



Zonthermie en stadsverwarming

Financiële analyse zonthermie
gemeente Utrecht



CE Delft

Committed to the Environment

Zonthermie en stadsverwarming

Financiële analyse zonthermie gemeente Utrecht

Delft, CE Delft, maart 2022

Publicatienummer: 22.210492.052

Gemeenten / Beleid / Energievoorziening / Warmte / Financiën / Kosten / Baten / Analyse
VT : Energieinfrastructuur

Deze notitie is opgesteld door: Joram Dehens

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

Inhoud 2

Inleiding	3
1 Individuele zontoepassingen	5
2 Wijktoepassing van zonsystemen	13
3 Grootschalige zonnevelden	18
4 Potentie, netcapaciteit en haalbaarheid	28
5 Conclusie	33
6 Literatuur	35
A Bijlage	37



Inleiding

Doel van de opdracht

Dit onderzoek brengt de financiële haalbaarheid van zonthermie in kaart, en wat de mogelijkheden zijn voor decentrale warmteteruglevering aan het warmtenet.

Aanleiding

In de gemeente Utrecht is behoefte aan aanvullende inzichten in de mogelijkheden van zonthermie; één van de warmtebronnen in de gemeente.

Greenvis heeft de technische potentie van zonthermie voor de gemeente Utrecht in kaart gebracht, namelijk de bovengrens voor de maximale hoeveelheid op te wekken zonwarmte. Hierbij is niet gekeken naar onder andere de financiële kansen van zonthermie. Of hoe zonthermie om het ruimtegebruik concurreert met bijvoorbeeld de elektriciteitsproductie van zonnepanelen. Dergelijke inzichten en een vergelijking tussen beide energietechnieken zijn belangrijk voor afwegingen en beleid over benutting van de schaarse ruimte. Deze vragen hebben een extra gewicht gekregen door de congestieproblemen in het elektriciteitsnet in de gemeente.

Daarnaast is meer inzicht gewenst in de mogelijkheden voor het individueel terugleveren van warmte uit zonthermie aan het stadsverwarmingsnet.

Onderzoekopzet

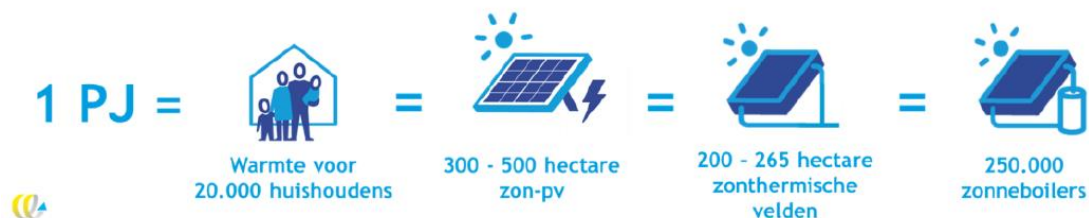
In dit onderzoek kijken we naar drie categorieën zontoepassingen:

1. Individuele zontoepassingen bij een huishouden met een geschikt woningdak.
2. Wijktoepassing van zonsystemen bij een bewonerscollectief met geschikte woningdaken.
3. Grootschalige zonnevelden van een projectbeheerder.

Per categorie vergelijken we de mogelijkheden die respectievelijk een woningeigenaar, bewonerscollectief of projectbeheerder heeft om beschikbare ruimte in te zetten voor energieproductie en om gebouwen/warmtenet van warmte te voorzien.

We vergelijken de verschillende opties op drie punten:

1. De energetische opbrengst en ruimtegebruik.
2. Financiële kosten/opbrengsten van de energieproductie en de terugverdientijd.
3. Context zoals netcapaciteit en haalbaarheid/beschikbaarheid.



Leeswijzer

- Hoofdstuk 1 gaat over individuele zontoepassingen die een woningeigenaar op zijn dak kan installeren.
- Hoofdstuk 2 gaat over kleinschalige wijktoepassing van zonsystemen en hoe deze vergelijken met het stadsverwarmingsnet van de gemeente Utrecht.
- Hoofdstuk 3 gaat over grootschalige zonsystemen. Hoe vergelijkt een zonthermieveld zich met een regulier zonneveld.
- Hoofdstuk 4 gaat over de ruimtelijke context, de warmtevoorziening, de netcapaciteit en andere randvoorwaarden. Deze spelen ook een rol in de waardering van zonsystemen aanvullend op de financiële kosten en baten.
- Hoofdstuk 5 geeft de conclusie van de rapportage.



1 Individuele zontoepassingen

In dit hoofdstuk bekijken de mogelijke vormen van individuele zontoepassingen voor gebouweigenaren. Hoe kan een woningeigenaar zijn dak inrichten naar eigen wens? Een woningeigenaar heeft keuzevrijheid om zijn dak met energieleverende technieken in te richten naar eigen wens.

In de Paragraaf 1.1 bekijken we welke mogelijkheden een woningeigenaar heeft. We beschrijven welke mogelijkheden technisch realistisch zijn in Utrecht en brengen daarvan de kosten en de baten in beeld. In Paragraaf 1.2 vergelijken we de kosten en baten van de realistische opties met elkaar.

Uitgangspunten energiehuishouding voor bepaling economische kosten en baten

We nemen een eigenaar-bewoner aan met een gemiddeld verbruik van 1.180 m³. Het gasverbruik voor ruimteverwarming bedraagt gemiddeld 79% van het totale gasverbruik, dat voor warm tapwater 21% (ACM, 2020):

- gasverbruik voor warm tapwater: 248 m³;
- gasverbruik voor ruimteverwarming: 932 m³.

In totaal komt dit overeen met een warmtevraag van 36,7 GJ na omrekening met de rendementen van de gasverbranding (ACM, 2020).

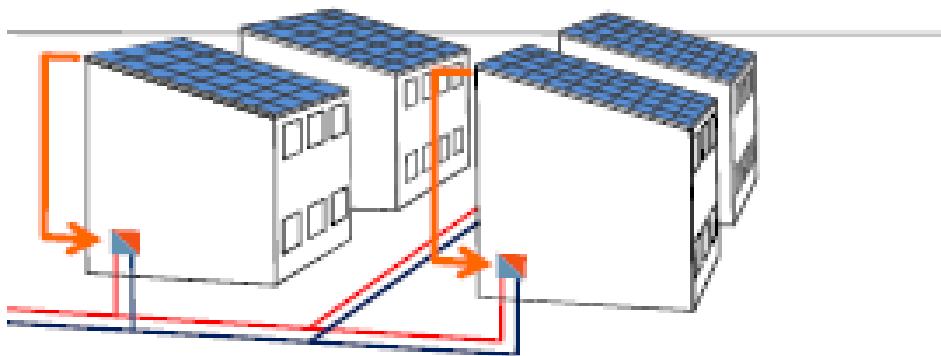
1.1 Product-marktcombinaties voor een woningeigenaar

Hierna is een overzicht weergegeven van product-marktcombinaties voor woningeigenaren met een geschikt dak voor zonne-energie. We beschouwen de volgende systemen:

- zonnecollectoren voor warmteteruglevering;
- zonneboiler;
- pvt-systeem met warmtepomp;
- zon-pv op dak;
- zonnecollector met seizoensopslag.

Individuele warmteteruglevering aan het warmtenet

Figuur 1 - Individuele warmteteruglevering aan het warmtenet



Bron: (SDH, 2012)

Individuele warmteteruglevering is technisch complex voor de woningeigenaar.

Om zonwarmte terug te leveren zijn investeringen nodig voor:

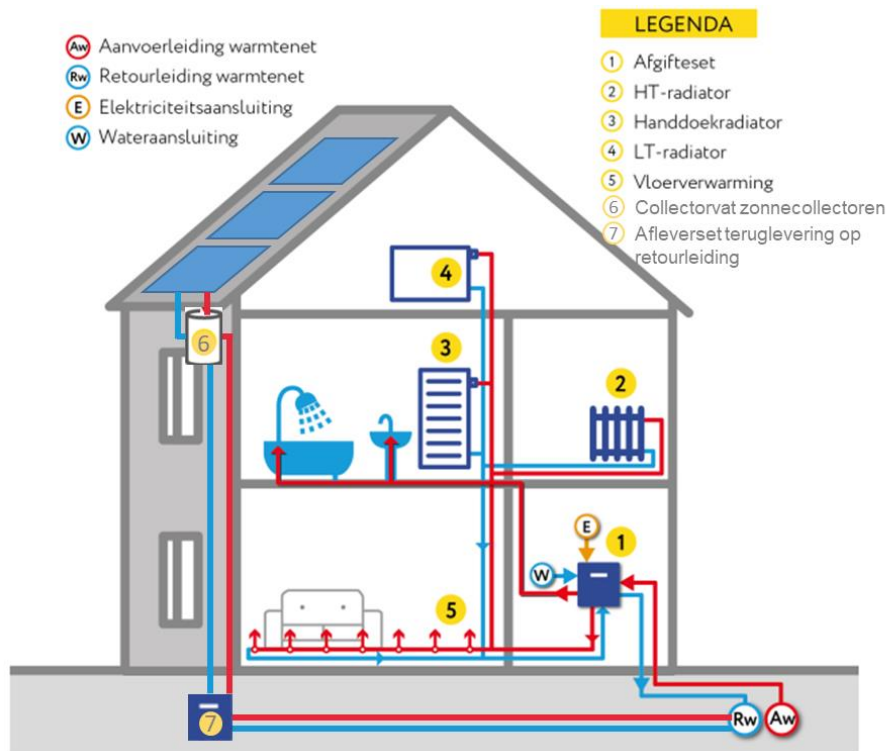
1. Een zonnecollectorsysteem om de zoninstraling op te vangen.
2. Inpandig leidingwerk om de warmte naar de afleverset te leiden.
3. Een nieuwe afleverset en aansluitleiding op de retourleiding in de straat.

Met zonwarmte kan je de temperatuur van de retourleiding in de straat verhogen. De aanvoerleiding (circa 70°C in de zomer) is reeds op temperatuur en hoeft (/kan) niet verder verwarmd te worden. De retourleiding (circa 40°C) kan met zonwarmte wel verder verwarmd worden. Hierdoor is er minder warmte nodig van de bronwarmtelevering. De huidige warmtenetaansluiting en afleverset verbindt de aanvoerleiding met de retourleiding. Daarom is een nieuwe dubbele aansluiting nodig op de retourleiding om zonwarmte aan het huidige warmtenet terug te kunnen leveren en de koude retourleiding te verwarmen.

Dit zijn drie dure investeringen. Zowel in de woning zijn er aanpassingen nodig voor het collectorsysteem en leidingwerk, als in de straat voor het aanleggen van een nieuwe warmtenetaansluiting op de retourleiding.

De tariefstelling en de mogelijke opbrengsten voor de inwoners zijn nog onzeker. Er is geen regelgeving voor individuele zonwarmteteruglevering, zoals een salderingsregeling voor zonnepanelen. Besparing op het eigen warmteverbruik is ook beperkt. Vooral in de zomer is zonwarmte beschikbaar. Deze kan ingezet worden voor de levering van warm tapwater, net zoals een goedkopere zonneboiler. Het stadswarmtenet levert nog steeds het grootste deel van het warmtegebruik, namelijk de ruimtewarmtevraag in de winter.

