

Kennisdossier hernieuwbare energietoepassing

1 Geothermie

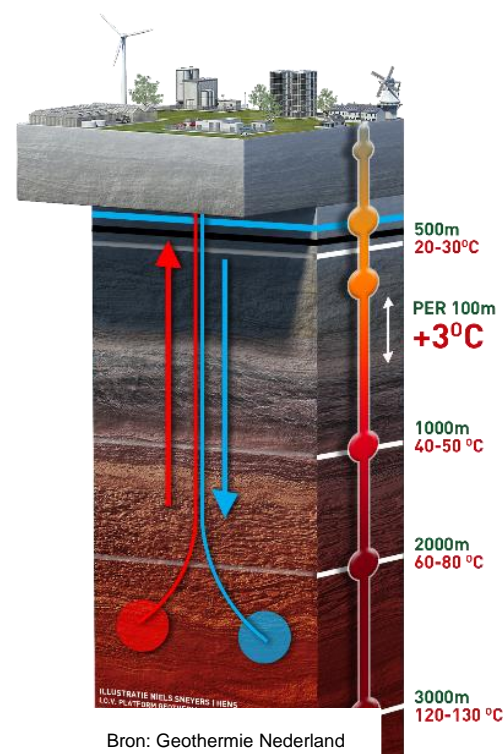
1.1 Inleiding

Met een geothermische bron kan duurzame *warmte* worden opgewekt. Geothermie, ook wel aardwarmte genoemd, is het gebruik van warmte uit de diepe ondergrond. Daarbij geldt het adagium, hoe dieper hoe warmer. Vooral in het westen van Nederland is de potentie van geothermie groot. Op veel plekken in Nederland is nog weinig bekend over de exacte potentie van geothermie; dit berust vaak op schattingen vanuit kennis uit olie- en gasboringen. De exacte potentie van geothermie op een specifieke locatie wordt bepaald door proefboringen. Veel van de geothermieprojecten in gemeente Westland zijn voor de glastuinbouw voor het verwarmen van de kassen. Geothermie is een duurzame warmtebron, omdat er geen fossiele energiebronnen gebruikt worden. Vanwege de beschikbare temperaturen wordt geothermie momenteel vooral toegepast voor tuinbouwkassen en in mindere mate stadsverwarming. Ook voor industrie met een gematigde temperatuur warmtevraag is geothermie interessant. Schaalgrootte en geconcentreerde warmteafname zijn van groot belang voor een haalbare toepassing van geothermie.

1.2 Vuistregels en kengetallen

Er is onderscheid te maken tussen verschillende 'typen' geothermie afhankelijk van de diepte. Bij geothermie geldt in principe, hoe dieper hoe hoger de temperatuur van de onttrokken warmte.

- Per 100 meter stijgt de temperatuur van warmte gemiddeld met 3°C. Dit is een ruwe indicatie.
- Bij een diepte van minder dan 500 meter, valt het gebruik niet onder geothermie, maar onder de grondwaterwet. Bij een diepte van meer dan 500 meter is er sprake van geothermie;
- Geothermie valt onder de mijnbouwwet. Het is daarbij toegestaan om netto warmte te onttrekken aan de bodem. Het realiseren van een bodembalans is dan ook niet nodig.
- Bij ondiepe geothermie (ODG) wordt geboord tot een diepte tussen de 500 en 1.500 meter. Temperatuur van de warmte ligt tussen de 25°C en 50°C.
- Bij diepe geothermie (DG) wordt geboord tot een diepte van circa 1.500 tot 4.000 meter. Temperatuur van de warmte ligt tussen 40°C en 120°C.
- Bij ultradiepe geothermie (UDG) wordt geboord tot een diepte van 4.000 of dieper en ligt de temperatuur van de warmte op circa 120°C of hoger.
- Niet op elke diepte is ook een watervoerende laag aanwezig. Voor benutting van geothermie is zowel voldoende temperatuur als een geschikte watervoerende laag noodzakelijk.
- Van de waterhoudende lagen, wordt de doorstroming van de laag (bijvoorbeeld zandsteen of kalksteen) bepaald door de dikte van de laag en de doorlatendheid (permeabiliteit).
- De dikte en permeabiliteit moeten voldoende zijn om een realistische capaciteit te krijgen. Daarom zijn niet alle aanwezige watervoerende lagen geschikt voor het winnen van aardwarmte



Het vermogen, de opbrengst en de investering in geothermie is afhankelijk van de diepte (en daarmee temperatuur) van waaruit warmte wordt onttrokken en de doorlaatbaarheid van de ondergrond. Enkele vuistregels bij geothermie zijn:

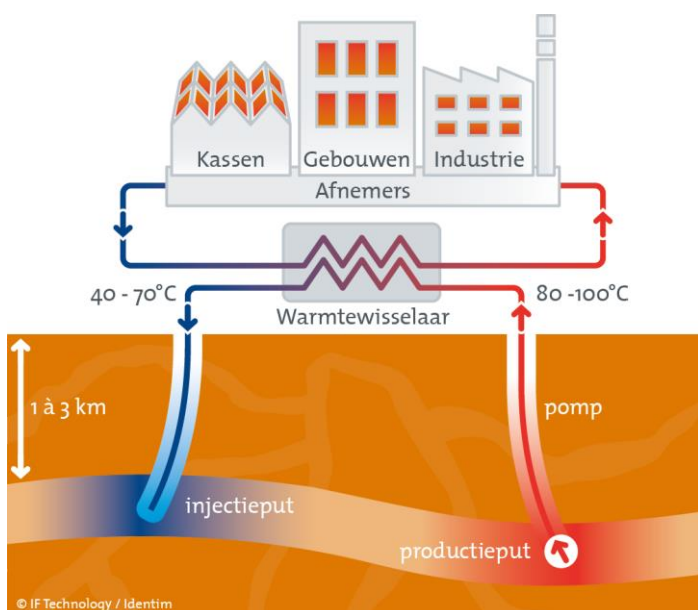
- De pompcapaciteit is gemiddeld circa 100-200 m³ per uur.

- Technische levensduur van een geothermiedoublet is 30 jaar. Door het verder uit elkaar plaatsen van de onttrekkingsput en de injectieput, kan ook ontworpen worden op een langere levensduur.
- De prestatiecoëfficiënt (COP) hangt af van deltaT (verschil temperatuur opgepompte water en temperatuur warmtevraag). Bij een deltaT van 40°C is de COP rond de 20.
- Het vermogen wordt bepaald door de afkoeling van het water (i.e. de temperatuur van de warmtevraag). Indicatief vermogen bij winning aardwarmte van 150 m³/uur van 90°C en bij deltaT van 40°C: 7 MW
- Een grotere deltaT maakt een geothermieproject financieel aantrekkelijker.
- Voor een rendabele exploitatie zijn minimaal 5.500 vollasturen nodig. De warmtevraag dient dus niet sterk seizoensafhankelijk te zijn.
- De boringkosten zijn sterk afhankelijk van de diepte van de boring. Een bedrag van € 10 tot 15 miljoen voor een kale boring van 3 km diepte is realistisch.

