jaar. Echter, zelfs met subsidie en een sterke stijging van de energieprijzen en daling van de technologieprijzen (scenario2) is de NCW van een dergelijke investering niet voor 2030 positief. De rentabiliteit komt, in het gunstigste geval, voor 2035 niet boven de 10%.

8.2 Mestcovergisting WKK

Tabel 17: Brongegevens mestcovergisting WKK

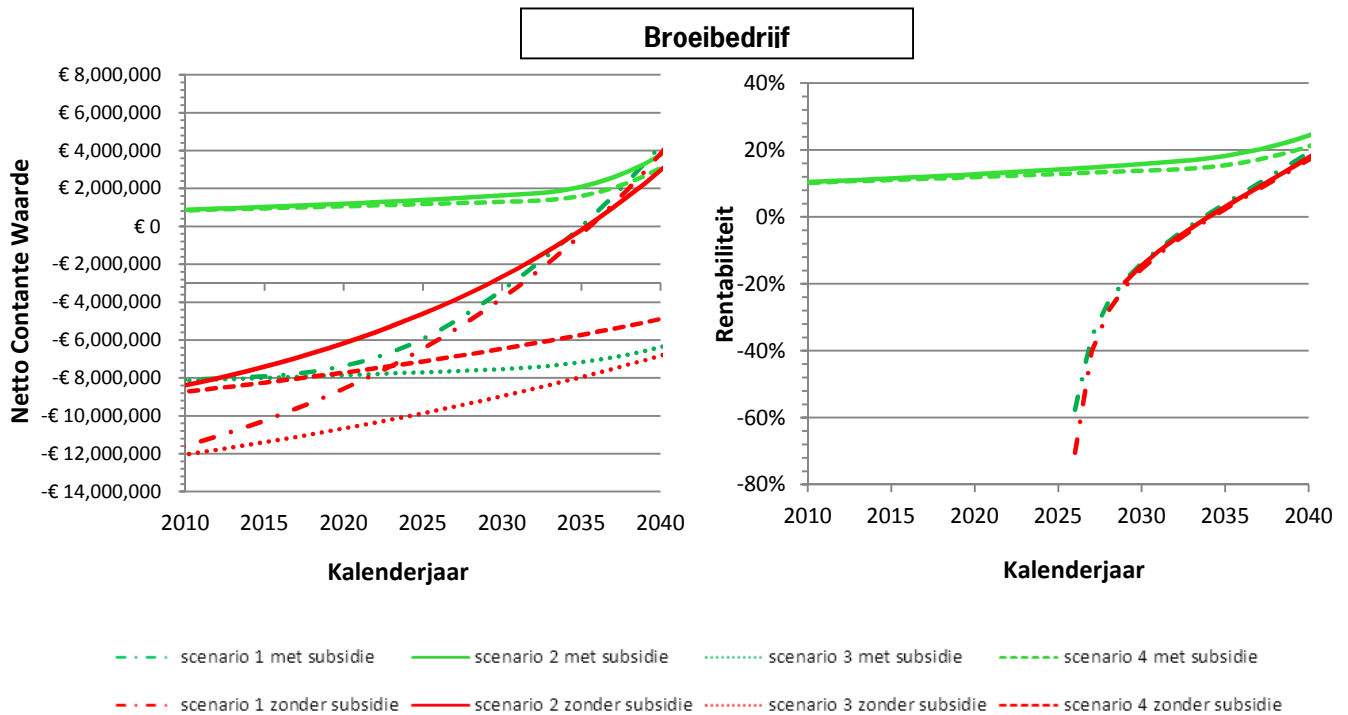
	eenheid	Scenario 1 t/m 4	Bronnen
Leerratio (inv. prijs)	%	3%	(McDonald and Schratzenholzer 2001; Schoots 2010)
Specifieke investeringskosten	€ / KWe	3100	(Lensink, Wassenaar et al.)
O&M vast	% inv.	8%	(Lensink, Wassenaar et al. ; Lensink, Cleijne et al. 2009)
O&M variabel ¹	€ / kWh	0,133	
Bedrijfstijd (vollasturen)	uren/jaar	8000	
Economische levensduur	jaren	12	
Typische installatie grootte	kWe	1100	
Brandstofkosten	€ / GJe	37	
Energie inhoud biomassa (inkoop)	GJ biogas / ton	3	
Grondstofkosten (inkoop)	€ / ton	27,5	
Vergister rendement	%	67%	
Elektrisch rendement	%	37%	
Thermisch rendement	%	3%	
Thermisch rendement ref. tech.	%	90%	
Energie inhoud eigen afval teelt	GJ / Ha	10	(schatting PPO 2011)
Energie inhoud eigen afval broeierij	GJ/100000 geproduceerde stelen	10	

¹incl. grondstofkosten



Figuur 22: verwachte daling van de investeringskosten en toename van geïnstalleerde capaciteit voor mestcovergisting WKK (1MWe)

Voor een covergister wordt dezelfde leerratio van 3 % voorspeld als voor een monovergister (Schoots 2010) waarbij geen additionele leerratio voor de gasmotor wordt verwacht. De prijs voor een covergistinginstallatie in combinatie met een WKK is momenteel € 3100 /kW bij een installatiegrootte van circa 1 MW (Lensink, Wassenaar et al.). Deze investeringskosten worden verwacht te dalen naar circa € 2810 /kW in 2040 (figuur 22).



Figuur 23: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in een mestcovergister met WKK (broeibedrijf)

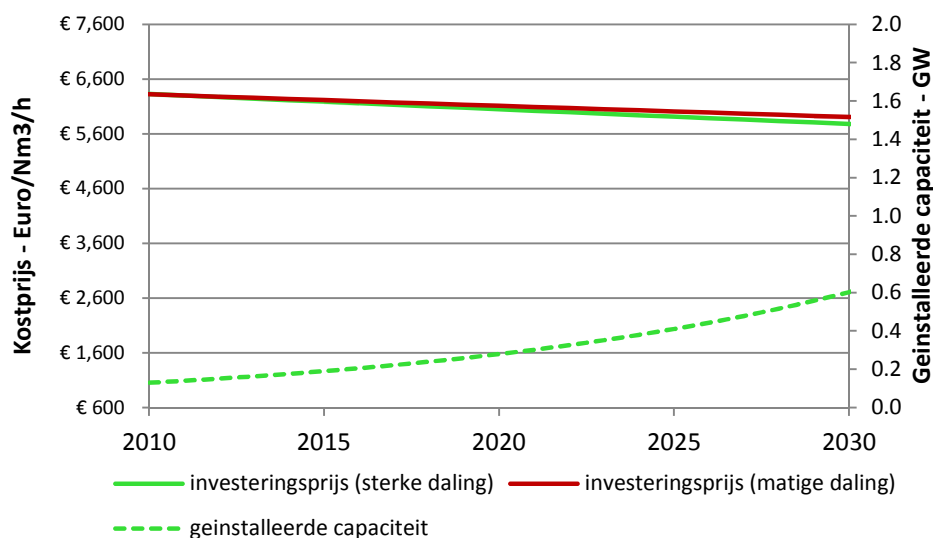
Op elektriciteit geproduceerd d.m.v. mestcovergisting zit een flink subsidiebedrag van maximaal 20,5 ct/kWh. In het geval dat deze maximale subsidie wordt verkregen (scenario 2 en 4) heeft een investering in een mestcovergister voor alle bedrijfstypes een positieve NCW (figuur 23, links). In deze situatie wordt ook voor alle bedrijfstypes een rentabiliteit van 10% of hoger voorspeld vanaf 2011. Als echter een lager subsidiebedrag wordt verkregen (scenario 1 en 3) of als geen subsidie wordt verkregen, dan is zowel de NCW als rentabiliteit van een investering in een mestcovergister met WKK op alle bedrijfstypes negatief. Zonder subsidie wordt op zijn vroegst (scenario 2) in 2035 het break-even punt van de NCW bereikt.

8.3 Monovergisting aardgas teruglevering

Tabel 18: Brongegevens monovergisting aardgas teruglevering

	eenheid	Scenario 1 t/m 4	Bronnen	
Leerratio (inv. prijs)	%	3%	(McDonald and Schratzenholzer 2001; Schoots 2010)	
Specifieke investeringskosten	€ / Nm ³ /h	6300		
O&M vast	% inv.	7%		
O&M variabel ¹	€ / Nm ³	€ 0,355		
Bedrijfstijd (vollasturen)	uren/jaar	8000		
Economische levensduur	Jaren	12		
Typische installatie grootte	Nm ³ /h	950		
Brandstofkosten	€ / Gje	€ 11,22		
Energie inhoud biomassa (inkoop)	GJ biogas / ton	3,7		
Grondstofkosten (inkoop)	€ / ton	25		
Vergister rendement	%	67%	(Lensink, Wassenaar et al. ; Lensink, Cleijne et al. 2009)	
Warmtevraag vergister	% biogasprod.	10%		
Rendement gaszuivering	%	99,9%		
Elektriciteitsvraag vergister	kWh / Nm ³ biogas	25%		
Energie inhoud eigen afval teelt	GJ / Ha	10		
Energie inhoud eigen afval broeierij	GJ/100000 stelen	10		
				(eigen onderzoek PPO 2011)