Figuur 2 - Teruglevering zonwarmte aan warmtenet



Bron: (Bewerkte figuur op basis van (CE Delft, 2021))

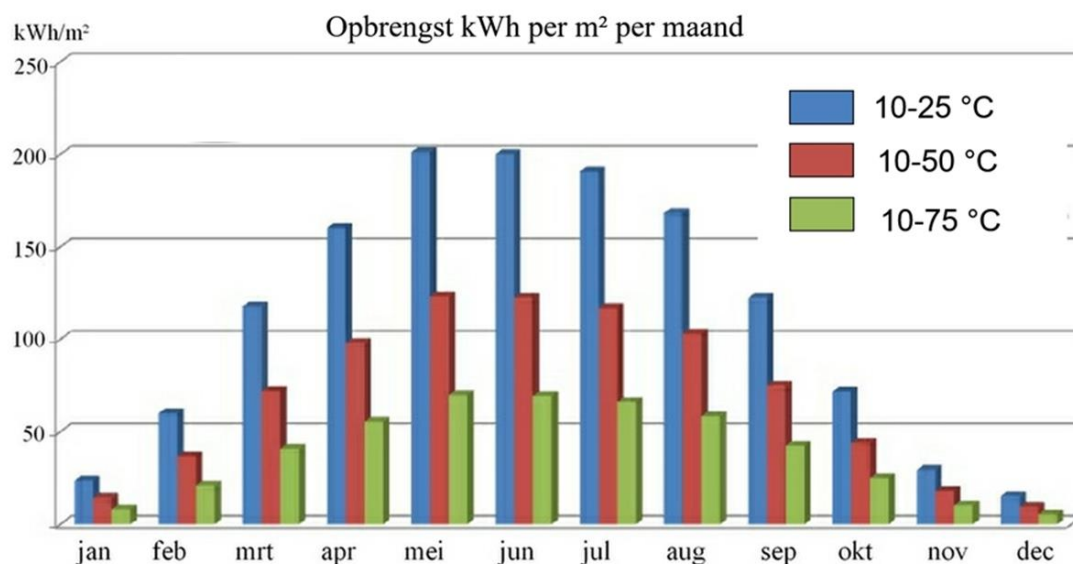
Individuele warmteteruglevering is technisch en economisch ongunstig voor het bestaande stadswarmtenet. Warmte terugleveren heeft een negatieve impact op het rendement van de bronwarmtelevering van het warmtenet.

Alleen bij een biomassaketel of een elektrodeboiler is er sprake van energetisch nut en zal er minder energie (biomassa/elektriciteit) nodig zijn voor de warmteproductie. Bij andere warmtebronnen zoals geothermie of grootschalige warmtepompen, daalt de efficiëntie van de bronwarmtelevering als de retourtemperatuur van de warmtelevering verhoogt en fluctueert door warmteteruglevering. Duurzame warmtebronnen leveren liefst warmte als basislast, in het laagste temperatuurgedeelte van de warmteproductie. Zo kunnen duurzame warmtebronnen warmte leveren met een groot temperatuurverschil. Hierdoor leveren ze het meeste warmte en worden de bronnen het efficiëntst gebruikt.

Verder zijn veel duurzame bronnen basislastbronnen (geothermie), of juist bronnen die in de zomer het meeste warmte bieden (aquathermie). Voor biomassabronnen en geothermie geldt, dat de overheid de subsidie zó heeft ingestoken, dat ze er van uitgaan dat die het grootste deel van het jaar produceren. Zonthermie kan vooral in de warmere maanden veel leveren, wanneer de warmtevraag laag is en andere bronnen dus ook al leveren. Dat maakt dat de waarde van die zonthermiewarmte laag is. Tijdens de zomer wanneer de zonthermische teruglevering zou plaatsvinden is er ruim voldoende capaciteit van die andere warmtebronnen voor het warmtenet. Een bijdrage van een warmtebron is net nodig tijdens de koude wintermaanden.

Zonnecollectoren leveren het meeste warmte (GJ) gedurende de zomermaanden en bij een lage leveringstemperatuur¹, zie Figuur 3. Verder zijn de onregelmatigheid van zonwarmtelevering (weersafhankelijkheid) en de kleine schaal van de individuele zonwarmteteruglevering niet gunstig. Een back-upwarmtebron blijft daardoor nodig.

Figuur 3 - Warmteopbrengst (in kWh/m²) zonnecollectoren per temperatuurniveau



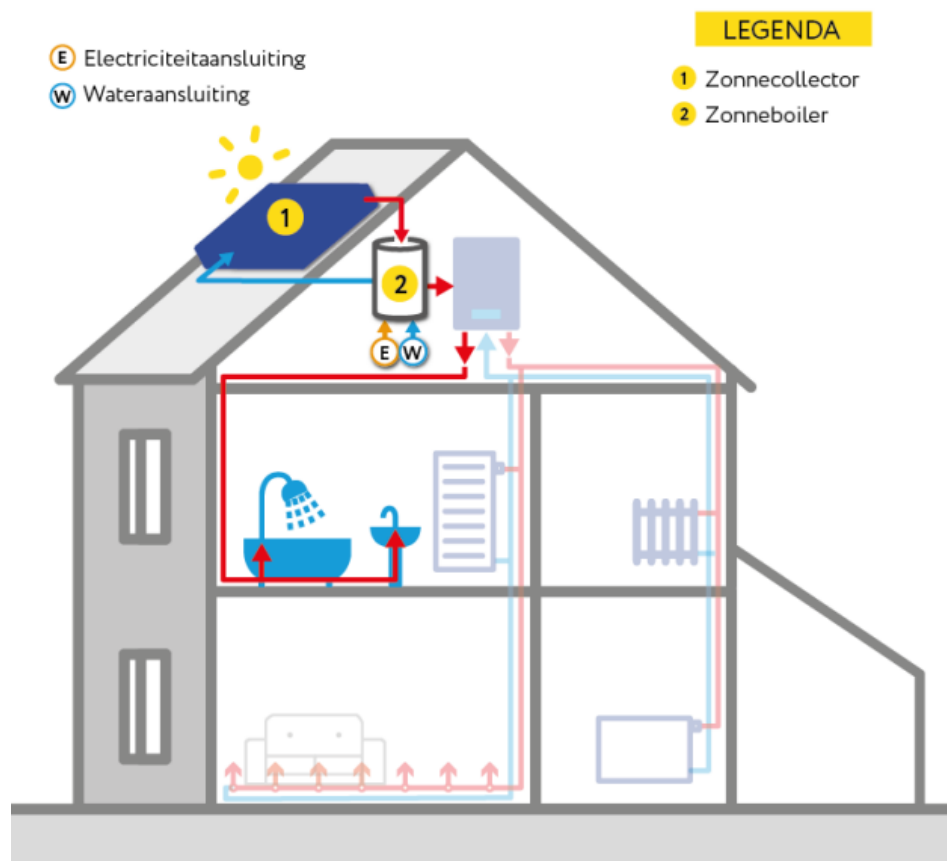
Bron: (Warmtepomp, s.d.)

¹ De weersomstandigheden zijn vaker geschikt om warmte op minder hoge temperaturen te leveren en de warmteoverdracht van de zoninstraling naar de collectoren is het efficiëntst bij lage temperaturen in de zonnecollector.

Door de hoge investeringskosten voor de woningeigenaar en de beperkte opbrengst nemen we deze optie niet mee in de financiële vergelijking.

Zonneboiler

Figuur 4 - Zonneboilersysteem



Bron: (CE Delft, 2021)

Een zonneboiler verwarmt water met behulp van de zon. Ongeveer de helft van het gasverbruik (of warmteverbruik) van warm tapwater wordt bespaard met een zonneboiler (Milieu Centraal, lopend-b).

De investeringskosten en energiebesparing van een zonneboiler zijn weergegeven in Tabel 1. Er is niet zoveel dakoppervlak nodig voor een zonneboiler; een zonnecollector van 2 m² is voldoende voor een gemiddeld huishouden.

Tabel 1 - Kosten en besparing zonneboiler

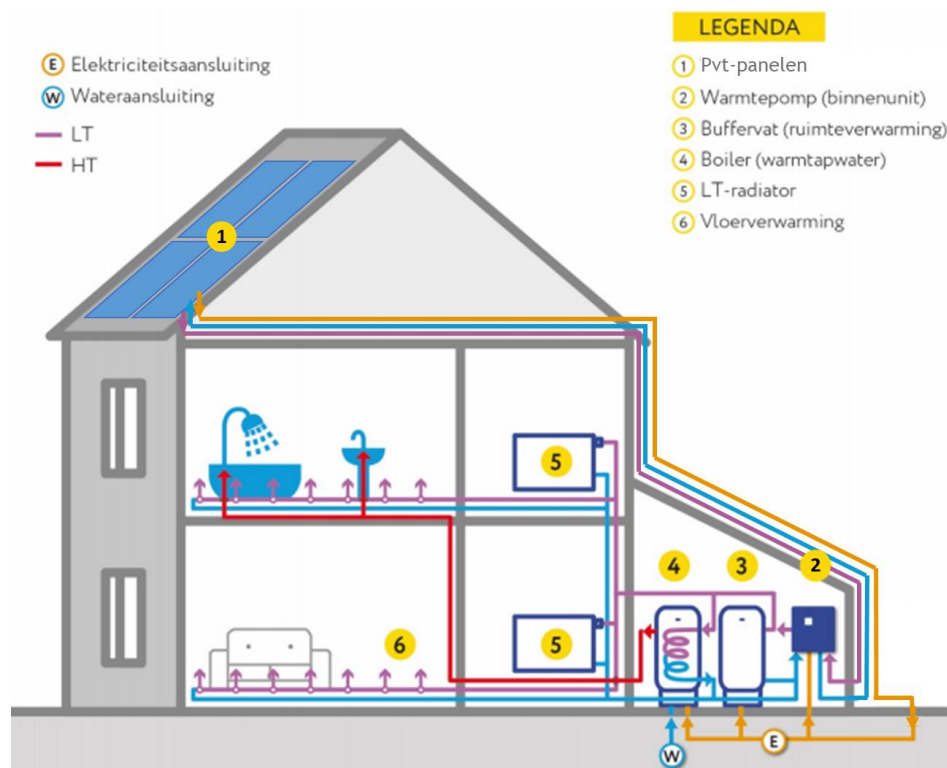
Collectoroppervlak/ Voorraadvat	Aankoopprijs (eenmalig)	Subsidie (eenmalig)	Besparing warmte (GJ)	Bronnen
2 m ² zonnecollector/ 80-literboiler	€ 2.500	€ 600	3 GJ (ca. 120 m ³ gas)	(Milieu Centraal, lopend-b)

Synergie tussen zonneboiler en het stadswarmtenet

Het collectorvat van een zonneboiler kan het piekvermogen van de warmtelevering verminderen. Tijdens de zomer verwarmen zonnecollectoren het collectorvat geleidelijk tot gewenste temperatuur (circa 60°C). Tijdens de winter kan dit collectorvat ook geleidelijk verwarmd worden, maar dan met stadswarmte. Hierdoor is geen hoog piekvermogen meer nodig voor de warmtapwatervoorziening². Dit zorgt voor een kleinere warmtenetaansluiting bij nieuwbouw en vrijgespeelde vermogenscapaciteit bij bestaande bouw, waarmee het stadswarmtenet verder uit te breiden is. Deze voordelen voor het warmtebedrijf kunnen leiden tot een lager vastrecht bij de klanten, waardoor de terugverdientijd van een zonneboiler verbeterd wordt. Dit kan verder onderzocht worden.