1.3 Componenten en werking

Een hernieuwbare energietoepassing met geothermie bestaat uit de volgende componenten:

- Productieput
- Injectieput
- Pomp
- Warmtewisselaar/warmtecentrale



Werking

Met geothermie wordt er warmte gewonnen uit watervoerende lagen in de ondergrond. Om het warmte water te kunnen winnen worden er twee putten geboord: een productieput en een injectieput. Samen vormen deze putten een doublet. Bij het boren worden *casings* (bebuizing) aangebracht voor het verstevigen van het boorgat en voor het afdichten van de doorboorde lagen. Middels een pomp wordt uit de productieput water omhoog gepompt. Vervolgens geeft het opgepompte water warmte af via een warmtewisselaar aan de gebouwinstallatie/ warmteafnemers.

Het afgekoelde water gaat via de injectieput weer terug in de grond, in dezelfde watervoerende laag. De afstand tussen de

twee putten in de ondergrond is 1,5 tot 2 kilometer zodat het geïnjecteerde afgekoelde water het warmte water niet (te veel) beïnvloedt. Door gedeveerd te boren, kunnen de productieput en onttrekkingsput bovengronds bij elkaar liggen. Boven de grond moet rekening gehouden worden met de omvang en bouw van de warmtecentrale.

1.4 Businesscase

Onderstaand staan de kengetallen van een businesscase van een geothermieproject dat is gerealiseerd voor de glastuinbouw.

- Piekvermogen 21 MWth.
- Aantal vollasturen zijn 7.000
- Diepte geothermiedoublet is 2.300 meter en gewonnen warmte heeft temperatuur van circa 85°C.
- De investering in het geothermiedoublet zijn € 21,3 miljoen (inclusief inrichting boorterrein, verzekering) exclusief projectkosten en kosten voor warmtenetinfrastructuur.
- Financiering: 70% VV, 22% EV, 8% overig/steunmaatregelen.
- Totaal aan initiële steunmaatregelen bij dit project (nationale en lokale subsidieregelingen en afgegeven garanties) komt uit op € 4,1 miljoen.

- Looptijd project minimaal 15 jaar voor SDE inkomsten.
- Projectrendement 6,3%
- Gasprijs prijspeil 2016.

1.5 Gevoeligheden

De belangrijkste gevoeligheden voor de businesscase liggen:

- Het warmtegebruik. Een vergroting van de uitkoeling (deltaT) en een verhoging van het aantal bedrijfsuren komt ten goede aan de businesscase.
- De geldende energietarieven. Bij een juiste inzet kan gesteld worden dat geothermie een positieve businesscase kan opleveren vanaf een kale gasprijs van € 0,50/m³. Bij hogere gasprijzen wordt de businesscase positiever, of kan geothermie ook worden ingezet bij een wat kleinere uitkoeling of minder vollasturen.

1.6 Aandachtspunten

Enkele aandachtspunten bij de toepassing van geothermie:

- De bodem dient geschikt te zijn voor het toepassen van geothermie; dat wil zeggen: op de juiste diepte beschikken over een watervoerende laag met voldoende capaciteit en temperatuur. Hoewel vooronderzoek hier een goede indicatie over kan geven, levert een proefboring hierover uitsluitel;
- Technische risico's zijn bijvoorbeeld bodemdaling, kans op kleine aardbevingen door seismische activiteit, vervuiling van het grondwater. Deze risico's zijn bij een goed boorplan minimaal.
- Het risico op een tegenvallende opbrengst uit de bron, maakt dat de rendementseis voor financiering meestal vrij hoog ligt. Nederland heeft hiervoor een garantieregeling RNES (in ontwikkeling).
- De voorbereidingstijd, besluitvormingsproces en realisatie van een geothermieproject kan enkele jaren in beslag nemen.

1.7 Links

Handige links om te raadplegen:

- Risico dekkende subsidie ([RNES](#)) en subsidie voor de productie van warmte ([SDE++](#)) of aanleg infrastructuur [EIA](#).
- Uitgebreide toelichting op geothermie van het [Expertise Centrum Warmte](#) (ECW)
- Kerngegevens voor toepassen geothermie voor de industrie van de [RVO](#)
- Voorbeeldproject van toepassing van geothermie <https://www.triaswestland.nl/>
- Algemene informatie over geothermie <https://geothermie.nl>

2 Zonnecollectoren direct

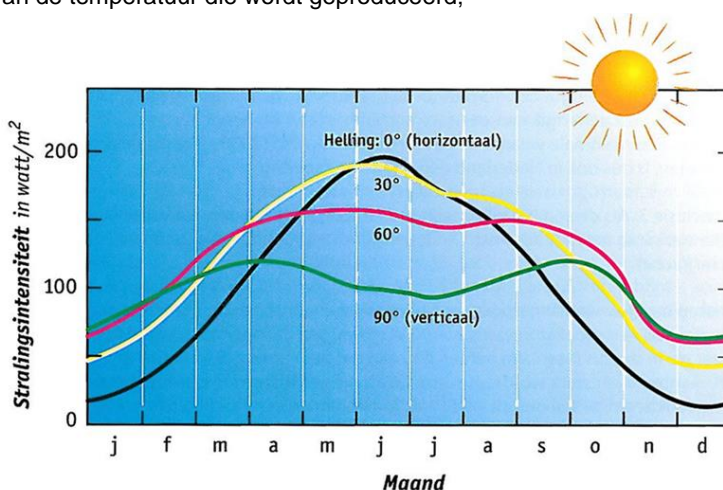
2.1 Inleiding

Met zonnecollectoren kan uit zonlicht duurzame warmte worden opgewekt. Warmte uit zonlicht wordt zonthermie genoemd. Zonnecollectoren die direct warmte leveren zonder gebruik te maken van een seizoensopslagsysteem, vormen een eenvoudige vorm van directe warmtelevering. Een directe toepassing van zonthermie is vooral in de zomer (maanden) zinvol. Voor utiliteit met een warmtevraag in de zomer zoals zwembaden voor het verwarmen van het water kan zonthermie worden toegepast. Ook in de glastuinbouw voor kasverwarming of in de industrie voor warm proceswater tot 80°C is een directe toepassing mogelijk.

2.2 Vuistregels en kengetallen

Een aantal kengetallen bij zonnecollectoren:

- Maximaal vermogen per collector-/paneeloppervlak: 900 W/m². Dit vermogen wordt behaald bij volle zoninstraling en een lage temperatuur van het te verwarmen medium;
- Minimale technische levensduur is 20 jaar voor de collectoren;
- Vollasturen per jaar: tot 1.000, afhankelijk van de temperatuur die wordt geproduceerd;
- Opbrengst per jaar tot maximaal 700 kWh/m²/jaar (afhankelijk van de temperatuur warmte uit de collector). Bekijk ook het figuur over rendement.
- Investeringskosten:
 - € 525/kWth bij systemen van 140 kWth tot 1 MWth
 - € 420/kWth bij systemen groter dan 1 MWth
- Ideale hellingshoek op het zuiden van 30° voor meeste opvang in zomermaanden. Overigens kan met een steilere opstelling een vlakker aanbodprofiel worden verkregen.