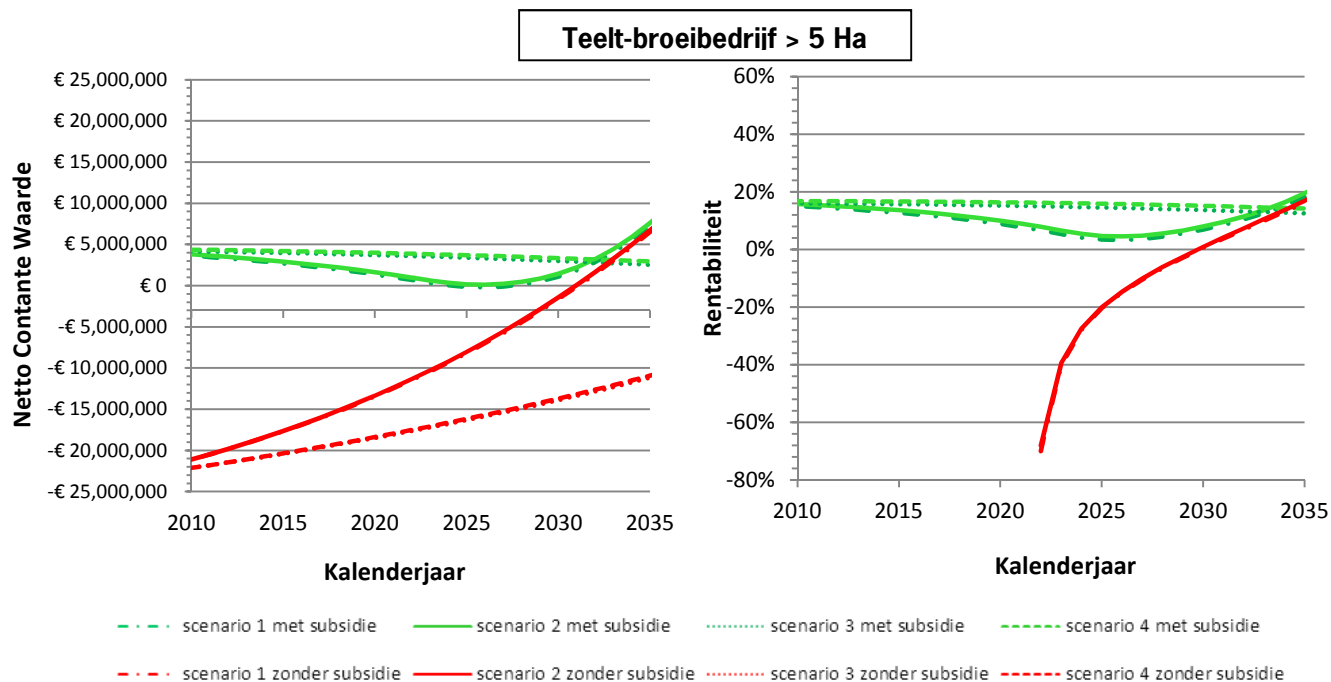
¹incl. grondstofkosten



Figuur 24: verwachte daling van de investeringskosten en toename van geinstalleerde capaciteit voor monovergisting teruglevering (950 Nm³/h)

Het vergistingsgedeelte van een WKK en een aardgas terugleveringsinstallatie is identiek, voor dit gedeelte wordt een leerratio voorspeld van 3 % (Schoots 2010). Op gebied van gaszuivering van ruw biogas naar aardgaskwaliteit zijn echter nog verbeteringen mogelijk. In de gunstige scenario's (2 en 4) wordt daarom uitgegaan van een totale leerratio voor vergisting en gaszuivering van 4 %. Voor teruglevering wordt gebruik gemaakt van dezelfde groeiprognoze als voor elektriciteitsopwekking: een toename van 0,12 GW in 2010 (CBS 2011) naar 1,3 GW in 2040 (Schoots 2010). De prijs voor een monovergistingsinstallatie met gaszuivering is momenteel € 6300/Nm³/h bij een installatie grootte van 950 Nm³/h. Deze

investeringskosten worden verwacht te dalen naar circa € 5500-5700/Nm³/h in 2040 (figuur 24).



Figuur 25: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in een monovergister met teruglevering (950 Nm³/h) (**teelt-broeibedrijf > 5 ha**)

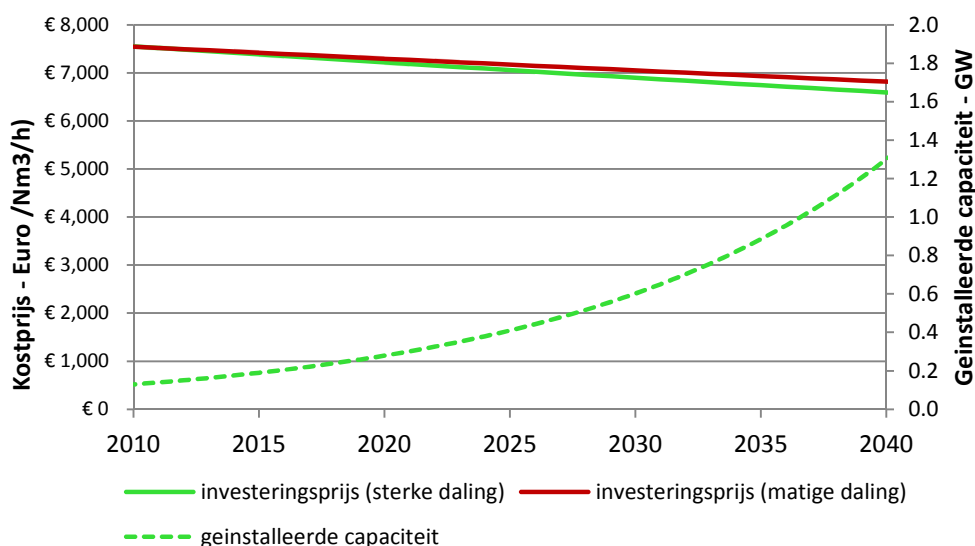
De NCW en rentabiliteit zijn berekend voor een investering in een monovergister met teruglevering aan het aardgasnet. Voor een teelt-broeibedrijf >5 ha, een broeibedrijf en een teeltbedrijf > 5 ha zijn de resultaten nagenoeg gelijk omdat subsidie de belangrijkste factor is die de economische haalbaarheid bepaalt. Als subsidie wordt verkregen heeft de investering momenteel al een positieve NCW en een rentabiliteit van 11 % voor deze bedrijfstypes (figuur 25). Het maakt daarbij niet uit of de maximale subsidie wordt verkregen of een lager bedrag. Ook met de minimale subsidie is de NCW in alle subsidie-scenario's positief. Een interessante bijkomstigheid is dat er een situatie bestaat waarin de NCW in de toekomst tijdelijk afneemt doordat de subsidiebedragen gebaseerd zijn op de energieprijzen. Stijgen deze prijzen, dan daalt de subsidie (figuur 23, links). Indien geen subsidie wordt verkregen wordt pas na 2028 een positieve NCW voorspeld. Voor bedrijven kleiner dan 5 ha levert een investering in een monovergister met teruglevering onder geen enkele omstandigheid een positieve NCW op vanwege het geringe afval dat op deze bedrijfstypes beschikbaar is voor vergisting.

8.4 Mestcovergisting aardgas teruglevering

Tabel 19: Brongegevens mestcovergisting aardgas teruglevering

	eenheid	Scenario 1 en 3	Scenario 2 en 4	Bronnen
Leerratio (inv. prijs)	%	3%	4%	(McDonald and Schratzenholzer 2001; Schoots 2010)
Specifieke investeringskosten	€ / Nm ³ /h	7520		
O&M vast	% inv.	8%		
O&M variabel ¹	€ / Nm ³	€ 0,473		
Bedrijfstijd (vollasturen)	uren/jaar	8000		
Economische levensduur	jaren	12		
Typische installatie grootte	Nm ³ /h	505		
Brandstofkosten	€ / Gje	€ 11,22		
Energie inhoud biomassa (inkoop)	GJ biogas / ton	3		
Grondstofkosten (inkoop)	€ / ton	27		(Lensink, Wassenaar et al. ; Lensink, Cleijne et al. 2009)
Vergister rendement	%	67%		
Warmtevraag vergister	% biogasprod.	10%		
Rendement gaszuivering	%	99,9%		
Elektriciteitsvraag vergister	kWh / Nm ³ biogas	25%		
Energie inhoud eigen afval teelt	GJ / Ha	10		
Energie inhoud eigen afval broeierij	GJ/100000 stelen	10		(schatting PPO 2011)

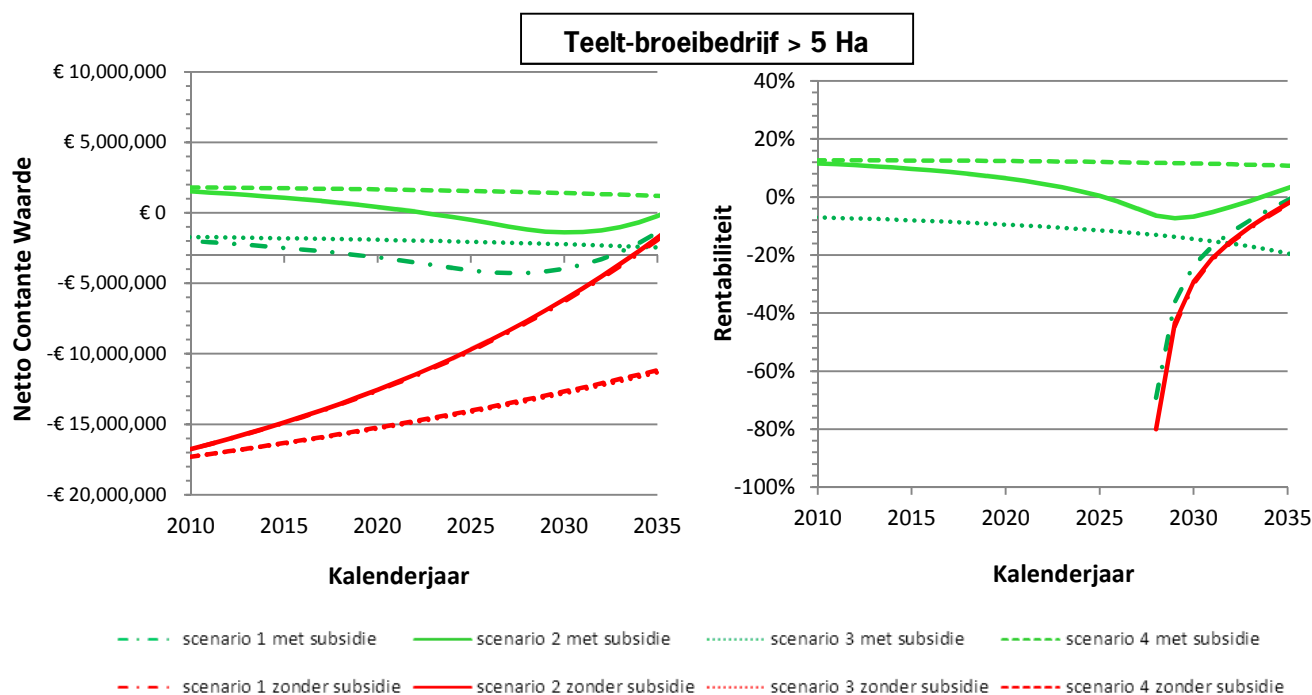
¹incl. grondstofkosten



Figuur 26: verwachte daling van de investeringskosten en toename van geinstalleerde capaciteit voor mestcovergisting teruglevering (505 Nm³/h)

Voor mestcovergisting in combinatie met aardgas teruglevering wordt eveneens uitgegaan van een leerratio van 3 % in ongunstige scenario's (1 en 3) en 4% in gunstige scenario's (2 en 4) (Schoots 2010). Ook wordt gebruik gemaakt van dezelfde groeiprognoze: een toename van 0,12 GW in 2010 (CBS 2011) naar 1,3 GW in 2040 (Schoots 2010). Een covergistinginstallatie met gaszuivering is kleiner en daarom relatief iets duurder dan een monovergistinginstallatie. Momenteel wordt de prijs geschat op € 7520 /Nm³/h bij een

installatie grootte van 505 Nm³/h (Lensink, Wassenaar et al.). Deze kosten worden verwacht te dalen naar circa € 6600-6800 /kW in 2040 (figuur 26).