Pvt-systeem met warmtepomp

Figuur 5 - Pvt-systeem met warmtepomp



Bron: (bewerkte figuur op basis van CE Delft, 2021)

Een pvt-warmtepomp gebruikt energie uit zon- of omgevingswarmte. De warmtepomp waardeert deze op met elektriciteit voor het verwarmen van de woning en eventueel het tapwater. Het systeem heeft zonnecollectoren waar een koudemiddel doorheen stroomt. Dit warmt op door de zoninstraling of haalt warmte uit de buitenlucht wanneer de zon niet schijnt. De warmtepomp zet deze energie om in bruikbare warmte voor de woning. Doordat de pvt-warmtepomp duurzame energie uit de zonnecollectoren gebruikt en maar een beperkte hoeveelheid deels zelfopgewekte elektriciteit, heeft hij een hoog rendement.

² Warm tapwater gebruikt een hoger piekwarmtevermogen dan ruimteverwarming en bepaalt het piekvermogen van de warmteaansluiting van de woning op het warmtenet.

Om het rendement zo hoog mogelijk te krijgen is het noodzakelijk dat een woning goed geïsoleerd is. Een goed isolatieniveau is nodig zodat de woning aangenaam verwarmd kan worden bij lagere afgiftetemperatuur (circa 50°C).

De investeringskosten en de gasbesparing van een pvt-systeem met warmtepomp zijn weergegeven in de volgende tabel. De gasbesparing is de volledige warmtevraag. Een pvt-systeem met warmtepomp verwarmt de woning en het warme water efficiënt met elektriciteit (SCOP 5 á 5,5) zonder gas (Triple Solar, lopend).

Tabel 2 - Kosten en besparingen pvt-systeem met warmtepomp

Pvt-panelen/warmtepomp	Aankoopprijs (eenmalig)	Subsidie warmtepomp (eenmalig)	Btw-teruggave (eenmalig)	Besparing gas (m³)	Bronnen
4 x 2 m² pvt-panelen; 200-literboiler; warmtepomp	€ 28.000	€ 4.200	€ 1.000	1.180 m³	(Arcadis, 2020, Triple Solar, lopend)

Zon-pv op dak

Een zonnepaneel bestaat uit cellen die (zon)licht omzetten in elektriciteit. Om de elektriciteit te kunnen gebruiken in huis zet een omvormer de opgewekte gelijkstroom om in wisselstroom. Deze elektriciteit kan meteen gebruikt worden door het huishouden. Wekt een huishouden meer stroom op dan op dat moment nodig is, dan levert het huishouden stroom terug aan het elektriciteitsnet. Het verschil tussen de afgenomen hoeveelheid elektriciteit van het net en de geleverde hoeveelheid elektriciteit aan het net wordt jaarlijks verrekend met de energierekening (salderen).

Gemiddeld gezien heeft een huishouden tien panelen nodig om hun jaarlijkse verbruik (3.000 kWh) te voorzien (Consumentenbond, lopend).

Tabel 3 - Kosten en opbrengsten zon-pv

Aantal panelen	Totaalprijs	Totaalprijs na btw-teruggave	Jaarlijkse opbrengst (kWh)
6	€ 3.700	€ 3.100	1.900
10	€ 5.400	€ 4.500	3.200
18	€ 8.000	€ 7.000	6.000

Bron: (Milieu Centraal, lopend-a)

Zonnecollector met seizoensopslag

Zonnecollectoren kunnen ook bijdragen aan het verwarmen van de woning. Minimaal 25 m² collectoroppervlak³ is nodig voor de warmtelevering van een gemiddeld huishouden (36 GJ). Dat kan niet rechtstreeks zoals een zonneboiler bijdraagt aan tapwaterverwarming. Een huishouden gebruikt warm tapwater het hele jaar door terwijl enkel in de winter ruimteverwarming nodig is. Een thermisch opslagsysteem is dus noodzakelijk om de periode tussen zomer en winter te overbruggen. Door de beperkte ruimte in de stedelijke omgeving zijn de mogelijkheden voor een opslagvat of opslagput in de tuin beperkt. Solar Freezer vond hiervoor een oplossing door de kruipruimte te benutten. Uit praktijkervaring in Utrecht bleek dit alternatief niet te voldoen en werden de gebruikerskosten hoog.

³ (exclusief opslagverliezen)

1.2 Vergelijking van de individuele systemen

We vergelijken de zonthermische technieken met elkaar en met een conventioneel zon-pv-systeem. Beide technieken gebruiken namelijk vergelijkbare ruimte. Met de vergelijking maken we inzichtelijk welke systeemkeuze financieel gunstig is voor de eigenaar-bewoner.

Tabel 4 - Financiële vergelijking individuele systemen

	Zon-pv	Zonneboiler	Pvt incl. warmtepomp	Luchtwarmtepomp (wp) + zon-pv (pv)
Bruto-investering	€ 5.400	€ 2.500	€ 28.000	€ 5.400 (pv) € 10.000 (wp)
Subsidie/Btw-verlaging	-€ 900	-€ 600	-€ 5.200	-€ 900 (pv) -€ 2.850 (wp)
Netto-investering	€ 4.500	€ 1.900	€ 22.800	€11.650
Besparing warmte (GJ)	/	3 GJ	36,7 GJ	36,7 GJ
Besparing warmtekosten	/	€ 130/jaar	€ 1608/jaar + € 456/jaar vaste kosten	€ 1608/jaar + € 456/jaar vaste kosten
Besparing elektriciteit (kWh)	3.000 kWh	/	3.000 kWh (pvt) -1.950 kWh (wp) = 1.050 kWh	3.000 kWh (pv) -2.550 kWh ⁴ (wp) = 450 kWh
Besparing elektriciteitskosten	€ 1.568/jaar	/	€ 552/jaar	€ 209/jaar
Nettobesparing	€ 1.570/jaar	€ 130/jaar	€ 2.620/jaar	€2.300
Terugverdientijd	3 jaar	14-15 jaar	8-9 jaar	5-6 jaar

Zonnepanelen hebben de kortste terugverdientijd voor een woningeigenaar en zijn in dat opzicht financieel interessant. Dit heeft te maken met:

- De hoge energieprijzen begin 2022. Door de hoge energieprijzen is besparing extra gunstig. In 2020 en 2021 bedroeg de gemiddelde terugverdientijd van zonnepanelen nog zes tot acht jaar.
- De gunstige teruglevertarieven aan het elektriciteitsnet door de salderingsregeling (terugdraaiende teller). Hierdoor krijgt een huishouden een gunstig tarief voor de elektriciteit die het niet meteen zelf gebruikt maar teruglevert aan het elektriciteitsnet. Vanaf 2023 wordt de salderingsregeling geleidelijk afgeschaft. TNO heeft berekend dat de terugverdientijd hierdoor zal evolueren naar zes tot acht jaar (TNO, 2020) richting 2030. Deze terugverdientijd komt overeen met de terugverdientijd in 2020 en 2021, de periode voor de stijgende energieprijzen.
- De relatief lage investeringskosten van een zon-pv-systeem. Pv-systemen zijn het afgelopen decennium sterk in prijs gedaald.

De investeringskosten voor zonneboilers zijn het laagst, de overeenkomstige besparing is ook beperkt. De terugverdientijd is een stuk langer dan die van het zon-pv-systeem. Desondanks is de terugverdientijd bij de huidige hoge energieprijzen relatief kort. Een mogelijke synergie met het warmtenet kan leiden tot een kostenbesparing op het vastrecht en kan de terugverdientijd verminderen.

⁴ De COP (rendement) van een luchtwarmtepomp is iets lager dan van een pvt-warmtepomp, namelijk ca. 4 in plaats van ca. 5,25.

Een pvt-systeem met een warmtepomp is een dure investering. Hiertegenover staat wel dat al de warmte bespaard kan worden en in principe geen warmtenetaansluiting meer nodig is. Een systeem met een luchtwarmtepomp en zon-pv is goedkoper dan een pvt-installatie met warmtepomp en verdient zich sneller terug. De systemen met een warmtepomp kunnen enkel toegepast worden in een goed-geïsoleerde woning. Als isolatie nodig is, brengt dat extra kosten voor de woningeigenaar met zich mee. Dit zal de terugverdientijd verlengen.



2 Wijktoepassing van zonsystemen

2.1 Opties voor kleinschalige wijknetten met zonthermie

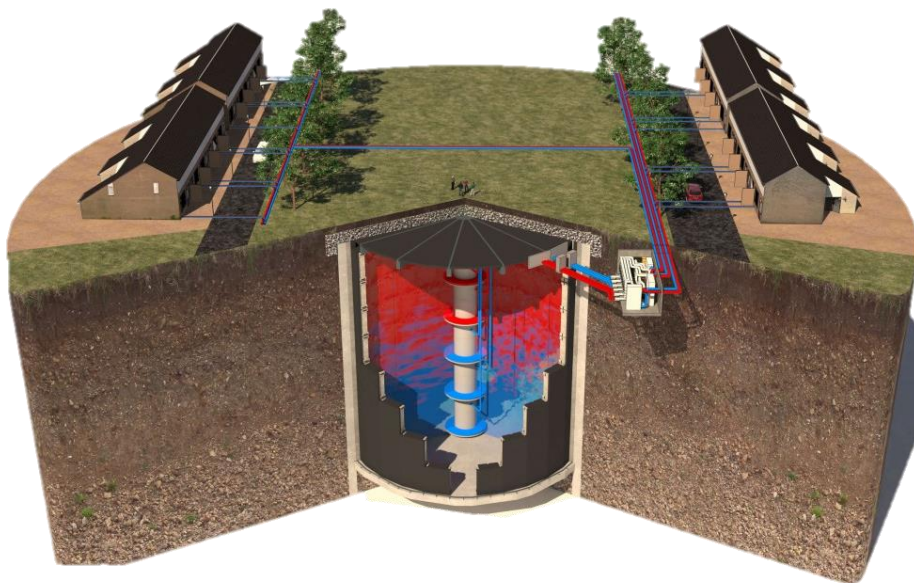
Bij een kleinschalig wijknet met een zonsysteem staat de warmteopslag centraal. De zon-warmteproductie vindt vooral in de zomer plaats en de warmtevraag van de gebouwen in de winter. De warmteopslag verbindt vraag en aanbod.

Er zijn twee vormen van kleinschalige wijknetten met een zonsysteem:

- een wijknet met mt-/ht-zonthermieproductie (tussen de 60 en 80 °C) en mt-/ht-warmteopslag;
- een wijknet met lt-zonthermieproductie (tussen de 20 en 40 °C) en lt-warmteopslag.

Een wijknet met **mt-/ht-zonthermieproductie en mt-/ht-warmteopslag** wordt gevoed met zonnecollectoren die mt-/ht-warmte (tussen de 60 en 80 °C) leveren. Deze warmte kan dan in de winter zonder of met beperkte thermische opwaardering gebouwen verwarmen. Ecovat en HoCoSto zijn voorbeelden van een thermische tankopslag en een thermische putopslag die zonthermie op hoge temperaturen kunnen opslaan.