2.3 Componenten en werking

De toepassing van een zonnecollector bestaat uit de volgende componenten:

- Zonnecollector paneel (vlakke plaat zonnecollectoren of vacuümbuis collectoren);
- Buffervat

Er zijn op hoofdlijnen twee soorten zonnecollectoren die geschikt zijn voor het produceren van warmte met temperaturen boven de 50°C, die elk uit verschillende componenten bestaan:

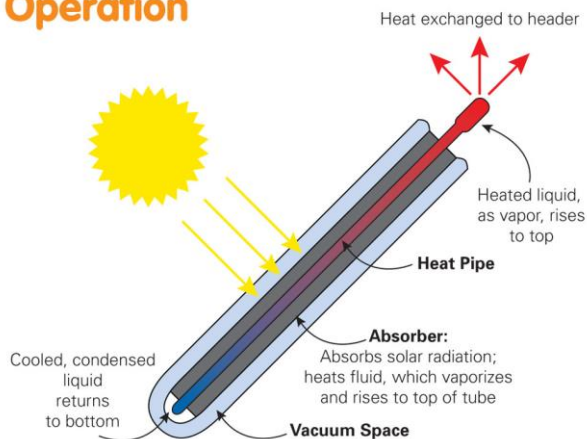
- Vlakke plaat zonnecollectoren:
 - Glazen afdekplaat
 - Paneel of absorbeerplaat
 - Buizenstelsel met vloeistof (meestal glycol)
 - Isolatiemateriaal
- Vacuüm buis collector
 - Twee glazen buizen
 - Koperen heat pipe of absorbeerplaat met vloeistof

Werking vlakke plaat collector

Een zonnecollector zet zonlicht om in warmte. De zonnecollectoren liggen op een dak van een gebouw of worden opgesteld in een veld. Een vlakke plaat zonnecollector bestaat uit een zwarte plaat of paneel, ook wel de absorbeerplaat genoemd, die het zonlicht opvangt. De absorbeerplaat is afgedekt met een glazen afdekplaat en onder de absorbeerplaat zit isolatiemateriaal waardoor de warmte wordt vastgehouden. In de kleine ruimte tussen de absorbeerplaat en de afdekplaat zit een buizenstelsel waar meestal een antivries vloeistof (meestal glycol) door heen stroomt om de opgevangen warmte af te voeren.

De absorbeerplaat verwarmt de vloeistof in buizenstelsel tot een temperatuur van maximaal 90°C. De verwarmde vloeistof komt via de leidingen bij een voorraadvat waar het de warmte afgeeft. Als de vloeistof de warmte heeft afgegeven en is afgekoeld wordt het teruggepompt naar de zonnecollector en begint het principe opnieuw. Op deze manier wordt het water in het voorraadvat opgewarmd.

Evacuated Tube Operation



Werking vacuümbuis collector

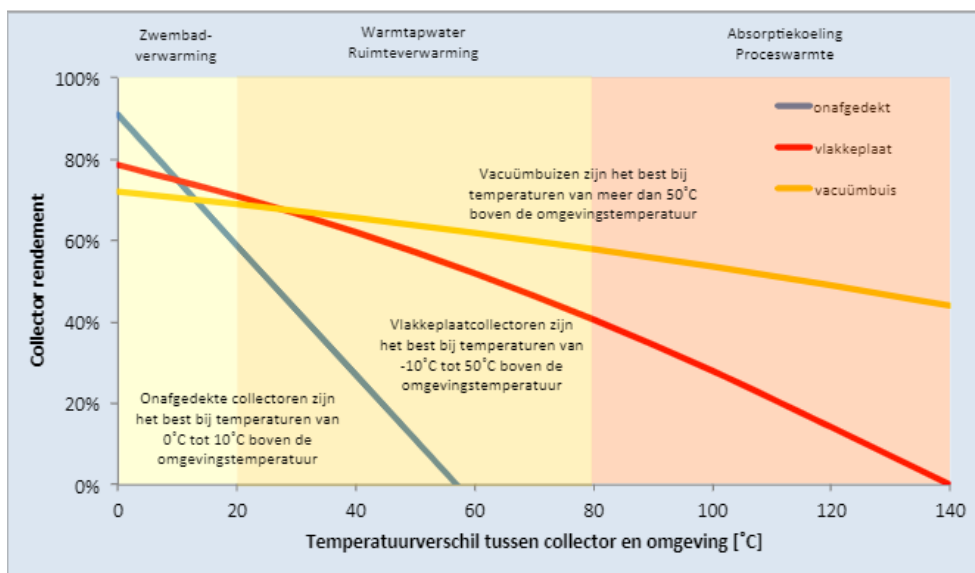
De vacuümbuis collector (ook wel heatpipe collector genoemd) verschilt in werking van de vlakke plaat collector. Bij de vacuümbuis collector is het buizensysteem goed zichtbaar. Het buizensysteem bestaat uit twee buizen in een frame (de ene buis binnen de ander) waarbij de ruimte tussen die buizen vacuüm is gemaakt. Dit vacuüm voorkomt dat warmte uit de binnenste buis verloren gaat naar de omgeving. Binnen de binnenste glazen buis zit de absorbeerplaat of heat pipe van koper. Op de buitenlaag van de binnenste glazen buis zit een zwarte coating die het zonlicht, dat door de doorzichtige buitenste glazen buis gaat, absorbeert.

Door het vacuüm tussen de beide glazen buizen kan de warmte niet ontsnappen. De vloeistof in de heat pipe verdampt en stijgt naar boven in de heat pipe

en geeft de warmte af aan een buizensysteem met water of antivries. De afgekoelde en gecondenseerde vloeistof zakt naar beneden in de heat pipe om daar vervolgens weer op te warmen en te verdampen. Een belangrijk voordeel van de vacuümbuis collector is dat het hogere temperaturen (tot max 200°C) kan 'maken' waardoor het interessant kan zijn voor industrie met een middentemperatuur warmtevraag (100 a 150°C).

Rendement/warmteverliezen

Het rendement van een collector is zeer afhankelijk van de instraling en het temperatuurverschil tussen de collector en de buitenlucht (Delta T). Het rendement van een vacuümbuis is beter dan die van een vlakke plaat collector bij een groot temperatuurverschil tussen collector en buitenlucht. Een vlakke plaat collector heeft bij een grote deltaT relatief veel warmteverlies.