Figuur 27: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in een mestcovergister met teruglevering (teelt-broeibedrijf > 5 ha)

Voor een teelt-broeibedrijf > 5 ha heeft een investering met subsidie momenteel al een positieve NCW als het maximale subsidiebedrag wordt verkregen. Deze NCW vergt een investering van bijna 1,4 miljoen, maar de verwachte rentabiliteit van deze investering is momenteel 11 %. Bij een sterke stijging van de energieprijzen zal de NCW afnemen doordat het subsidiebedrag daalt (figuur 27). In het uiterste geval kan de NCW dan negatief worden doordat geïnvesteerd wordt op een moment dat de technologie nog relatief duur is, terwijl het subsidiebedrag daarna snel zal dalen. Tussen 2023 en 2035 moet hiervoor worden opgepast. Met een lage subsidie of zonder subsidie is een mestcovergister met teruglevering momenteel nog geen investering met een positieve NCW. Bij een sterke stijging van de energieprijzen (scenario 1 en 2) wordt het brake-even punt pas in 2037 bereikt. Voor bedrijven < 5 ha is een mestcovergister in combinatie met aardgas teruglevering in geen enkel scenario een investering met een positieve NCW.

9 Technologie 4: biomassaverbranding

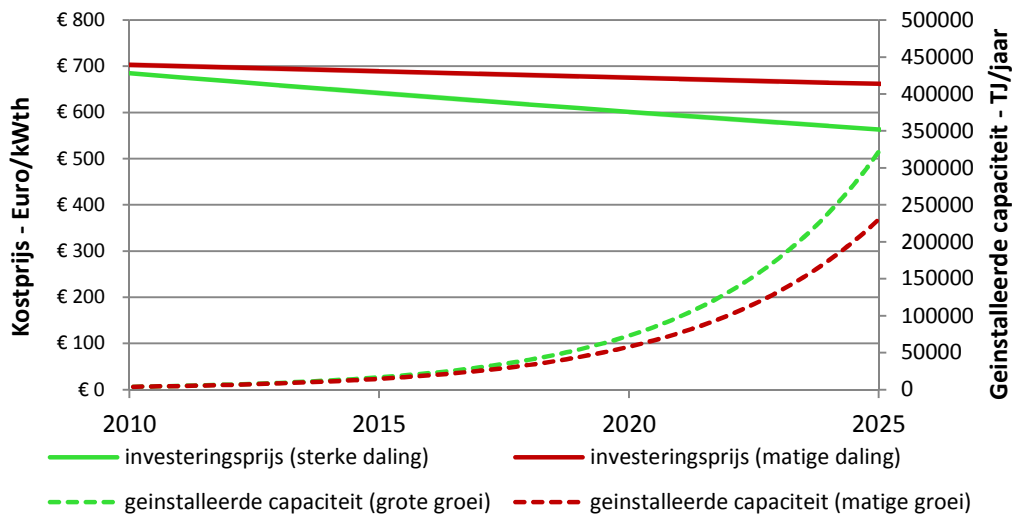
Bij biomassaverbranding wordt warmte opgewekt door het verbranden van natuurlijke vezelrijke materialen in een verbrandingskamer. De warmte die vrij komt wordt gebruikt om water te verwarmen. Meestal wordt hout als brandstof gebruikt, vandaar dat deze technologie beter bekend is onder de noemer 'houtkachel'. Moderne houtverbranders zijn uitgerust met een automatisch laadsysteem en computergestuurde verbrandingsregeling middels een lambda sonde. Biomassaverbranding is ook op kleine schaal kosteneffectief toe te passen, maar een nadeel is dat de brandstof schaars begint te worden. Afhankelijk van de kwaliteit (vochtpercentage) liggen de huidige prijzen voor gepalletiseerd hout tussen de 30-70 euro per ton. Voor biomassa is een internationale handelsmarkt waar de prijzen sterk kunnen fluctueren. In een koude winter, zoals die van 2006, kunnen de prijzen voor gepalletiseerd hout 20% hoger liggen (ECN 2007). Voor knip- en snoeihout, een goede brandstof voor kleinschalige houtkachels, komt de prijs regionaal tot stand. Ook hier wisselen de prijzen sterk. In Duitsland zijn in de afgelopen jaren veel biomassaverbrandingsinstallaties bijgeplaatst waardoor plaatselijk veel concurrentie en hoge prijzen voor knip- en snoeihout zijn ontstaan. Bij toepassing van een houtkachel voor warmteopwekking op een bloembollenbedrijf wordt er vanuit gegaan dat de conventionele gasketel blijft bestaan voor de pieklasten. De houtkachel voorziet in (een deel van) de basislast.

9.1 Biomassaverbranding - warmte

Tabel 20: Brongegevens biomassaverbranding warmte

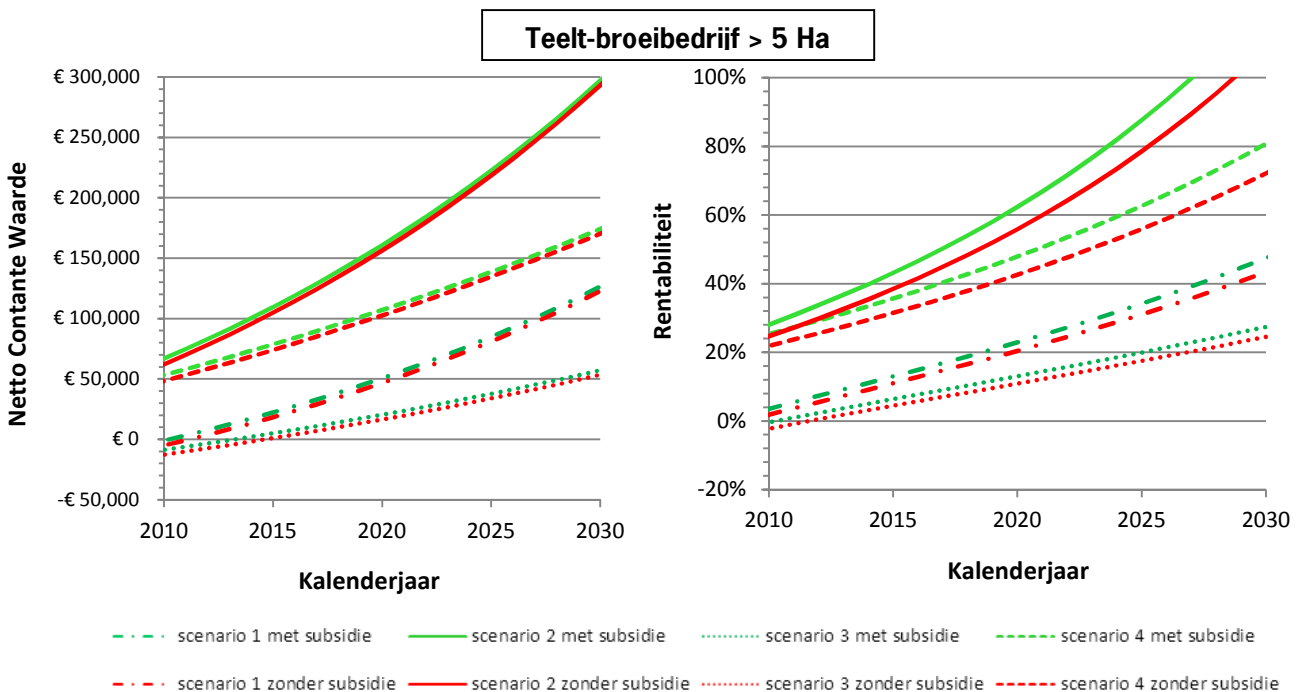
	eenheid	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Bronnen
Leerratio (inv. prijs)	%	1%	3%	1%	3%	(McDonald and Schratzenholzer 2001; Schoots 2010)
Specifieke investeringskosten	€ / KWth	700	676	700	676	(Euroheat 2008)
O&M vast	% inv.	5%	5%	5%	5%	(Lensink, Wassenaar et al.)
O&M variabel ¹	€ / Nm ³ gas. eq.	€ 0,226	€ 0,158	€ 0,226	€ 0,158	(Lensink, Wassenaar et al.)
Bedrijfstijd (vullast uren)	uren/jaar	4500	8000	4500	8000	(Euroheat 2008)
Economische levensduur	jaren	12	12	12	12	(Euroheat 2008)
Typische installatie grootte	kWth	50	50	50	50	(Euroheat 2008)
Brandstofkosten	€ / Gjth	7,94	5,56	7,94	5,56	(Lensink, Wassenaar et al. ; Lensink, Cleijne et al. 2009)
Thermisch rendement	%	91%	90%	91%	90%	(Lensink, Wassenaar et al.) (Euroheat 2008)
Thermisch rendement ref. tech.	%	90%	90%	90%	90%	(Lensink, Wassenaar et al.)