Figuur 6 - Principeschets van een mt-/ht-warmteopslag

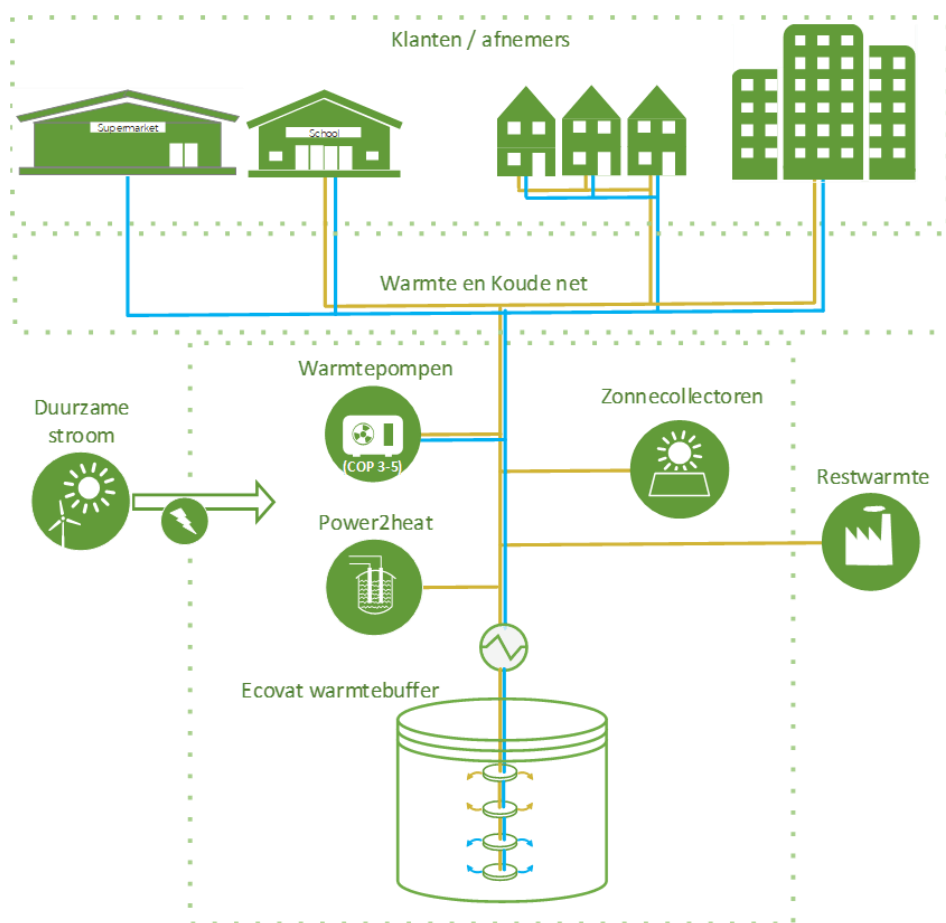


Bron: (Ecovat, lopend).

Voorbeeld: Ecovat

Het Ecovat is een energieopslagsysteem dat warmte en koude verzamelt op verschillende temperaturen. Daarmee kunnen 500 tot 2.500⁵ woningen per buffervat voorzien worden van warmte (Ecovat, 2019). Met een overeenkomstig kostenplaatje van 5 tot 15 miljoen euro. De investeringskosten bedragen dan 6.000 tot 10.000 euro per woning. Deze kosten zijn enkel voor het Ecovat en exclusief kosten voor de technische ruimte, centrale warmtepompen, warmtewisselaars, leidingen, verdeelstation, zonnecollectoren, etc. Een Ecovat is duurder dan een lagetemperatuuropslag. Maar omwille van de hogere werkingstemperatuur zijn kosten voor schilisolatie lager.

Figuur 7 - Schematische voorstelling Ecovat

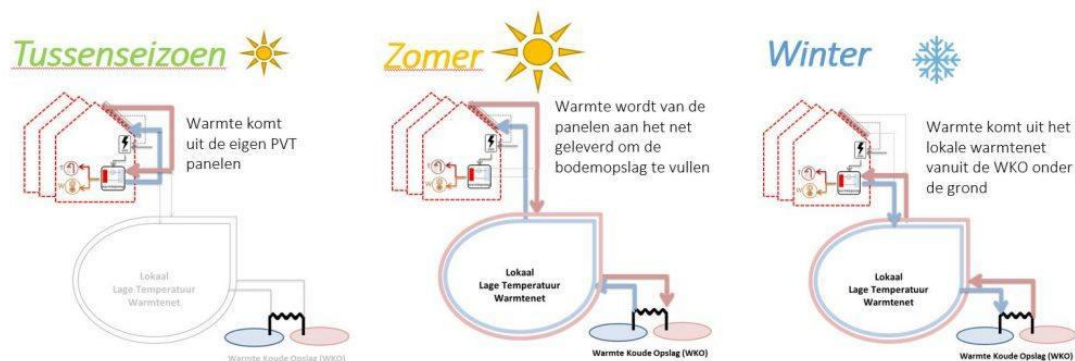


Bron: (Ecovat, sd)

Een wijknet met **lt-zonthermieproductie** en **lt-warmteopslag** vereist geen hoge temperaturen. Voor het verwarmen en regenereren van een lagetemperatuurwarmteopslag, vaak een wko, volstaan lage temperaturen. Pvt-panelen leveren naast elektriciteit ook warmte, van lagere kwaliteit (tussen de 20 en de 40°C) dan zonnecollectoren. Deze warmte is geschikt om de bodem met een lagetemperatuurwarmteopslag op temperatuur te houden voor de winter. Met deze warmte en een warmtepomp kunnen huishoudens in de winter hun gebouwen verwarmen.

⁵ Andere productinformatie spreekt over 750-3.500 woningequivalenten (Ecovat, lopend), we hanteren de lagere aantallen omdat we uitgaan van minder geïsoleerde bestaande bouw.

Figuur 8 - Principeschets lt-zonthermieproductie en lagetemperatuurwarmteopslag



Bron: (TKI, 2020)

Voorbeeld: Ramplaankwartier

Het ZONNET-concept van het SpaarGas-initiatief in Haarlem is een voorbeeld van een zonthermisch wijk-warmtenet met een lagetemperatuurwarmteopslag. Het ZONNET bestaat uit een lagetemperatuurwarmtenet en wko⁶ die worden gevoed door pvt-panelen. Woningen hebben een individuele warmtepomp om de warmte uit het net of de pvt op te waarden tot de gewenste temperatuur. Het ZONNET zal opgebouwd zijn uit drie clusters van elk ongeveer 400 woningen.

De jaarlijkse kosten om aan te sluiten op het ZONNET bedragen € 2.563 per jaar. Hiervoor is een bijdrage van toepassing voor de collectieve installaties (pvt-systemen, warmtenet en wko) in de vorm van vaste tarieven van € 1.157 per jaar. Een eigen investering in woningisolatie en warmtepompen leidt tot een eenmalige investering van ca. € 20.000 incl. subsidie. Met financiering leidt dit tot jaarlijkse lasten van € 1.407 per jaar. Hiervan is bijna € 800 per jaar voor het isoleren van de woning. In het totaal zijn er ongeveer 1.200 woningen in het Ramplaankwartier (SPAARgas, 2020).

De elektriciteitsproductie van de pvt-panelen en de elektriciteitsbehoefte van de warmtepomp heffen elkaar op waardoor het systeem in theorie geen gebruikskosten heeft. In realiteit zal de geproduceerde zonnestroom in de zomer goedkoper worden, en de benodigde elektriciteit voor de warmtepompen in de winter duurder, naarmate de saldering wordt afgeschaft.

2.2 Vergelijking van de kleinschalige wijknetten

We vergelijken de zonthermische wijknetten met elkaar en met het bestaande stads-verwarmingsnet in Utrecht. De bewoners hebben namelijk de keuze om gezamenlijk (circa 400-500 woningen of meer) deel te nemen aan een kleinschalig wijkwarmtenet of aan te sluiten op een grootschalig Utrechts stadsverwarmingsnet. Wanneer een bewoner kiest voor het Utrechtse warmtenet, behoudt de bewoner de keuzevrijheid om bijvoorbeeld zijn dak te gebruiken voor een individueel systeem. Wanneer een bewoner kiest voor een kleinschalig wijkwarmtenet is het dak nodig voor collectoren om het wijkwarmtenet te voeden.

⁶ De mogelijkheden voor wko's zijn in Utrecht beperkter dan in Haarlem vanwege grondwaterverontreinigingen in het eerste watervoerend pakket. De kosten voor wko's kunnen daardoor hoger liggen.

De vergelijking tussen de verschillende types warmtevoorzieningen en de jaarlijkse kosten voor warmte zijn in de volgende tabel opgenomen. Let op deze vergelijking is opgesteld voor zeer grote oude woningen uit het pilotproject Spaargas in de Haarlemse wijk het Ramplaankwartier. In het stedelijke Utrecht zijn de woningen kleiner. De invloed hiervan wordt in de opmerkingen onder de tabel weergegeven.

Tabel 5 - Financiële vergelijking kleinschalige wijknetten

	Wijknet-lt met pvt en wko	Wijknet-mt/ht met zonnecollectoren en mt-/ht-opslag	Stadsverwarmingsnet Utrecht
Investering (€/woning)	€ 40.000		€ 5.000⁷
- BAK	/	/	€ 5.000
- Zonthermiesysteem	€ 5.000	€ ? ⁸	/
- Aansluiting	€ 1.500	€ 1.500	/
- Thermische opslag	€ 4.000	€ 6.000- 10.000	/
- Warmtenet	€ 11.000	€ ?	/
- Isoleren	€ 15.000	€ 6.750 ⁹	/
- Individuele warmtepomp	€ 5.000	/	/
- Centrale warmtevoorziening	/	€ ?	/
Jaarlijkse investeringskosten	€ 2.563	€ ?	€ 161
Warmtevraag (GJ)	58	58	58
Warmtevraag na isoleren (GJ)	41	47	58
Jaarlijkse energiekosten	€ 0	€ ?	€ 3.071
Totale jaarlijkse kosten	€ 2.563	€ ?	€ 3.232

Voor zeer grote woningen met een hoog gasverbruik zijn de jaarlijkse kosten voor verwarming bij aansluiten op een kleinschalig wijknet met zonthermie lager dan de verwarmingskosten van het Utrechtse stadswarmtenet (verschil 26%).

Er zijn enkele opmerkingen op de hier voorgenoemde vergelijking:

- Bij woningen met een laag gasverbruik is aansluiten op het stadswarmtenet interessanter (30% goedkoper). De vergelijking hierboven is gemaakt voor grote woning met hoog gasverbruik. Bij kleinere woningen liggen de jaarlijkse energiekosten lager. De gemiddelde energierekening van een huishouden aangesloten op een warmtenet van Eneco bedraagt € 1.781 per jaar in 2022 bij een verbruik van 28 GJ warmte.¹⁰ Bij woningen met een laag gasverbruik is aansluiten op het stadswarmtenet interessanter (30% goedkoper).

⁷ Rekenwaarde BAK voor het aansluiten van een Utrechtse woning op het warmtenet. Deze waarde verschilt per wijk.

⁸ We beschikken over onvoldoende informatie over een wijknet met een Ecovat voor een nauwkeurige weergave van de kosten. Door de hogere kosten voor opslag en leveringstemperatuur van het warmtenet liggen de kosten waarschijnlijk iets hoger dan bij het wijknet.