Rendementsverschil vlakke plaat en vacuümbuis collector (bron: E4S Consult)

2.4 Businesscase

Onderstaand een rekenvoorbeeld van een zonthermieproject:

- Toepassing: directe toepassing voor het verwarmen van een binnenzwembad
- Warmtevraag bedraagt circa 35.000 GJ/jaar

- Aandeel zonnecollectoren: 40%
- Opbrengst zonnecollectoren: 500 kWh/m²
- Oppervlakte zonnecollectoren circa 7.800 m²
- Vermogen zonnecollectoren: 1000 kWh/m²
- Investering zonthermisch systeem: € 2,94 miljoen
- Besparing aardgasverbruik: € 280.000 per jaar
- Eenvoudige terugverdientijd: 10,5 jaar

2.5 Gevoeligheid

De businesscase wordt met name bepaald door:

- De opbrengst van de panelen. Deze is afhankelijk van de benodigde temperatuur. Tot een temperatuur van circa 60°C kunnen vlakke plaat collectoren worden toegepast; tot een temperatuur van circa 130°C vacuümbuizen. Bij warmtevraag boven deze waarden is de toepassing van zonnecollectoren waarschijnlijk niet zinvol;
- De warmtevraag dient plaats te vinden in het seizoen met veel zoninstraling, dus van april tot september. Bij een sterk seizoensgebonden warmtevraag in de winter is de directe toepassing van zonnecollectoren doorgaans niet haalbaar;
- Voor een rendabele toepassing is een kale gasprijs van minimaal € 0,50/m³ noodzakelijk. Bij een hogere gasprijs wordt de businesscase beter, of kan gekozen worden voor toepassingen die minder optimaal zijn.

2.6 Aandachtspunten

- Met directe opwekking en zonder seizoensopslag is deze toepassing in een bepaalde periode van het jaar zinvol (april-september). In de wintermaanden is de opwek van warmte vrijwel nihil
- Zonnecollector vragen om een ruimtelijke inpassing; er dient voldoende dakoppervlak beschikbaar te zijn en het dak dient geschikt te zijn voor constructie en ballast van de collectoren.
- Rendement van een vlakke plaat collector neemt sneller af bij een grote deltaT dan een vacuümbuis collector.

2.7 Links

Links om te raadplegen:

- Voor informatie over de werking van de techniek bekijk [deze link](#) van het ECW.
- Voor subsidiemogelijkheden bekijk de [EIA](#) en de [SDE++](#)

3 Zonnecollectoren i.c.m. grootschalige opslag

3.1 Inleiding

Wanneer de warmtevraag niet parallel loopt met het warmteaanbod uit zonne-energie, kan de energie worden opgeslagen in een seizoensopslag. Voorbeelden hiervan zijn een Ecovat of HoCoSto, waarbij in beide gevallen warmte van lage tot gematigde temperatuur (tot maximaal 95°C) wordt opgeslagen in een buffervat gevuld met water in de ondergrond. De opgewekte warmte in de zomermaanden wordt opgeslagen in het buffervat en kan daarmee ook buiten het warme seizoen gebruikt worden. Glastuinbouw of utiliteitsgebouwen met een continue seizoensgebonden warmtevraag kunnen gebruik maken van een dergelijk systeem.

3.2 Vuistregels

Een aantal kengetallen en vuistregels bij de toepassing van zonthermie in combinatie met grootschalige opslag zijn:

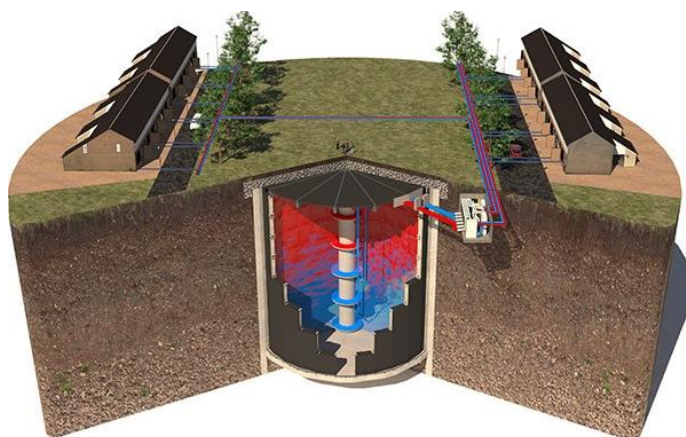
- Opbrengst van zonnecollectoren; zie dossier over directe zonnecollectoren
- Opslagvolume van een Ecovat varieert van minimaal 20.000 tot maximaal 100.000 m³ per vat.
- HoCoSto opslagsystemen zijn meer modulair en kunnen ook voor kleinere schaalgroottes worden gerealiseerd.
- Het opslagrendement voor grootschalige opslag is afhankelijk van de grootte van het systeem. Voor grote volumes (circa 50.000 m³) bedraagt het verlies over een half jaar circa 10%. Het verlies wordt groter voor kleinere opslagvolumes.
- Range opslagcapaciteit bij dT 70°C ligt tussen:
 - 1,7 GWh (200.000 m³ a.e.)/cyclus bij 20.000 m³
 - 8 GWh (1.000.000 m³ a.e.)/cyclus bij 100.000 m³.
- Levensduur circa 50 jaar.
- Investeringskosten Ecovat zijn afhankelijk van de grootte van het vat. Investeringsrange ligt tussen:
 - € 4,8 miljoen voor het kleinste vat van 20.000 m³ (à € 240/m³)
 - € 16 miljoen voor het grootste vat van 100.000 m³ (à € 160/m³)
- Investeringskosten HoCoSto: € 160/m³ voor een systeem van 3.000 m³

3.3 Componenten en werking

Bij toepassing van zonthermie in combinatie met grootschalige opslag komt de opwekking van warmte uit dezelfde eerder beschreven vlakke plaat of vacuümbuis collectoren. In combinatie met grootschalige opslag van warmte komen daar de volgende componenten bij:

- Warmtebuffer
- Warmtewisselaar
- Diffuser(s)
- Pompcentrale

Ecovat bestaat uit een betonnen buitenvat en een goed geïsoleerd binnenvat gevuld met warmte waarmee warmte en koude opgeslagen kan worden met een temperatuur tussen de 5 en maximaal 95°C. Het is een ondergronds opslagsysteem. Wanneer de opgewekte warmte groter is dan de afname (warmtevraag), maakt het opslagsysteem het mogelijk om de overtollige warmte op te slaan en te gebruiken wanneer er wel vraag naar warmte is. Het vat is cilindervormig, is praktisch even breed als diep en kan met verschillende maten worden gemaakt. Het grootste Ecovat is 54 meter diep en 48 meter breed (Ecovat, 2021).