¹ incl. brandstofkosten



Figuur 28: verwachte daling van de investeringskosten en toename van geïnstalleerde capaciteit voor biomassaverbranding (0,7 MW_{th})

De technologie voor de verbranding van biomassa is relatief uitontwikkeld. Op het gebied van aansturing en brandstofaanvoersystemen zijn nog kleine verbeteringen te verwachten. De leerratio voor biomassaverbranding wordt in de literatuur geschat tussen de 1 % en 3 % (McDonald and Schratzenholzer 2001; Schoots 2010). In 2009 is er voor 2792 TJ aan warmte opgewekt (CBS, 2011), de verwachting is dat deze hoeveelheid flink zal toenemen tot 58.000 - 73.000 TJ/jaar in 2020 (notitie ECN). De huidige prijzen voor een houtverbrander liggen tussen de 676 €/kW_{th} en 700 €/kW_{th} bij een installatie grootte van 50 kW. Met een grote groei en hoge leerratio kan deze prijs in 2020 zijn gedaald tot onder de 600 €/kW_{th}.



Figuur 29: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in een biomassaverbrandingsinstallatie (teelt-broeibedrijf > 5 ha)

Voor een houtketen kan geen SDE+ subsidie worden verkregen. Met de huidige prijzen voor knip- en snoeihout van 35 €/ton en hoge prijzen van fossiele brandstoffen (scenario 2 en 4) is de NCW van een

investering in een houtkachel desondanks zowel met als zonder subsidie positief voor broeibedrijven en bedrijven > 5 ha. Als een plotselinge stijging van de gemiddelde Nederlands knip- en snoeihoutprijzen met 42% naar 50 €/ton wordt verondersteld tezamen met lage prijzen voor fossiele brandstoffen (scenario 3), dan duurt het tot 2013 (met EIA subsidie) of 2014 (zonder EIA subsidie) voordat een investering in een houtkachel een verwachte positieve NCW waarde heeft voor broeibedrijven en bedrijven > 5 ha. In het ongunstigste geval (scenario 3) kan het op deze bedrijven tot 2019 duren voordat een rentabiliteit boven de 10% wordt bereikt. Op bedrijven < 5 ha levert een investering in een houtkachel in alle scenario's een positieve NCW op door de hoge kleinverbruikersprijzen die zij betalen voor fossiele brandstoffen. Vanaf 2016 heeft een investering op deze bedrijven een verwachte rentabiliteit groter dan 10% in alle scenario's.

10 Technologie 5: biomassavergassing

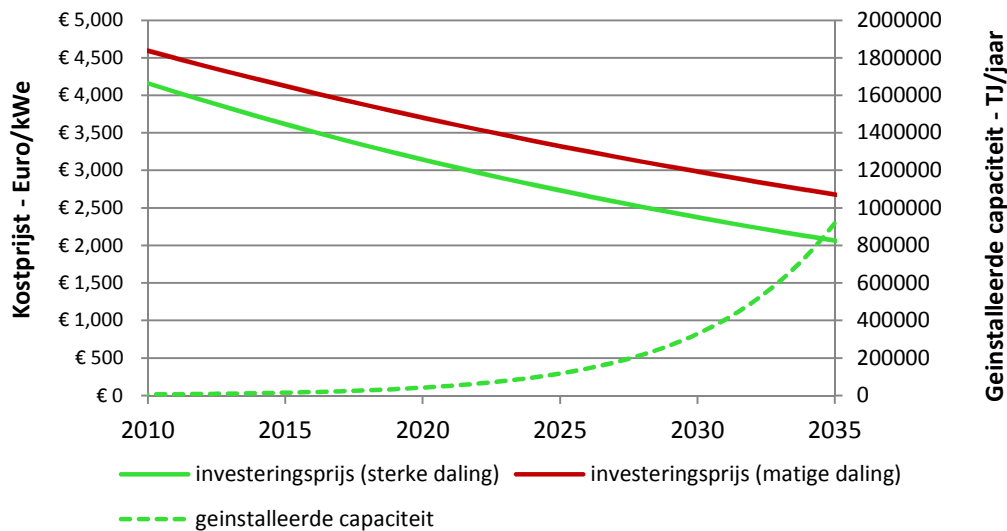
Biomassavergassing is een technologie waarbij de biomassa (meestal houtachtige materialen) wordt verbrand bij een ondermaat aan zuurstof. Hierdoor ontstaat synthesesgas, een brandbaar mengsel van CO en H₂ dat nogmaals kan worden verbrand in een gasmotor of gasturbine. Vergassingstechnologie werd veel toegepast tijdens de 2^e wereldoorlog ter vervanging van schaars geworden fossiele brandstoffen. Het voordeel van vergassing boven verbranding is dat het energetisch rendement hoger is en het proces schoner verloopt. Daarnaast kan de gasmotor die draait op het synthesesgas elektriciteit opwekken, wat een hoogwaardigere energievorm is dan warmte. Op deze manier wordt een warmte kracht koppeling (WKK) gevormd en wordt de energie uit de biomassa ten volle benut. Er wordt wederom vanuit gegaan dat de vergassingsinstallatie met WKK op een bloembollenbedrijf wordt gebruikt als aanvulling op de bestaande ketel en elektriciteitsaansluiting.

10.1 Biomassavergassing - WKK

Tabel 21: Brongegevens biomassavergassing WKK

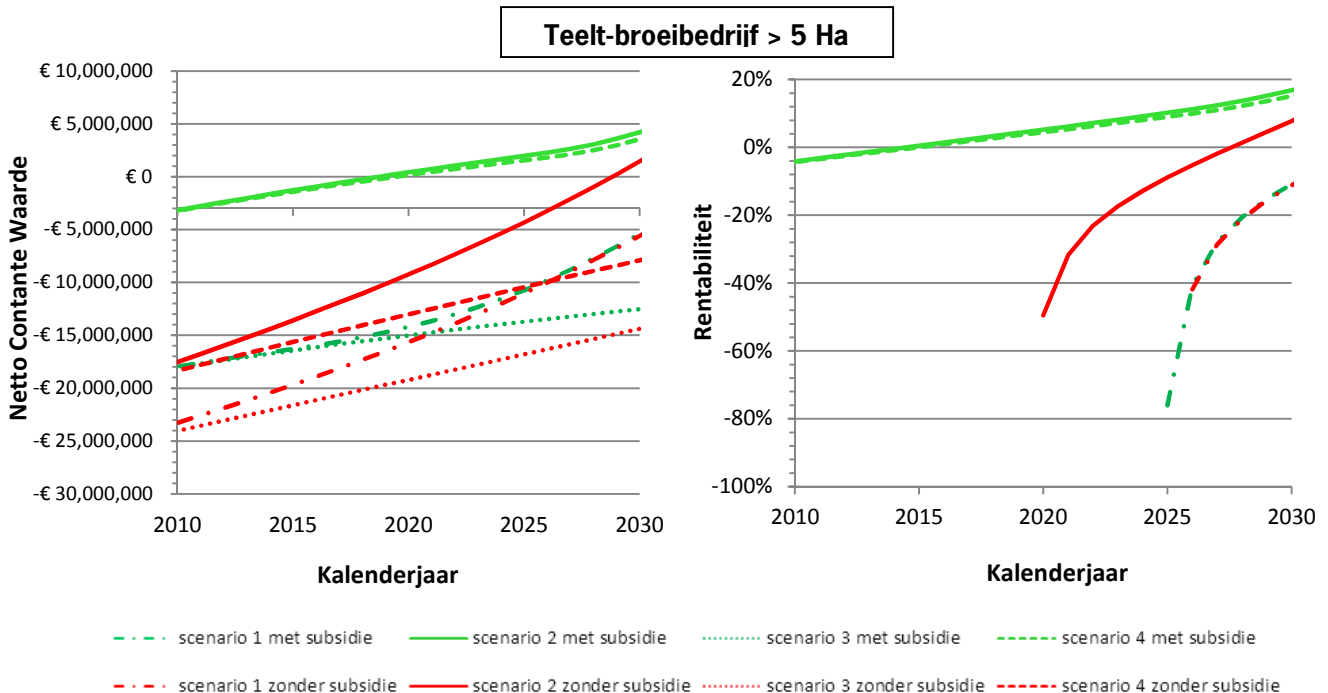
	eenheid	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Bronnen
Leerratio (inv. prijs)	%	7%	9%	7%	9%	(Stefan and Lehmann ; Schoots 2010)
Specifieke investeringskosten	€ / KWe	4900	4400	4900	4400	(Schoots 2010) (Lensink, Wassenaar et al. ; Coenen and Schlatmann 2007)
O&M vast	% inv.	8%	8%	8%	8%	(Lensink, Wassenaar et al.)
O&M variabel ¹	€ / kWh	€ 0,118	€ 0,084	€ 0,118	€ 0,084	(Lensink, Wassenaar et al.)
Bedrijfstijd (vollast uren)	uren/jaar	7500	8000	7500	8000	(Lensink, Wassenaar et al. ; HoSt 2011)
Economische levensduur	jaren	12	12	12	12	
Typische installatie grootte	kWe	2000	2000	2000	2000	
Brandstofkosten	€ / GJe	€ 31	€ 22	€ 31	€ 22	
Thermisch rendement	%	23%	23%	23%	23%	(Lensink, Wassenaar et al.)
Thermisch rendement	%	4%	4%	4%	4%	
Thermisch rendement referentie technologie	%	90%	90%	90%	90%	

¹incl. brandstofkosten



Figuur 30: Verwachte daling van de investeringskosten en toename van geinstalleerde capaciteit voor biomassavergassing (5 kWe)

Voor kleinschalige vergassingstechnologie is een leerratio tussen de 7 % en 9 % te verwachten (Stefan and Lehmann ; Schoots 2010). In 2009 werd 4332 TJ aan elektriciteit opgewekt uit kleinschalige biomassavergassing en deze capaciteit wordt voorspeld te groeien naar circa 42000 TJ/jaar in 2020 (Schoots 2010). De prijs van een vergassingsinstallatie met WKK van 2MW_e wordt in dat geval verwacht af te nemen tot minimaal 3150 €/kW_e en maximaal 3700 €/kW_e in 2020 (figuur 30).