⁹ Studie Ecovat Zuid-Holland (Ecovat, lopend)

¹⁰ [Warmtetarieven Eneco blijven ruim onder maximum van ACM](#)

- Het kleinschalig wijknet met zonthermie is onafhankelijk van de huidige hoge energieprijzen. De pvt-panelen en zonnecollectoren produceren zelf de benodigde warmte en elektriciteit om de warmte op te waarderen. Een warmteopslagsysteem slaat warmte op voor gebruik in de winter. En door de salderingsregeling kan de je de elektriciteit voor opwaardering van lt-warmte terugverdienen in de zomer. De salderingsregeling wordt vanaf 2023 geleidelijk afgeschaft.
- De discontovoet van het Spaargas-initiatief bedraagt 1,3% over 40 jaar van de collectieve delen. Dit is relatief laag in vergelijking met de discontovoet van reguliere warmtenetbedrijven. Op basis van deze discontovoet en afschrijftermijn hebben we eveneens de jaarlijkse kosten voor de BAK berekend.
- Door verschillende mate van isolatie verschilt de warmtevraag tussen de alternatieven.
- Kleinschalige wijknetten met zonthermie zijn nog volop in ontwikkeling. Het Spaargas-initiatief is bijvoorbeeld nog niet gerealiseerd. Het is afwachten of de businesscases standhouden na realisatie.

3 Grootschalige zonnevelden

3.1 Voorbeelden van grootschalige zonnevelden

Zonnevelden kunnen elektriciteit leveren (zon-pv), warmte leveren (zonthermie) of zowel elektriciteit als warmte (pvt).

Zon-pv-velden

De meest bekende zonnevelden hebben een grote verzameling zon-pv-panelen. Deze produceren duurzame elektriciteit wanneer de zon schijnt. Er zijn reeds vele zonneparken gerealiseerd in Nederland. Ook de gemeente Utrecht heeft meerdere zoekgebieden aangewezen waar wordt gekeken naar de mogelijkheden van zonnestroomproductie.

Zonthermievelden

Zonthermievelden lijken op zonneparken met conventionele zonnepanelen, maar produceren mt-/ht-warmte ($60-80^{\circ}\text{C}$) in plaats van elektriciteit. Er is reeds veel ervaring met zonthermievelden in Europa, vooral in Denemarken. De zonwarmte wordt hierbij vaak ingezet om een stadsverwarmingsnet te voeden. In Nederland zijn er ook al enkele projecten gerealiseerd. Het zonne-eiland in Almere in het volgende figuur is een mooi voorbeeld.

Figuur 9 - Zonne-eiland Almere



Bron: (DAREL, 2019)

Zon-pvt-velden

Zon-pvt-velden leveren net zoals zon-pv-velden elektriciteit en daarnaast ook nog lt-warmte ($20-40^{\circ}\text{C}$). Warmtepompen kunnen deze lt-warmte opwaarderen naar direct bruikbare warmte. Met deze warmte kan een wko geregenereerd worden. Er zijn weinig voorbeelden van zonneparken met pvt-panelen.

3.2 Financiële kosten- en batenanalyse van grootschalige zonnevelden

We vergelijken de financiële kosten en baten voor drie types zonnevelden: zon-pv-velden, zonthermievelden en zon-pvt-velden. We bekijken de inzet van deze alternatieven voor eenzelfde hoeveelheid beschikbaar veldoppervlak.

Uitgangspunten kosten en baten grootschalige zonnevelden:

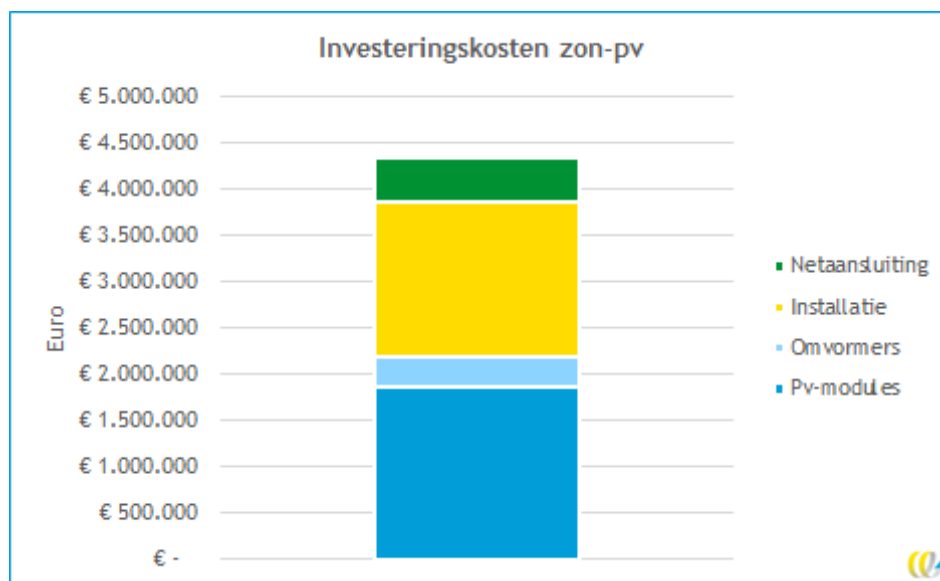
- een oppervlakte van beschikbaar veld: 75.000 m² ofwel 7,5 ha;
- dichte pakking van zonnecollectoren en -panelen resulterend in een collectoroppervlak van 48.750 m²;
- SDE++-subsidie wordt gegund gedurende de eerste vijftien jaar.

Voor de financiële analyse gebruiken we kengetallen uit voorgaand onderzoek van CE Delft over de kosten van zontoepassingen en de SDE++-adviezen van PBL voor zonne-energie.

Kosten en baten grootschalige zon-pv

Op het veld van 75.000 m² kan een projectontwikkelaar een zon-pv-systeem realiseren bestaande uit ongeveer 30.000 zonnepanelen met een vermogen van 8,5 MW en een jaarlijkse opbrengst van 8 GWh. De opbouw van de investeringskosten is weergegeven in Figuur 10. Het verloop van de kosten en baten is weergegeven in Figuur 11.

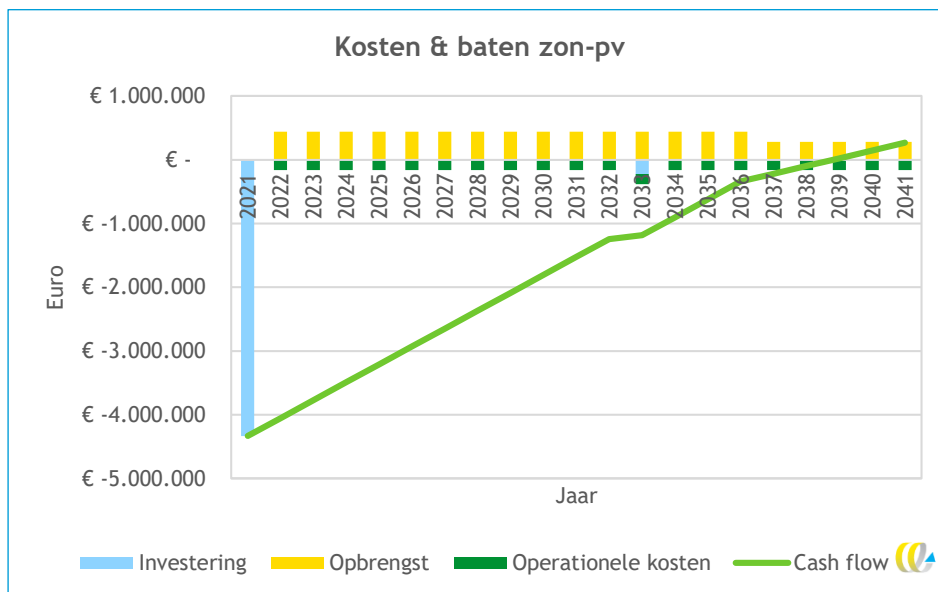
Figuur 10 - Investeringskosten grootschalige zon-pv



Figuur 11 toont de inkomsten en uitgaven van een zon-pv-project. Hieruit valt het volgende op te merken:

- De terugverdientijd van het systeem bedraagt zestien á zeventien jaar. Hierbij gaan we uit van de opbrengsten die overeenstemmen met de basisbedragen van zon-pv uit de conceptadviezen SDE++ 2022 aangevuld met jaarlijkse pacht van het veld.
- In jaar twaalf is een herinvestering nodig voor de omvormer.
- Na vijftien jaar verlagen de opbrengsten. De SDE++-subsidie ondersteunt projecten gedurende vijftien jaar en valt daarna weg. Daarnaast daalt de energieproductie van zon-pv-systemen waardoor de gemiddelde productie in de laatste vijftien jaar van de levensduur lager ligt dan de gemiddelde productie in de eerste vijftien jaar.

Figuur 11 - Kosten en baten van zon-pv-projecten

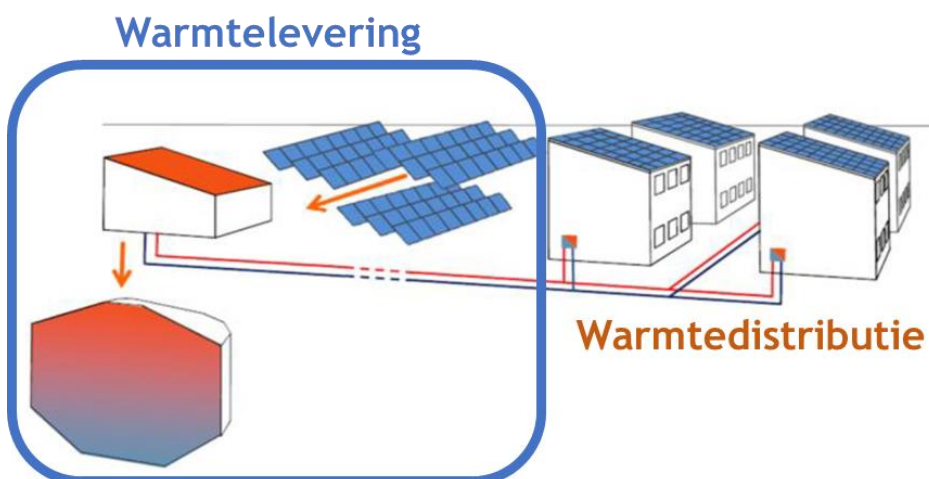


Kosten en baten grootschalige zonthermie

Configuratie zonthermiewarmtelevering

Er zijn verschillende configuraties mogelijk voor de warmtelevering van zonthermie. Het volgende figuur toont de warmtelevering en de warmtedistributie. De warmtelevering kan bestaan uit zonnecollectoren, een warmtestation, een thermisch opslagsysteem en een transportleiding naar de warmtedistributie. De warmtedistributie in kwestie is het Utrechtse stadswarmtenet.