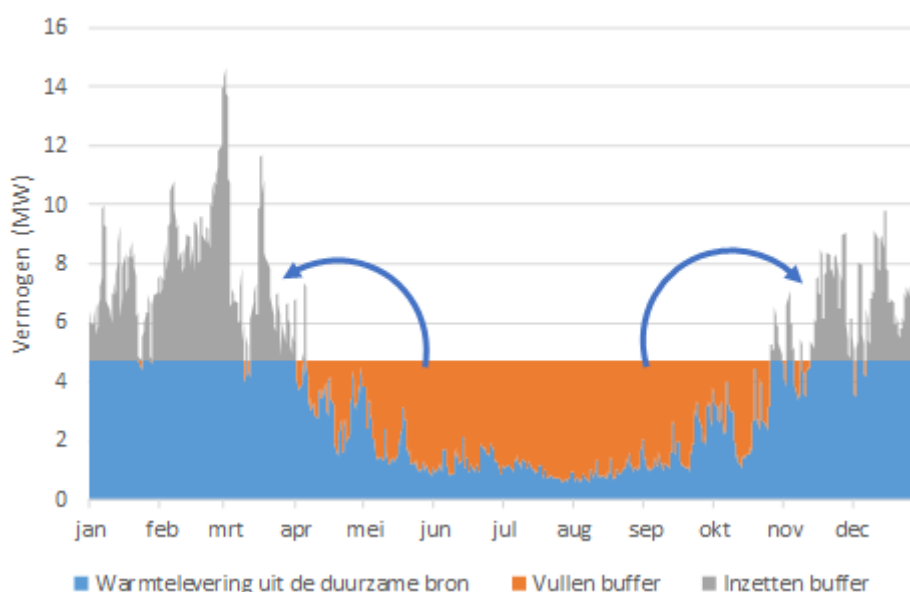


Het HoCoSto (Hot & Cold Storage) is een modulaair systeem waarbij door middel van een buizenconstructie een stevig frame wordt gebouwd. Dit frame zorgt voor de stevigheid van het opslagvolume. Ook dit volume wordt voorzien van isolatie, en kan volledig ondergronds worden gerealiseerd.

Voor beide systemen geldt dat pompen het water aanzuigen vanuit het buffervat en gebruiken voor het leveren van de warmte. Het retourwater wordt teruggebracht in het buffervat. Diffusers zorgen ervoor dat het water rustig instroomt, geen turbulentie veroorzaken en de gelaagdheid niet verstoren (dat verschillende temperatuurlagen niet mengen met elkaar). Op deze manier kan zowel warmte als koude worden opgeslagen in één buffervat.



Inzet seizoensbuffer bij continue duurzame bron



Bron: Expertise Centrum Warmte

3.4 Businesscase

Hier volgt een praktijkvoorbeeld van een project waarbij gebruik is gemaakt van een grootschalige opslag. Een aantal kerngegevens zijn:

- Toepassing: HoCoSto in bestaande woningbouw
- Totale warmtevraag: 1.550 GJ per jaar
- Inhoud opslagvat: 3.100 m³
- Investering opslagvat: € 490.000,-
- Investering totaal (inclusief zonnecollectoren) € 1.100.000
- Discontovoet: 3,5%
- Onrendabele top (na 30 jaar): € 665.000
- Warmteprijs: € 20/GJ

3.5 Gevoeligheid

De belangrijkste gevoeligheden voor de businesscase zijn:

- Het aantal opslagcycli per jaar. Wanneer de opslag wordt ingezet voor seizoensopslag, is er sprake van circa 1,5 opslagcyclus per jaar. Dit geeft bij een afschrijfteriode van 40 jaar, een afschrijving die overeenkomt met een bedrag van € 0,30-0,50 per m³ aardgas die wordt bespaard. Bovenop de kosten voor opwekking met zonnecollectoren (€ 0,50/m³), geeft dit een minimale kale gasprijs van € 0,80-1,00/m³.

3.6 Aandachtspunten

Een aantal aandachtspunten bij de toepassing van zonthermie in combinatie met grootschalige opslag:

- Rekening houden met ruimtegebruik voor het ondergrondse buffervat.
- Wanneer de seizoensopslag wordt gekoppeld aan warmteopwekking met warmtepompen kan de opslag ook worden ingezet om pieken in het elektriciteitsnet te verlagen. Dit kan een aanvullende positieve bijdrage leveren aan de businesscase.

3.7 Links

Links om te raadplegen:

- Voor achtergrondinformatie over HoCoSto bekijk [deze link](#).
- Voor achtergrondinformatie over Ecovat bekijk [deze link](#)
- Zie ook een [haalbaarheidsonderzoek](#) van Ecovat
- [Businesscase](#) HoCoSto in collectieve woningbouw

4 PV

4.1 Inleiding

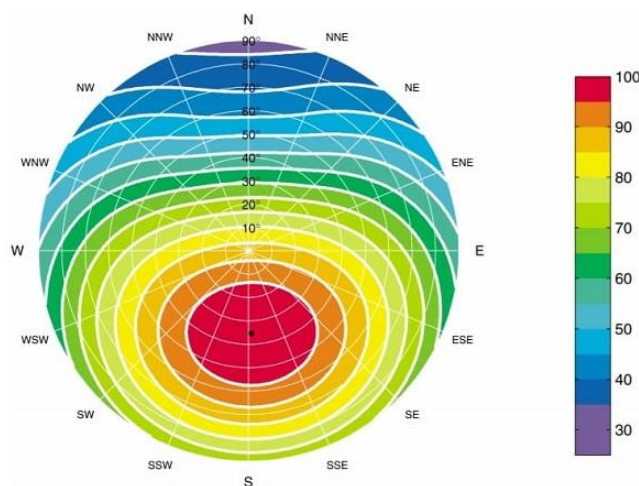
Met fotovoltaïcs (PV) of fotovoltaïsche panelen kan er uit (zon)licht elektriciteit worden opgewekt. Het is een hernieuwbare energietoepassing die al langere tijd wordt toegepast; met dakopstellingen of zonnevelden wordt duurzame elektriciteit opgewekt. Deze techniek heeft zich de laatste jaren ontwikkeld en er is een volwassen en concurrerende markt voor ontstaan. De techniek blijft zich ontwikkelen; er worden panelen ontwikkeld met hogere vermogens tegenover lagere investeringskosten. Mede daardoor is deze techniek rendabel geworden.

Bedrijventerreinen met utiliteitsgebouwen hebben veel dakoppervlak beschikbaar om PV-panelen op te plaatsen. Bedrijven en industrie met een continue elektriciteitsvraag, bijvoorbeeld een datacentrum of distributiecentra voor de koeling van voeding kunnen deze techniek toepassen voor het invullen van hun eigen elektravraag. Een hoge prijs voor elektriciteit heeft invloed op de terugverdientijd van de investering van PV-panelen.

4.2 Vuistregels

Een aantal kengetallen en vuistregels bij de toepassing van PV zijn:

- Maximale zoninstraling in Nederland is ongeveer 1.000 Watt/m².
- Het maximale rendement van panelen ligt iets boven de 20%. Dit betekent een maximaal vermogen van ruim 200 W_p per m² paneel
- Het vermogen van PV-panelen wordt uitgedrukt in Wattpiek. Dit is het vermogen dat het paneel levert onder geconditioneerde omstandigheden bij een instraling van 1.000 W. In de praktijk zal deze waarde incidenteel worden gehaald of zelfs worden overschreden. Gedurende het grootste deel van de tijd ligt het vermogen echter fors lager.
- Gemiddelde jaaropbrengst bij een goede oriëntatie bedraagt circa 900 kWh/kWp. Afwijkingen van een ideale oriëntatie leiden tot een wat lagere opbrengst. Bij plaatsing tussen oost en west en een flauwe hellinghoek, is de opbrengst echter nog 85% van het optimum.
- De technische levensduur bedraagt minimaal 25 jaar.
- De investering voor PV installaties tussen 15 kWp en 1 MWp is circa € 650/kWp.
- Een hogere omgevingstemperatuur verlaagt het rendement van het paneel.
- Het gewicht van zonnepanelen bedraagt circa 10-15 kg per m².
- Plaatsing kan in een vrij veld of op daken.
- Bij dakopstellingen wordt het hoogste rendement per m² dakoppervlak behaald door de panelen te plaatsen in een oost-west opstelling. Hierbij sluit ook de productiecurve doorgaans beter aan bij het vraagpatroon, waardoor het aandeel direct gebruik toeneemt.