Figuur 31: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in een biomassavergasser met WKK (teelt-broeibedrijf > 5 ha)

In tegenstelling tot biomassaverbranding kan voor elektriciteitsopwekking d.m.v. biomassavergassing een subsidiebedrag van maximaal 15 €/ct/kWh worden verkregen. Daar staat tegenover dat de aanschafprijs per kW bijna 5 keer zo hoog is. Een vergassingsinstallatie met WKK is daardoor niet snel aantrekkelijk voor een gemiddeld bloembollenbedrijf. Voor een broeibedrijf of teelt-broeibedrijf > 5 ha heeft een investering in

een vergasser met WKK in het gunstigste geval (scenario 2 met subsidie) vanaf 2019 een positieve NCW. Voor een teeltbedrijf is dit na 2020 en voor bedrijven kleiner dan 5 ha vanaf 2019. Zonder subsidie komt het break-even punt voor een vergassingsinstallatie voor de bedrijfstypen in het gunstigste geval (scenario 2) tussen 2028 en 2030 in zicht. In een ongunstiger geval (scenario 1, 3 of 4) wordt het break-even punt voor alle bedrijfstypes pas na 2030 bereikt. Voor een teelt-broeibedrijf > 5 ha wordt de 10 % rentabiliteitsgrens in het gunstigste geval in 2025 doorbroken.

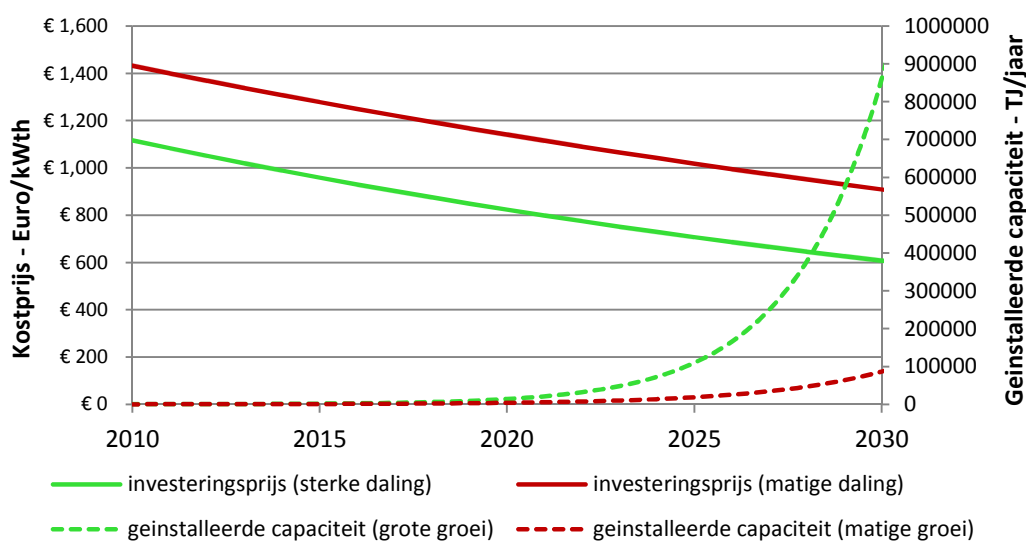
11 Technologie 6: Geothermie

Geothermie, ook wel aardwarmte, is een techniek waarbij bodemwarmte van grote diepte wordt gehaald. De temperaturen op grote diepte zijn hoog: in Nederland 150-180 ° op 5km diepte, in vulkanische gebieden zoals op IJsland kunnen de temperaturen oplopen tot 500 °C. In de praktijk wordt zelden zo diep geboord en neemt men genoegen met temperaturen van rond de 70 °C op 2 km diepte. Geotherme installaties zijn duur, maar zodra de installatie naar behoren functioneert is er zeer veel energie beschikbaar. De meeste geotherme installaties onttrekken de warmte door het oppompen of rondpompen van een vloeistof. De warmte uit deze vloeistof kan direct worden gebruikt of er kan opwaarding plaatsvinden naar een hogere temperatuur d.m.v. warmtepompen. In dat laatste geval is de warmte ook geschikt voor elektriciteitsopwekking in een stoomcyclus. De restwarmte kan dan alsnog worden gebruikt voor verwarming. De eerste mogelijkheid van direct warmtegebruik is geotherme warmte. Wordt er ook elektriciteit opgewekt dan wordt er gesproken van een geotherme WKK installatie.

11.1 Geotherme warmte

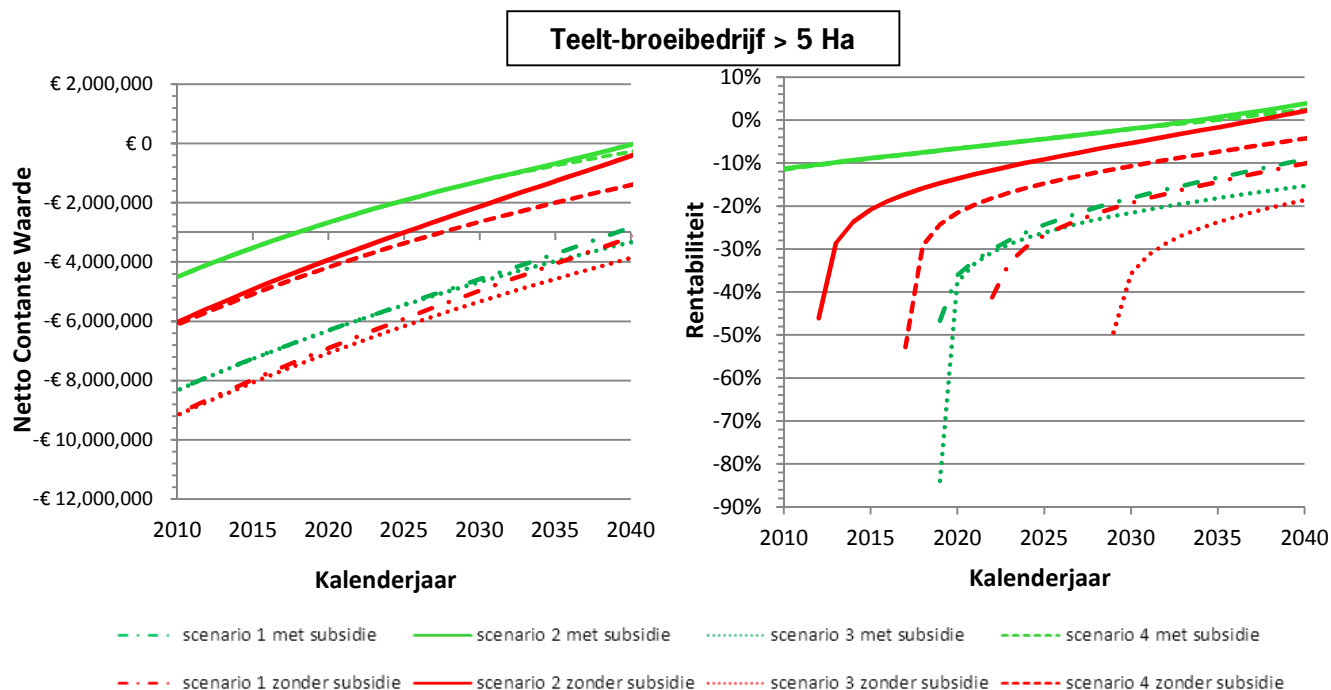
Tabel 22: Brongegevens Geotherme warmte

	eenheid	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Bronnen
Leerratio (inv. prijs)	%	5%	5%	5%	5%	(Stefan and Lehmann)
Specifieke investeringskosten	€ / kWth	1400	1083	1400	1083	(Luxembourg, Lako et al. ; Flynt 2011)
O&M vast	% inv.	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	(Luxembourg, Lako et al. ; Flynt 2011)
O&M variabel	€ / kWth	0,007	0,007	0,007	0,007	(Luxembourg, Lako et al.)
Bedrijfstijd (vollast uren)	uren/jaar	6000	6000	6000	6000	(Luxembourg, Lako et al.)
Economische levensduur	jaren	15	20	15	20	(Luxembourg, Lako et al. ; Flynt 2011)
Typische installatie grootte	kWth	6000	5200	6000	5200	(Luxembourg, Lako et al. ; Flynt 2011)
Thermisch rendement ref. tech.	%	90%	90%	90%	90%	(Lensink, Wassenaar et al.)



Figuur 32: Verwachte daling van de investeringskosten en toename van geinstalleerde capaciteit voor geotherme warmte (6 MWth)

Voor geotherme energie wordt een leerratio van 5 % voorspeld (Stefan and Lehmann). De prijs van een geotherme warmte installatie voor glastuinbouwdoeleinden ligt momenteel tussen de 1080 (Flynt 2011) €/kW_{th} en 1400 €/kW_{th} bij een installatiegrootte van 5MW_{th}(Luxemburg, Lako et al.). Het totale opgewekte vermogen aan geotherme warmte en geotherme WKK in Nederland is momenteel circa 100 TJ/jaar. Voor de periode tot 2020 wordt een toename tot een capaciteit tussen de 4000 TJ/jaar en 14000TJ/jaar voorspeld (Luxemburg 2008). De prijs van een geotherme warmte installatie zal naar verwachting afnemen naar minimaal 800 € / kW_{th} en maximaal 1100 € / kW_{th} in 2020.



Figuur 33: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in een geotherme warmte installatie (broeibedrijf)

Een geotherme installatie heeft over het algemeen een groot vermogen. Er van uitgaande dat er geen mogelijkheid is om deze warmte op te slaan of anders te benutten, is de haalbaarheid van een geotherme warmte installatie het grootste bij bedrijven die veel warmte nodig hebben. Op een gemiddeld broeibedrijf met een productie van 3,2 miljoen stelen wordt jaarlijks 115.000 kuub verbruikt, ca 10% van het door een 5MW_{th} opgewekte vermogen. Gegeven de hoge aanschafprijs van een geotherme warme installatie, circa € 5.000.000, wordt het break-even punt voor een investering in het gunstigste geval (scenario 2 met subsidie) pas in 2042 bereikt. Voor teeltbedrijven > 5 ha en teelt-broeibedrijven > 5ha en bedrijven < 5 ha ligt dit punt nog verder in de toekomst.