Figuur 12 - Zonthermiewarmtelevering aan warmtenet

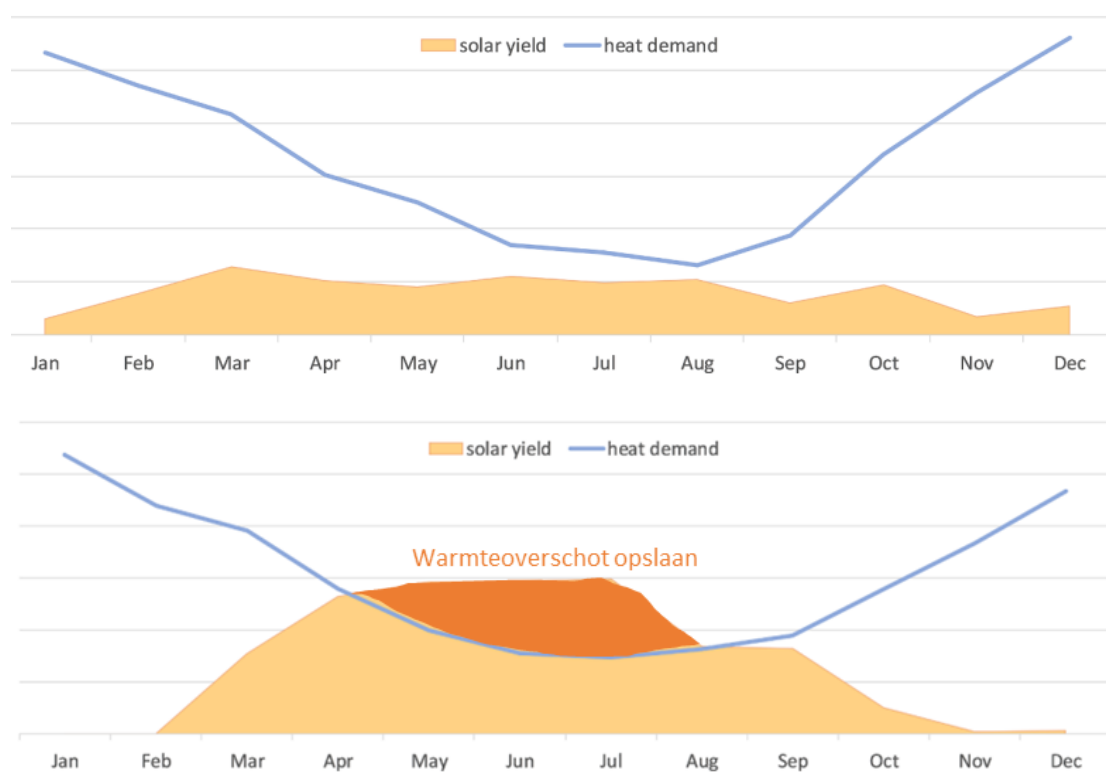


Bron: (bewerkte figuur op basis van (SDH, 2012))

Het aandeel zonwarmte in de volledige stadswarmtelevering bepaalt de behoefte voor opslag. Indien het aandeel zonwarmte relatief laag is, 0-20%, kan zonthermie in de zomer rechtstreeks warmte leveren aan het warmtenet. Zie Figuur 13. Hiermee voorziet zonthermie de warmtapwatervraag in de zomer. Een groter aandeel zonwarmte, 20-60%, vereist een thermische seizoensopslag. Gezien de beperkte ruimte voor zonthermie in de gemeente Utrecht zal ook het aandeel zonwarmte in de volledige stadswarmtelevering beperkt zijn. Zonthermie kan technisch gezien rechtstreeks leveren aan het warmtenet.

We nemen de investeringskosten van een seizoensopslag niet mee in de configuratie van de warmtelevering. De behoefte tot seizoensopslag is niet alleen aan zonthermie toe te schrijven. In de toekomst zullen andere fluctuerende duurzame warmtebronnen, zoals power-to-heat, of duurzame warmtebronnen die moeilijker regelbaar zijn, zoals geothermie, zorgen voor een behoefte aan seizoensopslag.

Figuur 13 - Aandeel zonthermie in de volledige stadswarmtelevering - heat demand (boven: laag aandeel, onder: hoog aandeel)

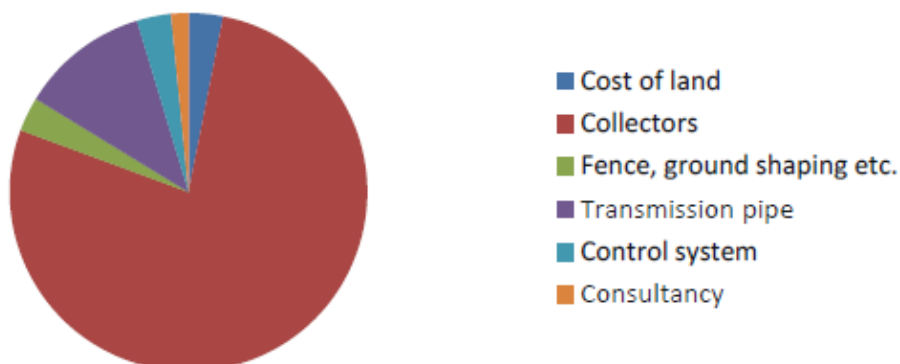


Bron: (Tschopp et al., 2020)

Financiële kosten en baten zonthermie

Op het veld van 75.000m² kan een projectontwikkelaar een zonthermiesysteem realiseren van 34 MW. Dit genereert een jaarlijkse mt-/ht-warmteopbrengst (60 °C tot 80 °C) van 20,5 GWh¹¹ of 73,7 TJ. De investeringskosten bedragen 14,3 miljoen euro. De opbouw van de investeringskosten is weergegeven in Figuur 14. Collectoren zijn verantwoordelijk voor het grootste deel van de kosten. Het verloop van de kosten en baten in de tijd is weergegeven in Figuur 15.

Figuur 14 - Verdeling investeringskosten zonthermie



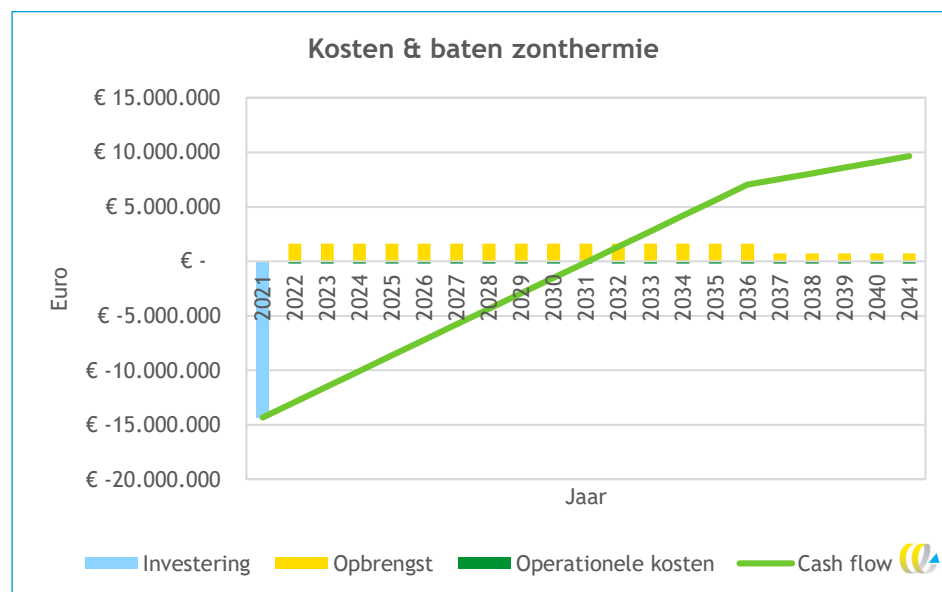
Bron: (SDH, 2012)

De volgende grafiek toont de inkomsten en uitgaven van een zonthermieproject. Hieruit valt het volgende op te merken:

- De terugverdientijd van het systeem bedraagt tien á elf jaar. Hierbij gaan we uit van de gegunde SDE++-subsidie uit de conceptadviezen SDE++ 2022.
- Na vijftien jaar verlagen de opbrengsten. De SDE++-subsidie ondersteunt projecten gedurende vijftien jaar. Daarnaast daalt de energieproductie van zon-pv-systemen waardoor de gemiddelde productie in de laatste vijftien jaar lager ligt dan de gemiddelde productie in de eerste vijftien jaar.

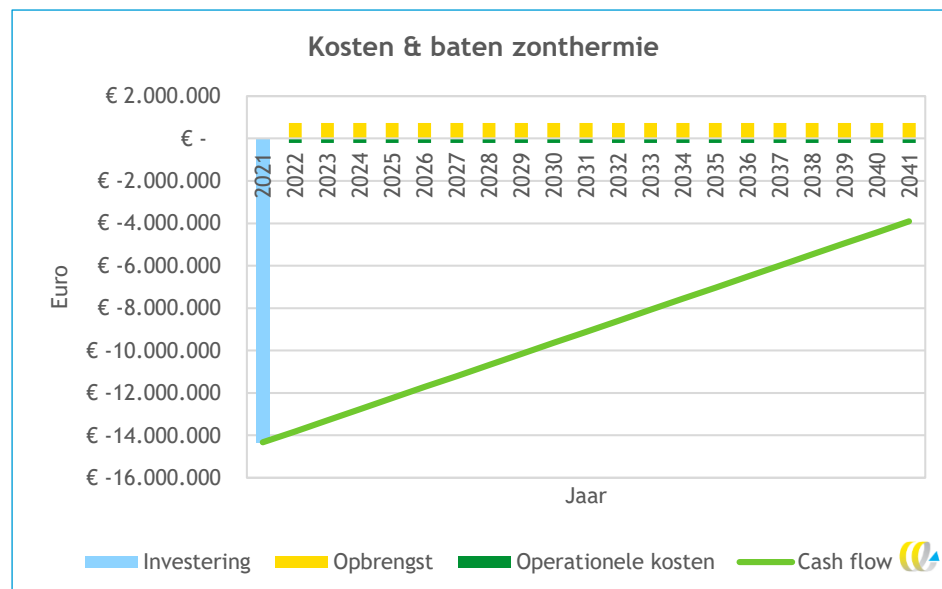
¹¹ Het aantal vollasturen van zonthermiecollectoren bedraagt 600 uur, voornamelijk gedurende de zomer. De energetische opbrengst bedraagt 34 MW * 600 uur = 20,5 GWh.

Figuur 15 - Kosten en baten zonthermieprojecten (met SDE++-subsidie)



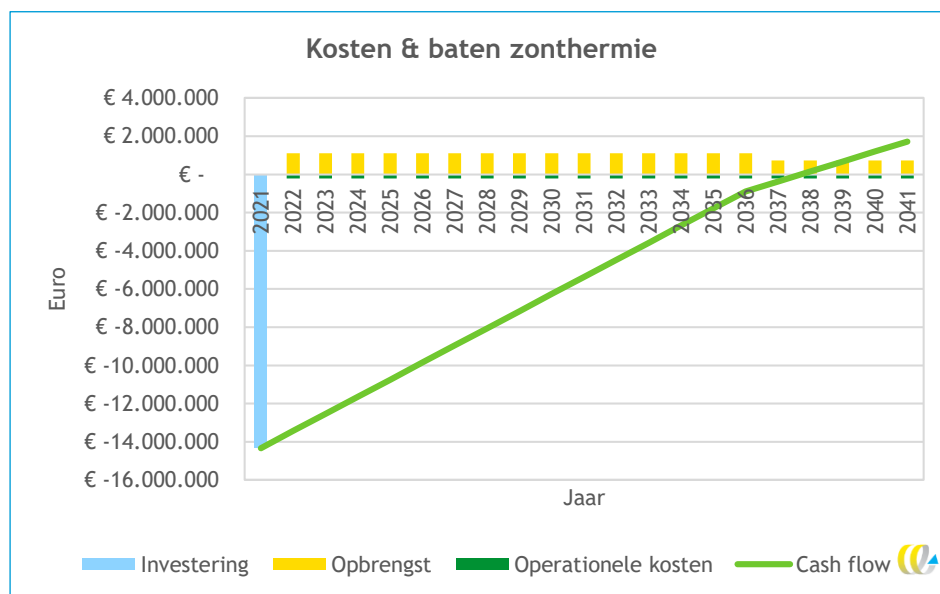
Het is niet vanzelfsprekend dat zonthermieprojecten een SDE++-subsidie verkrijgen. De subsidie-intensiteit per bespaarde CO₂-uitstoot is hoog vergeleken met andere duurzame-energieproductietechnieken. Door de inschrijvingsprocedure waarbij subsidie wordt toegekend aan de technieken met de laagste subsidie-intensiteit zijn de subsidie-kansen voor een zonthermieproject laag. Zonder subsidie is een zonthermieproject moeilijk realiseerbaar zie Figuur 16.