4.3 Componenten en werking

Een PV-systeem bestaat uit de volgende onderdelen:

- Zonnepanelen
- Montagemateriaal
- Omvormer
- Elektriciteitskabels
- Brutoproductiemeter (voor registratie voor SDE⁺⁺)

Werking

Een zonnepaneel is een platte plaat die bestaat uit geschakelde zonnecellen. De meeste zonnepanelen werken op silicium fotovoltaïsche (PV) cellen. Bij zonlicht maken die elektronen los in het silicium en hierdoor ontstaat er spanning in de zonnecel. Doordat de zonnecellen geschakeld zijn gaat er een stroom lopen. Dit betreft gelijkstroom. Deze stroom wordt normaal gesproken omgezet naar wisselstroom door een omvormer. Vervolgens stroomt de wisselstroom via elektriciteitskabels naar een meterkast waar het wordt verdeeld naar apparaten met een elektriciteitsvraag. Wordt er meer elektriciteit opgewekt dan er wordt gevraagd, dan gaat die elektriciteit het landelijk elektriciteitsnetwerk op. Belangrijk bij het toepassen van PV-systemen is de ligging en invloed van

schaduw. Overigens is er niet per se direct zonlicht nodig, bij indirect zonlicht (bij bewolking) wekt een PV-paneel ook elektriciteit op. Een voorwaarde voor het verkrijgen van SDE++ subsidie is dat er een grootverbruikersaansluiting van meer dan 3x 80 Ampère aanwezig is.

4.4 Businesscase

Door elektriciteit zelf op te wekken kan een onderneming een deel van haar eigen elektriciteitsvraag invullen. Doordat het deel dat wordt ingevuld door eigen opgewekte elektra niet van het landelijke elektriciteitsnet hoeft te komen worden energiekosten vermeden. Het resterende deel wordt terug geleverd aan het landelijke elektriciteitsnet. Hiervoor ontvangt de onderneming een terugleververgoeding. Wanneer de elektriciteitsprijs stijgt, stijgen daarmee ook de vermeden energiekosten en terugleververgoeding. Dit heeft een positieve invloed op de businesscase en op de terugverdientijd van PV-panelen. Naast de elektriciteitsvergoeding, kan een onderneming ook SDE++-subsidie aanvragen. Hiermee wordt een basisbedrag gegarandeerd voor een periode van 15 jaar. Het basisbedrag is de kostprijs van de techniek voor de productie van hernieuwbare energie. Het daadwerkelijke subsidiebedrag wordt jaarlijks bepaald op basis van het verschil tussen het basisbedrag en de gemiddelde elektriciteitsprijs in dat jaar.

Hier volgt een rekenvoorbeeld:

- Piekvermogen geïnstalleerd PV-systeem: 500 kWp
- Opbrengst PV-systeem: 450.000 kWh/jaar
- Eigen verbruik elektriciteit: 30%
- Teruglevering aan het elektriciteitsnet: 70%
- Maximaal SDE++ tarief (basisbedrag 2022): € 0,0705/kWh
- Investing PV-systeem á € 700/kWp: € 350.000,-

Businesscase laag tarief

- Inkoop tarief elektriciteit: € 0,05/kWh
- Terugleververgoeding: € 0,04/kWh
- SDE-basisbedrag: € 0,0705kWh
- Vermeden elektriciteitskosten: € 6.750,-/jaar
- Terugleververgoeding: €12.600,-/jaar
- Totale inkomsten SDE++: € 4.800,- per jaar
- Totaal inkomsten: € 24.000,- per jaar
- Eenvoudige terugverdientijd 14,5 jaar

Businesscase hoog tarief

Bij de huidige, hoge elektriciteitsprijzen, is de businesscase gunstiger.

- Inkoop tarief elektriciteit: € 0,12/kWh
- Terugleververgoeding: € 0,08/kWh
- SDE-basisbedrag: € 0,0631/kWh
- Vermeden elektriciteitskosten: € 16.200,-/jaar
- Terugleververgoeding: €25.200,-/jaar
- Totale inkomsten SDE++: € 0,- per jaar
- Totaal inkomsten: € 41.400,- per jaar
- Eenvoudige terugverdientijd: 8,5 jaar

4.5 Aandachtspunten

Een aantal aandachtspunten bij de toepassing van PV-panelen zijn:

- Een belangrijk aandachtspunt bij de plaatsing van PV-panelen is de beschikbare netcapaciteit. Op steeds meer plaatsen in Nederland is verzwaring van de aansluiting niet meer of slechts gedeeltelijk mogelijk.

4.6 Links

Links om te raadplegen:

- Subsidiemogelijkheden [SDE++](#) bij grootverbruikersaansluiting
- Informatie over de aanleg van [zonneparken](#)

5 PV met accu

5.1 Inleiding

In een aantal gevallen is het niet of minder aantrekkelijk om elektriciteit terug te leveren aan het net. Dit is het geval wanneer teruglevering in het geheel niet mogelijk is, of wanneer er forse tariefverschillen bestaan tussen teruglevering en afname van elektriciteit. In die gevallen kan het aandeel van de opgewekte elektriciteit dat zelf wordt gebruikt worden vergroot door het gebruik van accu's. Hierbij wordt de accu geladen op die momenten dat er overschot is van elektriciteit uit de PV-panelen. Wanneer de vraag groter is dan het aanbod, kan de opgeslagen elektriciteit weer worden ingezet. Bijkomend voordeel is dat door het gebruik van accu's een hogere piekbelasting mogelijk is zonder dat het elektriciteitsnet verzaamd hoeft te worden. In dit kennisdossier is gefocust op de accu; de PV-installatie is beschreven in een separaat kennisdossier.