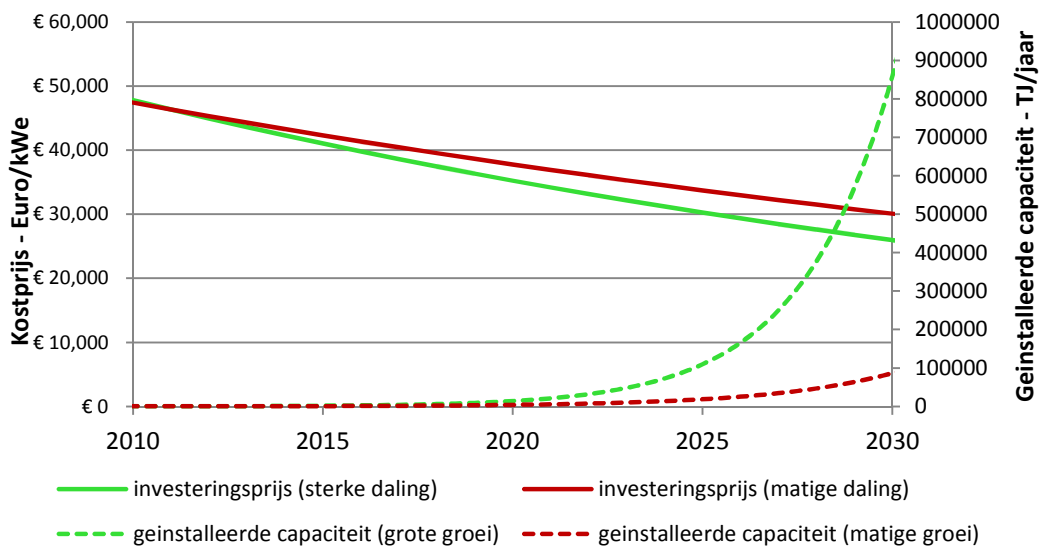
Voor bovengemiddeld grote bedrijven, met name bedrijven die jaarrond broeien, kan het wel interessant zijn om in geotherme warmte te investeren omdat zij een veel hoger gasverbruik hebben. Een gemiddeld broeibedrijf gebruikt 31,9 M³ gas eq./1000 stelen aan warmte. Een geotherme installatie heeft met subsidie vanaf een gasverbruik van 400.000 M³/jaar (scenario 1) tot 1.100.000 (scenario 3) M³/jaar een positieve NCW. Een broeibedrijf met een gemiddeld gasgebruik van 31,5 M³/1000 stelen zou dan jaarrond tussen de 12,5 en 34,5 miljoen stelen moeten broeien om de installatie kostenneutraal te maken. Zonder subsidie is een installatie bij een productie van 35 miljoen stelen mogelijk economisch haalbaar, maar alleen in het meest gunstige scenario (scenario 2). Een geotherme warmte installatie kan dus interessant zijn, maar alleen voor uitzonderlijk grote bedrijven.

11.2 Geotherme WKK

Een geotherme WKK is in Nederland nieuw en de technologische parameters zijn onzeker. Er wordt daarom geen onderscheid tussen de scenario's gemaakt, de waarden moeten worden gezien als een schatting.

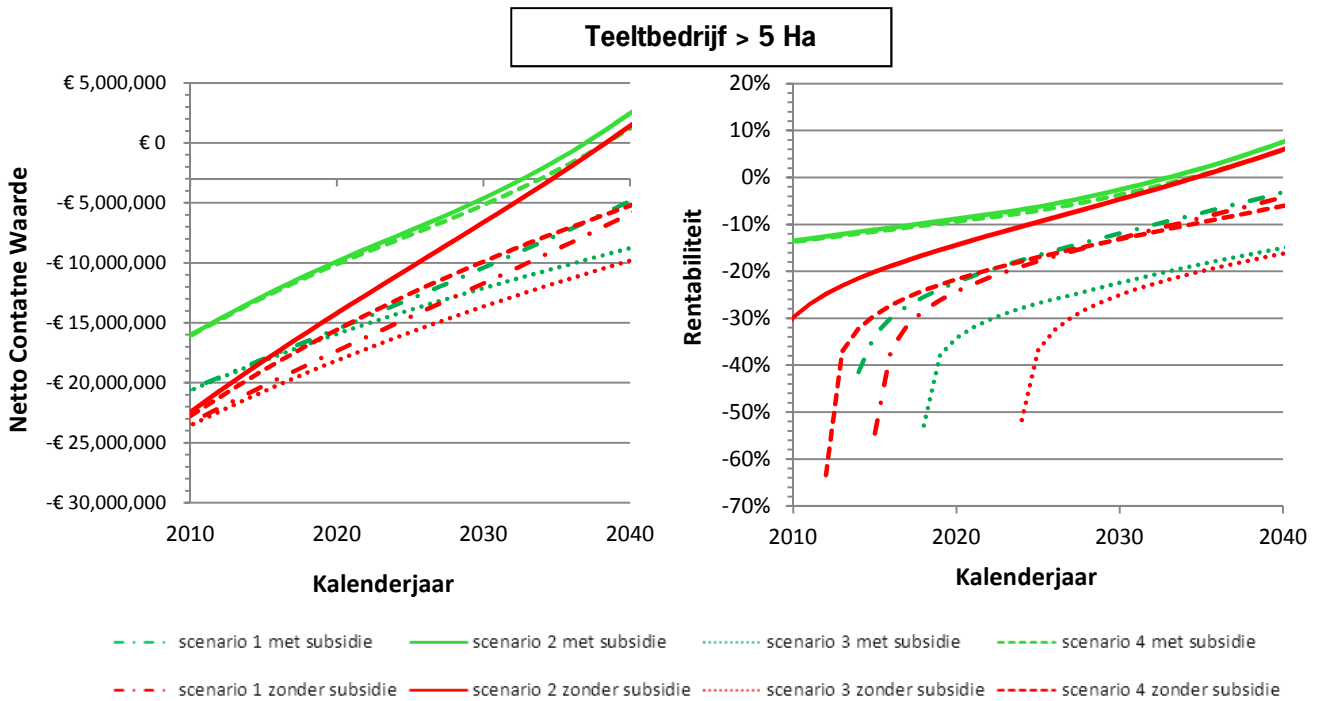
Tabel 23: Brongegevens Geothermale WKK

	eenheid	Scenario 1 t/ 4	Bronnen
Leerratio (inv. prijs)	%	5%	(Stefan and Lehmann)
Specifieke investeringskosten	€ / kW _e	46355	
O&M vast	% inv.	1,2%	
Bedrijfstijd (vollast uren)	uren/jaar	4000	
Economische levensduur	jaren	15	
Typische installatie grootte	kW _e	480	
Elektrisch rendement	%	3,10%	(Luxembourg, Lako et al.)
Thermisch rendement	%	24,70%	
Thermisch rendement ref. tech.	%	90%	
			(Lensink, Wassenaar et al.)



Figuur 34: Verwachte daling van de investeringskosten en toename van geinstalleerde capaciteit voor geothermale WKK (480 kW_e)

De kostprijs van een geotherme WKK installatie wordt momenteel geschat op 46000 €/kW_e bij een installatiegrootte van 480 kW_e (Luxembourg, Lako et al.). Er wordt voor een geotherme WKK installatie een gezamenlijke leerratio en capaciteitsgroei met geotherme warmte verondersteld. De verwachte prijsdaling van de specifieke investeringskosten als functie van de geïnstalleerde capaciteit van geotherme WKK is afgebeeld in figuur 34. Voor 2030 wordt een daling verwacht naar een installatieprijs tussen de € 26.000 €/kW_{th} en 30.000 €/kW_{th}.



Figuur 35: Prognoses NCW en rentabiliteit voor een investering in een geotherme warmte installatie (**teeltbedrijf > 5 ha**)

Een geotherme WKK installatie is eerder haalbaar voor bloembollenbedrijven dan een geotherme warmte installatie. Het break-even punt van de NCW van een investering in een geotherme WKK ligt voor een gemiddeld broeibedrijf of een teelt-broeibedrijf > 5 ha in het gunstigste geval (scenario 2) en met subsidie in 2036, zonder subsidie in 2038. Voor een gemiddeld teeltbedrijf liggen deze break-even punten, vanwege de kleinere warmtevraag, een jaar later. Door de hoge kleingebruikerstarieven kan een geotherme WKK installatie, bij een sterke prijsstijging van fossiele brandstoffen en een sterke daling van de technologieprijs, met subsidie vanaf 2035 break-even draaien voor bloembollenbedrijven < 5 ha.

12 Overzicht van de resultaten

Tabel 24: De verwachte economische haalbaarheid van duurzame energietechnologieën voor bedrijven in de bloembollensector (met subsidie en in het meest gunstige scenario)

Technologie	grootte	Teeltbedrijf > 5 ha		Broeibedrijf		teelt/broeibedrijf > 5 ha		Bedrijf < 5 ha	
		Kostenneutraal ¹	Winstgevend ²	Kostenneutraal	Winstgevend	Kostenneutraal	Winstgevend	Kostenneutraal	Winstgevend
Windturbine	2-3 MW _e	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011
	80-250 kW _e	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011
	2 kW _e	Vanaf 2011	Vanaf 2017	Vanaf 2011	Vanaf 2017	Vanaf 2011	Vanaf 2016	Vanaf 2011	Vanaf 2011
Zon PV	100 kW _p	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011
	3,5 W _p	Vanaf 2015	Vanaf 2018	Vanaf 2015	Vanaf 2018	Vanaf 2014	Vanaf 2018	Vanaf 2011	Vanaf 2011
Monovergisting WKK	3 MW _e	Vanaf 2032	Vanaf 2035	Vanaf 2032	Vanaf 2035	Vanaf 2031	Vanaf 2035	Vanaf 2030	Vanaf 2033
Mestcovergisting WKK	1 MW _e	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011
Monovergisting teruglevering	950 Nm ³ /h	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Na 2040	Na 2040
Mestcovergisting teruglevering	505 Nm ³ /h	2011 – 2024	2011 – 2016	2011 – 2025	2011 – 2017	2011 – 2022	2011 – 2015	Na 2040	Na 2040
Biomassaverbranding	50 kW _{th}	Vanaf 2012	Vanaf 2014	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011
Biomassavergassing	2 MW _e	Vanaf 2020	Vanaf 2026	Vanaf 2019	Vanaf 2025	Vanaf 2019	Vanaf 2025	Vanaf 2019	Vanaf 2025
Geotherme Warmte	5-6 MW _{th}	Na 2040	Na 2040	Na 2040	Na 2040	Na 2040	Na 2040	Na 2040	Na 2040
Geotherme WKK	480 kW _e	Vanaf 2037	Na 2040	Vanaf 2037	Na 2040	Vanaf 2036	Na 2040	Vanaf 2035	Vanaf 2040