Figuur 16 - Kosten en baten zonthermieprojecten (zonder SDE++-subsidie)



Indien dezelfde subsidie-intensiteit wordt toegepast als bij zon-pv. Namelijk 81 euro per ton CO₂-besparing, dan verdient de installatie zich terug in zeventien à achttien jaar. Dit is vergelijkbaar met zon-pv.

Figuur 17 - Kosten en baten zonthermieprojecten (met SDE++-subsidie-intensiteit zon-pv)



Kosten en baten pvt

Op het veld van 75.000 m² kan een projectontwikkelaar een zon-pvt-systeem realiseren bestaande uit ongeveer 30.000 zonnepanelen met een vermogen van 8,5 MW en een jaarlijkse opbrengst van 8 GWh aan elektriciteit. Tegelijk levert het zon-pvt-systeem 117 GWh warmte deels uit zoninstraling en deels uit omgevingswarmte.

Pvt-panelen zijn een stuk duurder dan zonnepanelen. Op grote schaal kosten zonnepanelen 220 euro per kW, wat overeenkomt met ongeveer 38 euro per m² (PBL, 2021). Pvt-panelen kosten 300 euro per m² (de Keizer et al., 2018). Pvt-panelen zelf zijn bijna tien keer duurder¹² dan reguliere zonnepanelen en zijn dus een kostbare investering. Maar het wordt mogelijk rendabel door het leveren van opbrengsten voor warmte naast de reguliere opbrengsten voor elektriciteit.

Pvt-panelen leveren veel meer warmte dan zonnecollectoren, maar wel van lage kwaliteit/temperatuur. Het volgende figuur toont dat zonthermie bij hogere verwarmingstemperaturen (delta T) minder warmte produceert. Het aantal vollaasturen bij zonnecollectoren is lager dan bij pvt-panelen omdat de omstandigheden minder vaak geschikt zijn voor levering van mt-/ht-warmte.

¹² Pvt-panelen worden nog voornamelijk gebruikt in een nichemarkt, kostenvoordeel kan verder bereikt worden.

Figuur 18 - De warmtelevering daalt bij hogere verwarmingstemperaturen

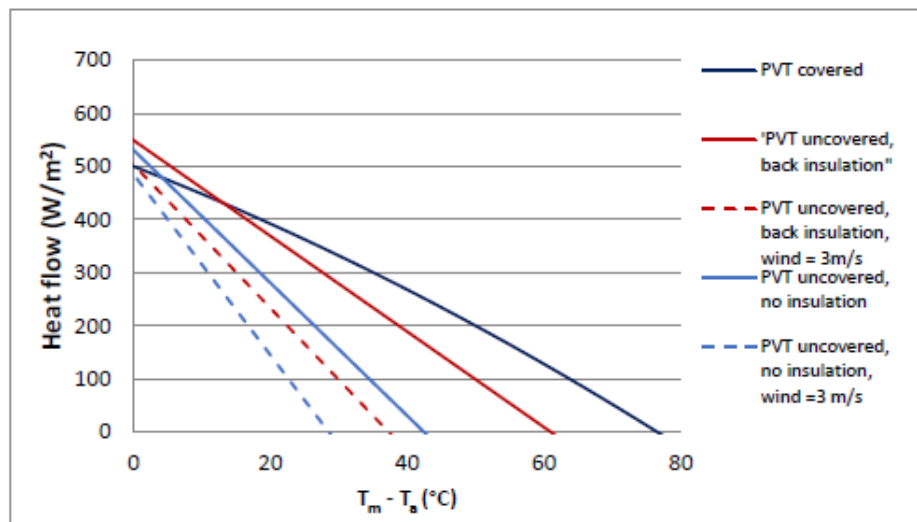


Figure 2.9 Typical PVT collector heat flows for covered and uncovered PVT collectors with PV in MPP at $G = 1000 \text{ W/m}^2$, $(E_L - \sigma T_a^4) = -100 \text{ W/m}^2$, $\epsilon/\alpha = 0.85$ and therefore $G'' = 915 \text{ W/m}^2$. Efficiencies are derived from [4]

Bron: (de Keizer et al., 2018)¹³

Het temperatuurniveau van de warmtelevering van een pvt-systeem is niet vergelijkbaar met het temperatuurniveau van zonnecollectoren. Een directe prijsvergelijking tussen beide systemen levert geen logische resultaten op. Daarom vergelijken we pvt met een combinatie van aquathermie en zon-pv. De zonwarmtelevering van pvt met aquathermie. Beide systemen worden bijna uitsluitend toegepast voor de regeneratie van lagetemperatuurwarmteopslagen (wko's). De zonnestroomlevering van pvt is goed vergelijkbaar met de stroomlevering van reguliere zon-pv.

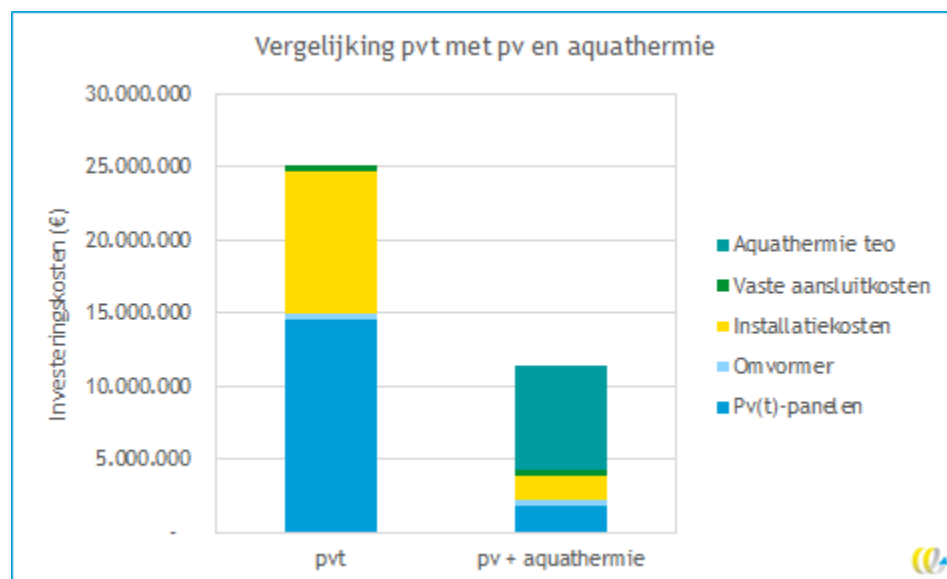
De investeringskosten voor de levering van zonnestroom én lt-warmte zijn weergegeven in de volgende grafieken. We vergelijken pvt met een combinatie van zon-pv en aquathermie. De eerste grafiek beperkt zich tot de lt-warmtelevering (20-30°C): warmteonttrekking uit het water en warmtelevering van de pvt-panelen. De tweede grafiek toont ook de kosten voor de collectieve warmtepompen, wko, warmtetransportleiding en warmteoverdrachtstation. De tweede grafiek geeft zo het totale kostenplaatje weer van de totale mt-warmtevoorziening (70-75°C).

Uit de investeringskostenvergelijking trekken we de volgende conclusies:

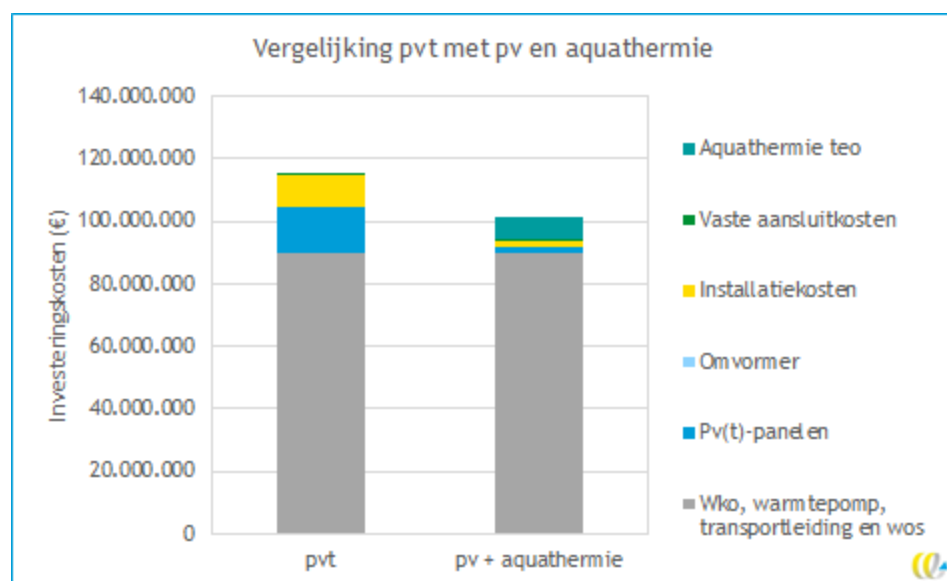
- De combinatie van twee individuele systemen, zon-pv voor zonnestroom en aquathermie voor warmte, is goedkoper dan het pvt-systeem dat zowel warmte als elektriciteit levert.
- De investeringskosten van de lt-warmtelevering zijn slechts een beperkt deel van de kosten in vergelijking met de totale kosten voor mt-warmtevoorziening. De kosten voor de elektrische opwaardering en warmteopslag zijn hoog vergelijkbaar met het pvt-systeem, zie Figuur 19.

¹³ Hoe beter het paneel geïsoleerd is en/of afgedekt is, hoe efficiënter het paneel warmte op hoge temperaturen kan leveren. Een nadeel ervan is dat de zonnestroomproductie afneemt bij hogere temperaturen. Bij lage temperaturen neemt de efficiëntie van de zonnestroomproductie toe.

Figuur 19 - Investeringskosten van een pvt-systeem en pv-systeem gecombineerd met aquathermie: lt-warmtelevering



Figuur 20 - Investeringskosten van een pvt-systeem en pv-systeem gecombineerd met aquathermie: volledige mt-warmtevoorziening



Het is niet nodig om de kosten in de tijd neer te zetten. De operationele kosten van pvt en aquathermie zijn ongeveer gelijk. De elektrakosten voor het opwaarderen van de lt-warmte met een warmtepomp zijn de belangrijkste componenten in de operationele kosten.

3.3 Vergelijking van de alternatieven

Zon-pv is qua investering de goedkoopste manier om het veld te benutten. Een zonthermieveld is circa drie keer duurder. Een pvt-veld is zelfs tot zes keer duurder.