5.2 Vuistregels

Een aantal vuistregels zijn:

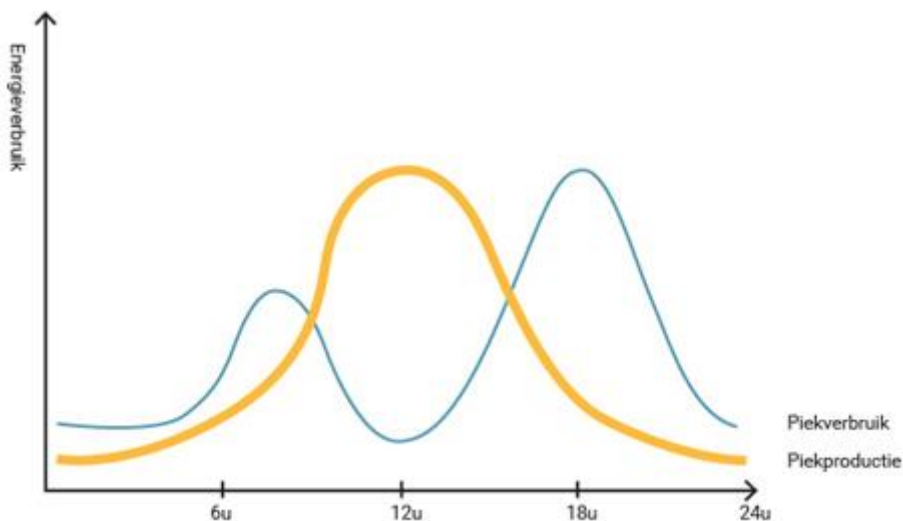
- De meest gebruikte accu's voor energieopslag zijn li-ion accu's. Deze accu's kunnen ver ontladen worden, en kennen een hoge energiedichtheid.
- Opslagdichtheid: 6 kg/kWh (of 4 liter per kWh)
- Laad/ontlaadrendement: 90%, Dit betekent dat bij het laden van 100 kWh er netto weer 90 kWh uit de accu onttrokken kan worden.
- Zelfontlading accu circa 5% per maand.
- De levensduur hangt samen met hoe ver een accu wordt opgeladen en ontladen. Bij een laadproces tot 100% en ontladproces tot 5% van de accucapaciteit is het aantal laad-/ontlaadcycli circa 1.000. Bij het laden en ontladen tussen de 20% en 80% kan het aantal laadcycli oplopen tot wel 25.000.
- De investeringskosten van een li-ion accu nemen de laatste jaren sterk af. Momenteel bedraagt de investering circa € 500/kWh

5.3 Componenten en werking

Een PV-systeem met accu bestaat uit de volgende onderdelen:

- PV-systeem zoals omschreven in het kennisdossier over PV-panelen;
- Accu
- Accumanagementsysteem

De werking is vergelijkbaar met opslag van warmte. De productie van PV-panelen piekt overdag wanneer de zonnestraling het hoogst is. De elektriciteit die overdag wordt opgewekt en niet direct wordt verbruikt wordt gebruikt om de accu te laden. Wanneer er vraag is naar elektriciteit en wanneer de productie van het PV-systeem relatief laag is, kan de elektriciteit worden onttrokken aan de accu's.



Een accupakket kan ook gebruikt worden om op te laden tijdens uren dat er netcapaciteit beschikbaar is en de elektriciteit goedkoop is. De accucapaciteit kan dan benut worden om pieken in het elektriciteitsgebruik te verlagen. Dit levert een voordeel op voor de netbeheerkosten.

5.4 Businesscase

Hier volgen een aantal rekenvoorbeelden:

- Toepassing: opslag van elektriciteit uit PV-panelen
- Opslagcapaciteit: 500 kWh (dagopbrengst van 100 kW_p installatie)
- Opslagrendement: 90%
- Aantal laadcycli: 200 per jaar
- Tariefverschil laden en ontladen: € 0,10/kWh

Dit levert het volgende financiële beeld:

- Investering: € 250.000
- Exploitatievoordeel: € 8.800/jaar
- IRR: -7% (15 jaar)
- Eenvoudige terugverdientijd: 28 jaar

Het tweede voorbeeld betreft de toepassing voor peakshaving, waarbij er dagelijks sprake is van 2 piekmomenten in het bedrijfsproces. Deze pieken duren maximaal 1 uur.

- Opslagcapaciteit: 500 kWh;
- Reductie piekvermogen: 500 kW (12 maanden per jaar)
- Aantal cycli per jaar: 500

Dit levert het volgende financiële beeld:

- Investering: € 250.000
- Exploitatievoordeel: € 17.600/jaar
- IRR: 1% (15 jaar)
- Eenvoudige terugverdientijd: 14 jaar

Wanneer beide situaties gecombineerd voorkomen, kan de terugverdientijd dalen tot onder de 10 jaar.

5.5 Gevoeligheid

De belangrijkste gevoeligheden voor de haalbaarheid van accuopslag zijn de volgende:

- Prijs van de accu. Zoals aangegeven zijn de prijzen voor li-ion accu's dalend. Dit is mede het gevolg van de schaalvergroting die momenteel plaatsvindt. Bij een halvering van de prijzen tot € 250/kWh, zullen ook de genoemde terugverdientijden halveren. Dit levert in beide cases een positief rendement op.
- Voor de inzet waarbij tariefverschillen tussen teruglevering en afname de basis is, wordt de businesscase bepaald door het tariefverschil enerzijds en het aantal cycli dat op jaarbasis wordt gerealiseerd anderzijds. Bij 100% inzet voor vergroting van het eigen gebruik bij zonnepanelen, is het aantal cycli beperkt tot wellicht 100 cycli per jaar. Hierop is vooralsnog geen rendabele case te bouwen. Aanvullend gebruik voor dag/nacht patroon is noodzakelijk.
- Bij het afvlakken van pieken wordt het voordeel behaald door de vermogensreductie die wordt behaald en de kosten van piekcapaciteit.

5.6 Aandachtspunten

Een aantal aandachtspunten:

- Li-ion accu's zijn brandbaar en vallen daarmee onder gevaarlijke stoffen. Wanneer de hoeveelheid accu's minder dan 10.000 kg is, gelden in principe maatwerkvoorschriften. Boven de 10.000 kg aan accu's is het besluit externe veiligheid inrichtingen (bevi) van toepassing.

5.7 Links

Links om te raadplegen:

- Informatie over energieopslag in [batterijen](#) van LTO Noord.

- Voorbeeldproject van opslag elektriciteit in batterijen bij Johan Cruijff Arena.
- Informatie over opslag van accu's.

6 PV met externe partijen

6.1 Inleiding

PV-projecten kunnen gerealiseerd worden door een samenwerkingsverband tussen externe partijen. Een samenwerkingsverband kan een organisatie- en financieringsvorm bieden waarmee duurzame energieprojecten (lokaal) ontwikkeld kunnen worden. Bedrijven met vastgoed met veel dakoppervlak kunnen hun dak beschikbaar stellen aan particulieren en bedrijven die zich hebben verenigd in een lokale energiecoöperaties of Vereniging van Eigenaren (VvE) voor het realiseren van PV-systemen. In het verleden heeft de Regeling Verlaagd Tarief, ook wel postcoderoosregeling genoemd, de ontwikkeling van duurzame energieprojecten gestimuleerd middels lokale samenwerking. Deze regeling is per april 2021 vervangen door de Subsidieregeling Coöperatieve Energieopwekking (SCE). De SCE werkt in de basis hetzelfde als de postcoderoos. Het is een exploitatiesubsidie en het uit te keren subsidiebedrag volgt een zelfde systematiek als de SDE⁺⁺. Er wordt per geproduceerde kWh subsidie uitgekeerd gecorrigeerd met de marktprijs van elektriciteit (correctiebedrag). Deze regeling richt zich specifiek op energiecoöperaties of VvE's. Een samenwerking met publieke partijen, zoals een gemeente, is mogelijk maar niet noodzakelijk.