¹ Break-even punt, NCW > 0

² Rentabiliteit > 10 %

Kleurlegenda: Groen: Vanaf 2011 t/m 2017, Oranje: vanaf 2018 t/m 2025, Rood: na 2026

Tabel 25: Overzicht van de verwachte economische haalbaarheid van duurzame energietechnologieën voor bedrijven in de bloembollensector (zonder subsidie en in het meest gunstige scenario)

Technologie	grootte	Teeltbedrijf > 5 ha		Broeibedrijf		teelt/broeibedrijf > 5 ha		Bedrijf < 5 ha	
		Kostenneutraal ¹	Winstgevend ²	Kostenneutraal	Winstgevend	Kostenneutraal	Winstgevend	Kostenneutraal	Winstgevend
Windturbine	2-3 MW _e	Vanaf 2015	Vanaf 2020	Vanaf 2015	Vanaf 2020	Vanaf 2014	Vanaf 2020	Vanaf 2015	Vanaf 2020
	80-250 kW _e	Vanaf 2011	Vanaf 2015	Vanaf 2011	Vanaf 2017	Vanaf 2011	Vanaf 2013	Vanaf 2011	Vanaf 2016
Zon PV	2 kW _e	Vanaf 2011	Vanaf 2018	Vanaf 2011	Vanaf 2018	Vanaf 2011	Vanaf 2017	Vanaf 2011	Vanaf 2011
	100 kW _p	Vanaf 2012	Vanaf 2016	Vanaf 2012	Vanaf 2016	Vanaf 2012	Vanaf 2015	Vanaf 2011	Vanaf 2013
Monovergisting WKK	3,5 W _p	Vanaf 2016	Vanaf 2019	Vanaf 2016	Vanaf 2019	Vanaf 2015	Vanaf 2019	Vanaf 2011	Vanaf 2011
	3 MW _e	Vanaf 2034	Vanaf 2036	Vanaf 2034	Vanaf 2036	Vanaf 2034	Vanaf 2036	Vanaf 2034	Vanaf 2036
Mestcovergisting WKK	1 MW _e	Vanaf 2036	Vanaf 2038	Vanaf 2036	Vanaf 2038	Vanaf 2035	Vanaf 2037	Vanaf 2035	Vanaf 2037
Monovergisting teruglevering	950 Nm ³ /h	Vanaf 2030	Vanaf 2032	Vanaf 2030	Vanaf 2032	Vanaf 2031	Vanaf 2033	Na 2040	Na 2040
Mestcovergisting teruglevering	505 Nm ³ /h	Vanaf 2036	Vanaf 2037	Vanaf 2036	Vanaf 2037	Vanaf 2037	Vanaf 2039	Na 2040	Na 2040
Biomassaverbranding	50 kW _{th}	Vanaf 2013	Vanaf 2015	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2011	Vanaf 2012
Biomassavergassing	2 MW _e	Vanaf 2030	Vanaf 2031	Vanaf 2029	Vanaf 2031	Vanaf 2029	Vanaf 2031	Vanaf 2030	Vanaf 2031
Geotherme Warmte	5-6 MW _{th}	Na 2040	Na 2040	Na 2040	Na 2040	Na 2040	Na 2040	Na 2040	Na 2040
Geotherme WKK	480 kW _e	Vanaf 2039	Na 2040	Vanaf 2038	Na 2040	Vanaf 2038	Na 2040	Vanaf 2038	Na 2040

¹ Break-even punt, NCW > 0

² Rentabiliteit > 10 %

Kleurlegenda: Groen: Vanaf 2011 t/m 2017, Oranje: vanaf 2018 t/m 2025, Rood: na 2026

13 Conclusies

Door de trends in daling van de technologieprijzen en stijging van de energieprijzen in verschillende scenario's door te trekken naar de toekomst, is een inschatting gemaakt van het jaar waarin de onderzochte duurzame energietechnologieën financieel aantrekkelijk worden voor bloembollenbedrijven. Hierbij is rekening gehouden met verschillende groeiscenario's en het wel/niet verkrijgen van subsidie. Voor alle typen bloembollenbedrijven blijkt dat het naar verwachting binnen enkele jaren interessant is om te investeren in een middelgrote windturbine, een groot oppervlak aan zonnepanelen (100 kWp) of een houtkachel. Ook een mestcovergister met WKK of een monovergister met teruglevering kan in sommige situaties winstgevend zijn. Overige technieken worden naar verwachting pas na 2020 kostenneutraal.

Een middelgrote windturbine met een vermogen tussen de 80 en 250 kW betaalt zich met subsidie of als de energieprijzen stijgen bijna altijd terug. In dat geval kan een rendement tot 10% op de investering worden behaald. Alleen als er geen subsidie wordt verkregen en de stijging van de energieprijzen uitblijft kan het tot uiterlijk 2017 duren voordat een investering in een middelgrote windturbine in alle gevallen kostenneutraal is. Investeren in een kleine windmolen van 2 kW kan ook interessant zijn, maar alleen als de elektriciteitsprijzen in de komende jaren met 6 % per jaar stijgen én als er SDE+ subsidie wordt verkregen. Voor een gemiddeld klein bloembollenbedrijf (< 5 ha) is het sowieso interessant om te investeren in een kleine windmolen. Ook zonder subsidie en met uitblijven van een energieprijzstijgingen levert een investering een rendement van minstens 6 % op.

Zonnepanelen zijn momenteel nog duur, maar de prijzen dalen snel. Als subsidie kan worden verkregen is de investering nu al bijna altijd kostendekkend en kan rentabiliteit oplopen tot 10 %. Tot en met 2017 is de haalbaarheid van een investering in een grote zonnepaneelinstallatie afhankelijk van de omstandigheden zoals het verkrijgen van subsidie, vanaf 2018 is het de verwachting dat een investering voor alle typen bloembollenbedrijven en onder alle omstandigheden kostendekkend is. Voor een klein bloembollenbedrijf < 5 ha is het vanaf 2012 in alle gevallen kostendekkend om in een kleine PV installatie van 3,5 kW te investeren.

Ook een houtkachel is momenteel onder bijna alle omstandigheden kostendekkend voor een gemiddeld bloembollenbedrijf, de rentabiliteit van een investering ligt tussen de 1% en 20%, afhankelijk van de stijging van de energieprijzen. Bij houtkachels is de haalbaarheid sterk afhankelijk van de brandstofprijzen, die sterk kunnen fluctueren. Als de prijzen met 40% stijgen is een investering in de meeste gevallen niet meer kostendekkend.

Een biomassavergister is winstgevend voor een gemiddeld bloembollenbedrijf > 5 ha (zowel telers als teler/broeiers) of een gemiddeld broeibedrijf als er SDE+ en EIA subsidie kan worden verkregen. In dat geval kan de rentabiliteit van een investering, bij een sterke stijging van de energieprijzen, nu al oplopen tot 11%. Een monovergister met teruglevering van aardgas aan het net of mestcovergister met WKK zijn financieel de meest aantrekkelijke vergisters voor een bloembollenbedrijf. Een mestcovergister met teruglevering of een monovergister met WKK is voor een gemiddeld bloembollenbedrijf in de komende 20 jaar naar verwachting nog niet interessant.

De andere onderzochte duurzame technieken zijn in de periode tot 2020 voor een gemiddeld bloembollenbedrijf nog niet interessant. Geotherme energie wordt naar verwachting pas na 2040 kostendekkend voor een gemiddeld bloembollenbedrijf. Ook biomassavergassing in combinatie met een WKK is nu nog veel te duur, pas vanaf 2020 kan verwacht worden dat deze technologie voldoende ontwikkeld is.

14 Aanbevelingen

Uit deze verkenning van duurzame energietechnieken blijkt dat de economische haalbaarheid van een investering in duurzame energieopwekking op een bloembollenbedrijf sterk afhankelijk is van de omstandigheden. Het energiegebruik op het bedrijf, de prijs die betaald moet worden voor fossiele energie, hoeveelheden afval die beschikbaar zijn en het wel/niet verkrijgen van subsidie bepalen in grote mate de rentabiliteit van de investering. Het verdient daarom de aanbeveling om ondernemers de mogelijkheid te bieden om de specifieke situatie van hun bedrijf door te rekenen. Hiervoor zou een rekenmodel opgesteld kunnen worden waarin technieken worden opgenomen die in de komende 10 jaar worden verwacht kostenneutraal te zijn: kleine- en middelgrote windenergie, zonnepanelen, houtkachels en biomassavergisting. Zo'n model moet ten minste de volgende parameters bevat:

- Wel/niet verkrijgen van subsidie
- Warmtevraag op het bedrijf
- Elektriciteitsgebruik op het bedrijf
- Hoeveelheden teelt- en broeierijafval die beschikbaar zijn op het bedrijf

Voor een nauwkeurige haalbaarheidsanalyse is noodzakelijk om een goed inzicht te krijgen in de basis en piekvraag aan warmte en elektriciteit op het bedrijf gedurende verschillende momenten van de dag en in verschillende periodes over het jaar. Met goed inzicht in de energiehuishouding kan de gunstigste installatiegrootte worden berekend aan de hand van de hoeveelheid energie die wordt teruggeleverd dan wel gebruikt op het bedrijf zelf. Als rekening wordt gehouden met de wisselende energievraag, zal de haalbaarheid van een bepaalde technologie naar verwachting nog meer verschillen tussen bedrijven en bedrijfstypes.

Met een verbeterd inzicht in de warmtehuishouding kan voor de verdere toekomst (10 jaar) een inschatting worden gemaakt van complexere energieoplossingen dan hier beschreven. Door het combineren van technologieën worden sterke punten versterkt. Warmte koude opslag, als dan niet gecombineerd met warmtepompen, maakt het mogelijk om efficiënter gebruik te maken van duurzame warmteopwekking. Daarnaast kunnen energiestromen via bijvoorbeeld lokale warmtenetten of elektriciteitsmanagement systemen ook worden uitgewisseld met andere bedrijven en particulieren in de omgeving. Voor een goede analyse van warmte-koude opslag en/of de uitwisseling van energiestromen is het kennen van het energieprofiel (warmte- en elektriciteitsvraag over de tijd) van verschillende teelten een vereiste. Wegens gebrek aan dit soort gegevens en praktische beperkingen zijn deze opties in deze verkennende studie niet onderzocht. Voor toekomstig onderzoek is het de aanbeveling om deze opties wel mee te nemen.