Deze vorm van verduurzaming biedt het bedrijf zelf slechts beperkt voordelen. Er wordt met name meegewerkt aan verduurzaming van de omgeving.

6.2 Vuistregels

Een aantal vuistregels zijn:

- Voor de vuistregels en kengetallen voor PV-panelen: zie het kennisdossier over PV-panelen;
- Voor een project met een dergelijke regeling is minimale omvang van 50 kW wenselijk (250 m²);

6.3 Partijen en samenwerking

Een PV-systeem met samenwerking tussen externe partijen bestaat uit de volgende onderdelen:

- PV-systeem zoals omschreven in het kennisdossier over PV-panelen;
- Private partij die dak ter beschikking stelt;
- Een energiecoöperatie of VvE;
- Eventueel een publieke partij, zoals de gemeente.

De werking van het PV-systeem is zoals omschreven in het kennisdossier over PV-panelen. Een samenwerking met externe partijen is doorgaans als volgt vormgegeven. Een bedrijf of onderneming stelt dakoppervlak beschikbaar waarop PV-panelen geplaatst kunnen worden. Particulieren of ondernemers die deelnemen in een energiecoöperatie of VvE investeren in het PV-systeem door per paneel een aandeel te kopen (zonparticipaties of zoncificaten). Daarmee wordt het PV-systeem gefinancierd door de energiecoöperatie. Het PV-systeem, in eigendom van de coöperatie, levert opgewekte elektriciteit aan een energieleverancier die daarvoor een vergoeding betaalt aan de coöperatie. De coöperanten die een aandeel per paneel hebben gekocht ontvangen een korting op de energiebelasting die moet worden afgedragen op het eigen elektriciteitsverbruik aan de energieleverancier. Het bedrijf dat het dak beschikbaar stelt aan de energiecoöperatie ontvangt een vergoeding voor het beschikbaar stellen (orde grootte circa € 1 per paneel per jaar). Eventueel kan een publieke partij, zoals de gemeente, ook investeren en daarmee het PV-systeem gedeeltelijk financieren.

Een samenwerking met externe partijen kan het financiële risico verlagen en de voorfinanciering van een energieproject wordt verdeeld over de partijen. Het verlagen van het risico vergroot de slagingskans van het project.

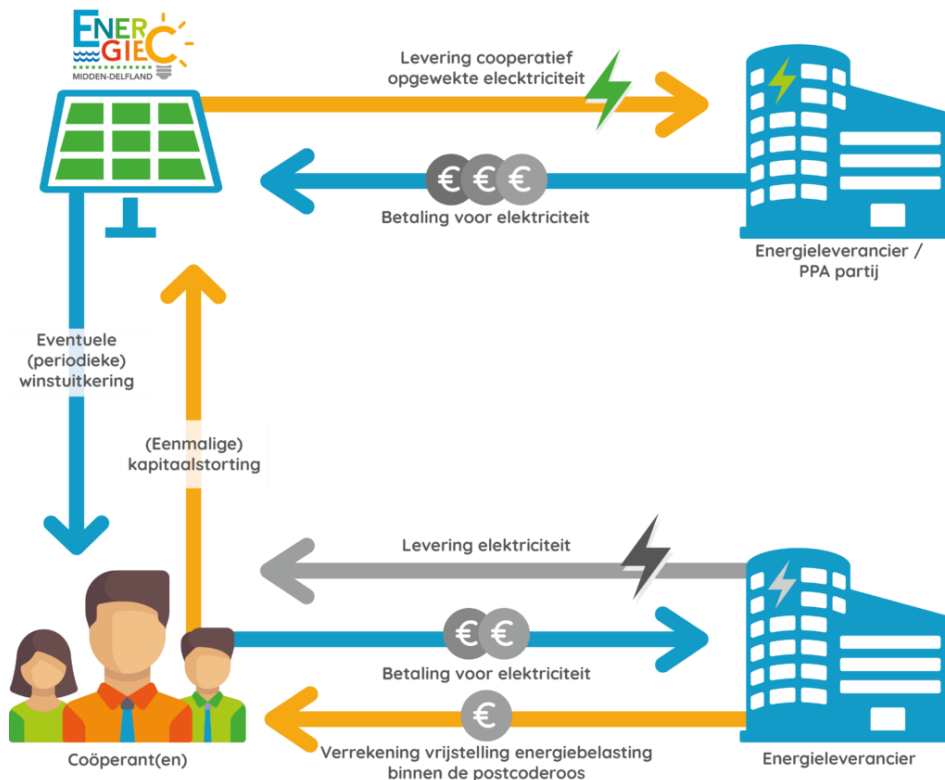
6.4 Businesscase

Hieronder volgt een businesscase van een energiecoöperatie opgericht in 2014 dat een PV-project realiseerde met behulp van de postcoderoosregeling:

- Aantal zonnepanelen: 1.400
- Jaarlijkse opwek: 340.000 kWh
- Looptijd project: 15 jaar
- Kosten per zonnepaneel: € 99,-
- Opbrengst per paneel: 245 kWh per jaar

- Verwachte jaarlijkse korting op de energierekening: € 30,-
- Jaarlijkse contributie voor rente en aflossing lening investeringsfonds: € 17,50
- Jaarlijks voordeel per saldo: € 12,50
- Terugverdientijd: 8 jaar

Een realistische vergoeding voor het bedrijf dat het dak beschikbaar stelt is € 1 per paneel per jaar. In bovenstaande project komt dat uit op € 1.400,- per jaar.



6.5 Gevoeligheid

De belangrijkste gevoeligheden voor de haalbaarheid van een PV-project en de toepassing van de SCE zijn de volgende:

- De hoogte van de subsidie uitkering heeft grote invloed op de businesscase en de terugverdientijd van het project. In het algemeen wordt er gestuurd op een terugverdientijd die binne de 15 jaar ligt, en daarmee voor particulieren potentieel interessant is;
- De hoogte van de uitgekeerde subsidie wordt beïnvloed door de marktprijs van elektriciteit.

6.6 Aandachtspunten

Een aantal aandachtspunten zijn:

- Indien een energiecoöperatie of VvE geen eigenaar is van de locatie waarop het PV-systeem wordt geïnstalleerd, dan dient er een recht van opstal te worden gevestigd op de locatie.
- Een belangrijk aandachtspunt bij de plaatsing van PV-panelen is de beschikbare netcapaciteit. Eén van de voorwaarden voor de toepassing van SCE is dat bij aansluiting van het PV-systeem op het elektriciteitsnet een transportindicatie verplicht moet meegestuurd worden.
- Voor toepassing van de SCE moeten de leden van de energiecoöperatie of VvE gevestigd zijn in het zelfde viercijferig postcodegebied als de installatie of in een van de geografisch aangrenzende postcodegebieden.
- Ondernemers en bedrijven binnen het postcodegebied mogen deelnemen aan de energiecoöperatie maar dienen daarvoor wel een kleinverbruikersaansluiting te hebben.

6.7 Links

Links om te raadplegen:

- Subsidieregeling SCE
- Voor informatie over energiecoöperatie bekijk [deze link](#)