15 Literatuur

- Baal, V. (2011). "Kunnen we overschakelen op duurzame energie, deel2, windturbines op land." Technisch weekblad **2011**(13).
- CBS (2011). Statline: Aardgas en elektriciteit; gemiddelde tarieven, Centraal bureau voor de statistiek.
- CBS (2011). Statline: Hernieuwbare energie; eindverbruik en vermeden verbruik fossiele energie, Centraal Bureau voor de Statistiek.
- Coenen, J. and S. Schlatmann (2007). Rentabiliteit biomassa wkk: Mogelijkheden tot verbetering. Driebergen, Cogen.
- Duurzaamthuis. (2011). "Test: Zonnepanelen of een kleine windmolen." Retrieved 21-06-2011, from <http://www.duurzaamthuis.nl/zonnepanelen-of-een-kleine-windmolen>.
- duurzame-energiebronnen.nl. (2011). "Subsidie windenergie: Investeren en opbrengsten kleine windturbines." Retrieved 21-06-2011, from http://provincie.zeeland.nl/milieu_natuur/windenergie/kleine_windturbines/index <http://www.duurzame-energiebronnen.nl/subsidie-windenergie.php>.
- DWA (2008). Duurzame energie in de bloembollensector. Bodegraven, DWA installatie- en energieadvies.
- ES Renewables Ltd (2011). WES Wind Turbines 80Kw and 250Kw. E. R. Ltd. North Yorkshire.
- Euroheat. (2008). "HDG Trade Price & Specification List Edition 28A Heating Systems for Wood." Retrieved 23-06-2011, from <http://www.amackmurdie.ltd.uk/hdg/documents/HDG-Price-List.pdf>.
- Flynt (2011). workshop tuinbouw relatedagen. Gorinchem, Flynt.
- HoSt. (2011). "Biomassavergassing: Turn-key levering van een 50 kWe vergasser met gasmotor." Retrieved 23-06-2011, from <http://www.host.nl/nl/category/biomassavergassing/>.
- Huld, T. and E. D. Dunlop. (2011). "Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps." from <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>.
- IEA (2009). WORLD ENERGY OUTLOOK 2010: What does the global energy outlook to 2035 look like? Parijs, International Energy Agency.
- Junginger, H., P. Lako, et al. (2008). "Technological learning in the energy sector." Report/WAB(500102017): 1-192.
- Lensink, S., J. Cleijne, et al. (2009). Eindadvies basisbedragen 2010, ECN/KEMA, Petten, November.
- Lensink, S., J. Wassenaar, et al. "Eindadvies basisbedragen 2011 voor elektriciteit en groen gas in het kader van de SDE-regeling."
- Luxembourg, S., P. Lako, et al. "Geothermische energie en de SDE."
- McDonald, A. and L. Schratzenholzer (2001). "Learning rates for energy technologies." Energy policy **29**(4): 255-261.
- Pachauri, R. K. (2008). Climate change 2007: synthesis report, IPCC Secretariat, 7 bis Avenue de la Paix C. P. 2300 Geneva 2 CH- 1211 Switzerland.
- Rijssel, E. v. and W. J. M. Hazelaar (2003). "Zonedak kan kosten drukken." BloembollenVisie **1**(4).
- Schoots, K. (2010). Innovatie en leercurven, ECN-E-10-038, Petten.
- skydream. (2011). "Skydream windgenerator." Retrieved 21-06-2011, from <http://www.skystreamwindgenerator.nl/>.
- Staatscourant. (2010). "Regeling van de Minister van Economische Zaken 1 nov 2010." from <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2010-17447.html>.
- Stefan, P. and H. Lehmann Renewable Energy Outlook 2030: Energy Watch Group Global Renewable Energy Scenarios. Markkleeberg Germany, EnergyWatchGroup.
- Terbijhe, A., M. van der Voort, et al. (2010). "Verkenning duurzame energieproductie landbouwbedrijven."
- WES. (2011). "WES 18 home: midsize windturbine - complete description." Retrieved 21-06-2011, 2011, from <http://www.wes18.com/files/pdf/Complete%20Description%20WES18.pdf>.
- Wildschut, J. (2011). Klimaatneutrale bloembollenbedrijven: visie op 2020. Lisse, Praktijkonderzoek Plant &

Omgeving B.V.

Wildschut, J., H. Gude, et al. (2010). State-of-the-Art bewaarsysteem tulpenbollen. Lisse, Praktijkonderzoek plant en omgeving.

Wildschut, J. and M. Kok (2007). Energiestroom Lelie. Lisse, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Wildschut, J., M. Kok, et al. (2006). Energiestromen tulp en hyacint. Lisse, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving

Bijlage A: subsidiemogelijkheden

Indien gebruik gemaakt wordt van overheidssubsidies kan de kostprijs van de beschreven technologieën significant goedkoper uitvallen. We beschrijven de belangrijkste subsidieregelingen voor Nederlandse ondernemers.

Stimulering duurzame energie (SDE)

De SDE subsidie is een garantie-subsidie die tussen 2008 en januari 2011 werd verstrekt op basis van geproduceerde hoeveelheid duurzame energie. Vanaf 1 juli 2011 zal de opvolger van de SDE, de SDE+ regeling, in werking treden. Het voornemen van het kabinet is om in de komende 15 jaar € 1.4 miljard aan de SDE+ uit te geven (inclusief voorlopers SDE en MEP), wat neerkomt op het aangaan van verplichtingen van € 100 miljoen per jaar gedurende 15 jaar. Dit maximum bedrag is van belang omdat er in de SDE+ voor het eerst sprake zal zijn van een gefaseerde openstelling. Het basissubsidiebedrag loopt in vier periodes op van 9 €ct/kWh naar maximaal 15 €ct/kWh. De gedachte hierachter is dat de goedkoopste mogelijkheden voor duurzame energiegebruik als eerste worden gesubsidieerd. Het gevaar voor ondernemers is dus dat zij achter het net vissen als ze wachten tot in een latere periode met het aanvragen van subsidie. Per technologie kunnen afwijkende basisbedragen zijn vastgesteld. Tabel A1 beschrijft deze maximum en minimum bedragen voor de relevante technologieën.

Tabel A1: SDE+ subsidie op de geproduceerde hoeveelheid duurzame energie (bron: (Staatscourant 2010))

Duurzame techniek	Eenheid	Maximum bedrag	Mimumum bedrag
basisbedrag elektriciteit (algemeen)	ct / kWh	15	9
basisbedrag groen gas (algemeen)	ct / Nm3	104	62
allesvergistig groen gasWKK	ct / kWh	14,9	9
allesvergistig groen gas	ct / Nm3	57,9	57,9
mestcovergistig groen gas WKK	ct / kWh	20,5	9
mestcovergistig groen gas	ct / Nm3	71,3	62
wind op land	ct / kWh	9,6	9
vrije categorie (gas)	ct / Nm3	104	62
vrije categorie (electriciteit)	ct / kWh	15	9

Bovenop het basisbedrag kan, afhankelijk onder meer van technologische ontwikkelingen en inflatie, een correctiebedrag komen dat jaarlijks wordt vastgesteld. Dit correctiebedrag wordt verder buiten beschouwing gelaten aangezien het effect van technologische rendementsverbeteringen reeds is meegenomen in de techno-economische analyse en inflatie geen deel uitmaakt van het economisch model.

Energie investeringsaftrek (EIA)

In tegenstelling tot de SDE is de EIA geen directe subsidie, maar een mogelijkheid om uitgaven voor duurzame energievoorzieningen in mindering te brengen op de (venootschaps-)belasting. Het budget voor de EIA is 150 miljoen, maar dit plafond is niet keihard. De minister van EL&I kan besluiten tot uitbreiding van het budget.

Milieu investeringsaftrek (MIA)

De MIA regeling is vergelijkbaar met de EIA met het verschil dat de MIA geldt voor 'algemene' milieu investeringen die niet perse energie gerelateerd hoeven te zijn. De investeringen die in aanmerking komen staan op de zogenaamde 'milieulijst' van AgentschapNL. De EIA biedt een hogere aftrek dan de MIA (41,5% bij EIA v.s. maximaal 36% bij MIA), maar MIA en EIA mogen echter niet worden gebruikt voor dezelfde investering. Omdat alle onderzochte investeringen in aanmerking komen voor de EIA, biedt de MIA geen voordeel. De MIA wordt dus verder buiten beschouwing gelaten.

Willekeurige afschrijving milieu investeringen (VAMIL)

De VAMIL regeling biedt de mogelijkheid om investeringen versneld af te schrijven en het investerings bedrag in één keer van de netto winst af te trekken in plaats van verspreid over de levensduur van de investering. In verband met de crisis heeft het kabinet besloten de regeling tijdelijk te verlagen naar maximaal 75% van het investeringsbedrag in de periode 2011 t/m 2013. Vanaf 2014 is er weer de mogelijkheid. In tegenstelling tot de MIA mag de VAMIL regeling wel tegelijkertijd met de EIA gebruikt worden.

Het voordeel van versnelde afschrijving verschilt echter zeer sterk per bedrijf. Een behoefte aan extra liquide middelen kunnen het erg aantrekkelijk maken om gebruik te maken van deze regeling. Voor bedrijven met genoeg bestedingsruimte kan de regeling enkele procenten rentevoordeel opleveren omdat de aftrek in een eerder boekjaar terugvloeit in de bedrijfskas.

De VAMIL is van toepassing op investeringen op de milieulijst van Agentschap NL, wat betreft energie zijn dit voornamelijk specifieke deel-investeringen van grotere installaties. Een kleinschalige mestvergisting zonder toevoeging van co-substraten komt in aanmerking, of een installatie voor verjaging van vogels en vleermuizen bij een windturbine. Vanwege het geringe voordeel (enkele procenten) en de beperkte toepassings mogelijkheden, wordt de VAMIL niet meegenomen in de berekeningen.