De uitdaging voor een zonthermieveld is het verkrijgen van een SDE++-subsidie. Zonder subsidie is een project nagenoeg niet realiseerbaar. Eenzelfde subsidie-intensiteit als bij zon-pv leidt tot een vergelijkbaar rendabel project als een zon-pv-veld. Het is wel belangrijk dat er in de zonthermieconfiguratie geen opslagsysteem meegerekend is. De investeringskosten stijgen met ongeveer 25% bij een zonthermieconfiguratie met seizoensopslag.

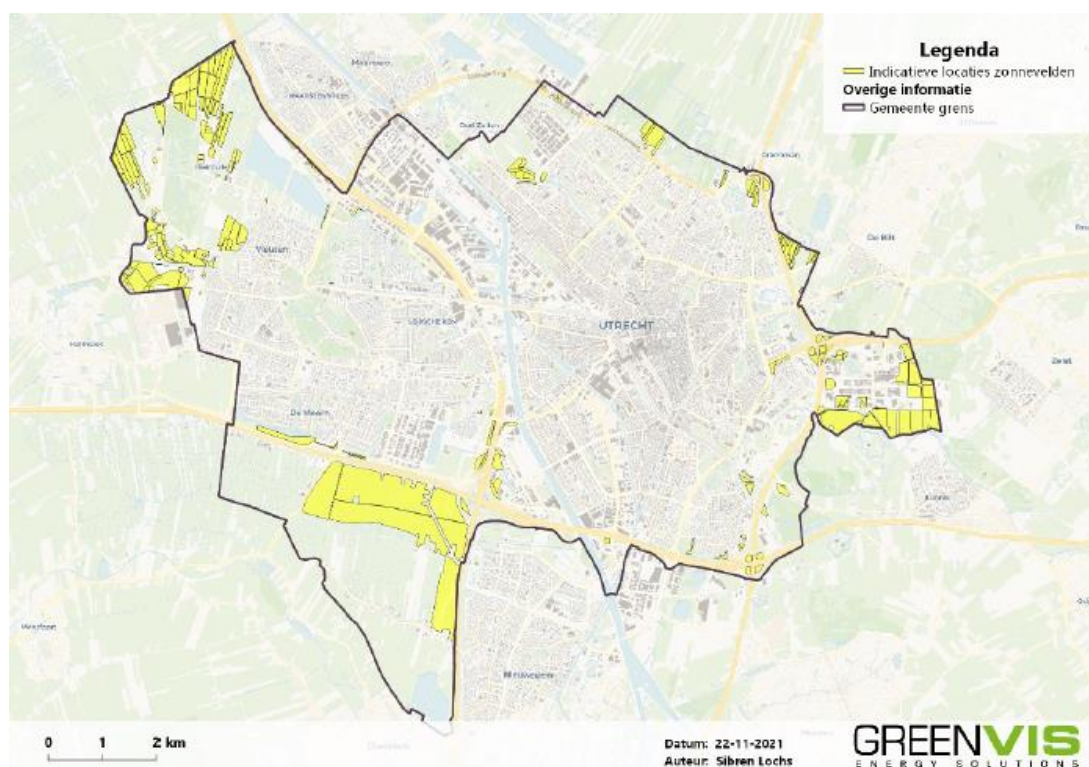
Pvt is een dure techniek. Een combinatie van een zon-pv-veld en een aquathermievoorziening is goedkoper dan een zon-pvt-veld bij eenzelfde stroom- en lt-warmtelevering. De totale kosten voor mt-warmtevoorziening verschillen niet zo sterk. De investeringskosten van de lt-warmtelevering zijn slechts een beperkt deel van de totale kosten in vergelijking met de totale kosten voor mt-warmtevoorziening.

4 Potentie, netcapaciteit en haalbaarheid

4.1 Potentie en zoekgebieden voor zonnevelden

Greenvis heeft voor de gemeente in kaart gebracht welke gebieden interessant zijn voor de ontwikkeling van zonnevelden. Deze gebieden zijn weergegeven in Figuur 21. De totale oppervlakte van deze gebieden is opgeteld 846 ha. De zonthermiepotentie bedraagt 3043 TJ (Greenvis, 2021). Er is theoretisch gezien veel ruimte, maar die ruimte wordt beoogd door verschillende functies, zoals productie van elektriciteit, de productie van warmte, of behoud van het bestaande landschap. In de ruimtelijke strategie Utrecht 2040 zijn zoekgebieden geselecteerd voor energie-opwek, zie Figuur 22. Deze zoekgebieden komen grotendeels overeen met de potentiegebieden van Greenvis. Voor elk van die zoekgebieden moet nog verder onderzocht worden of een zonnenveld (ruimtelijk) wenselijk is en welke realisatieomvang geschikt is.

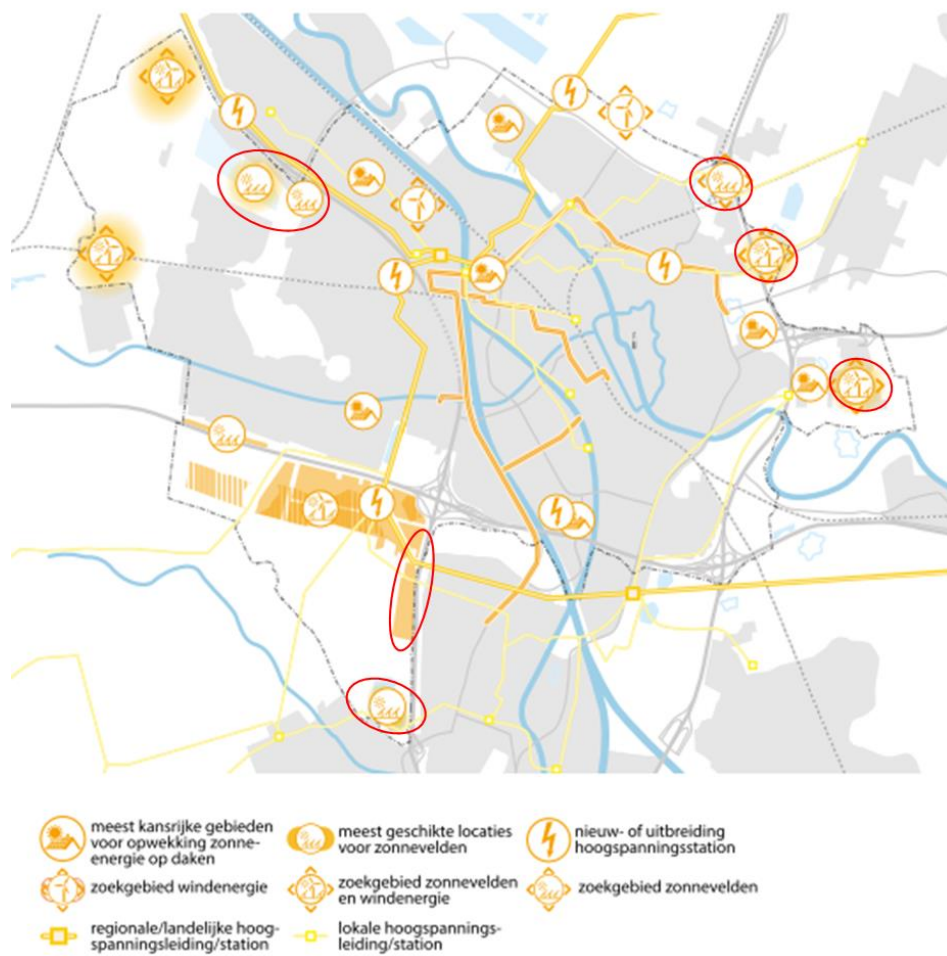
Figuur 21 - Potentiële zoekgebieden voor zonthermie in de gemeente Utrecht



Bron: (Greenvis, 2021)

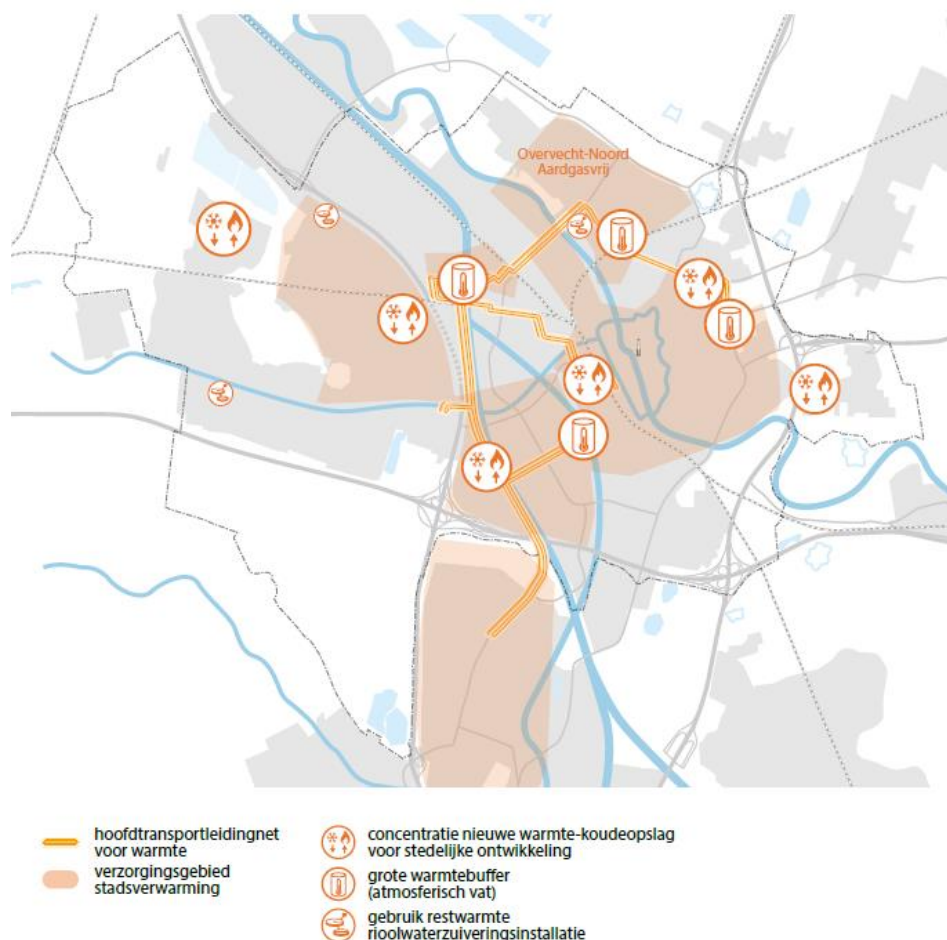
De zoekgebieden voor zonne-energie liggen aan de rand van de stad. Sommige zoekgebieden liggen naast de warmteverzorgingsgebieden van het warmtenet, Figuur 23. Transport naar de nabijgelegen verzorgingsgebieden van stadsverwarming is daardoor kansrijk. In Figuur 22 zijn de zoekgebieden met een rode cirkel aangegeven die liggen aan de rand van het bestaande verzorgingsgebied stadsverwarming. In Nederland zijn vele zonnevelden gelegen in buitengebieden en daardoor minder kansrijk inzetbaar voor warmtelevering. Omwille van de warmtetransportverliezen is warmteproductie locatie-afhankelijker dan elektriciteitslevering.

Figuur 22 - Zoekgebieden voor energie-opwek



Bron: (Gemeente Utrecht, 2021)

Figuur 23 - Belangrijkste locaties voor de opwekking, transport en opslag van warmte in 2040



Bron: (Gemeente Utrecht, 2021)

4.2 Netcapaciteit en netcongestie

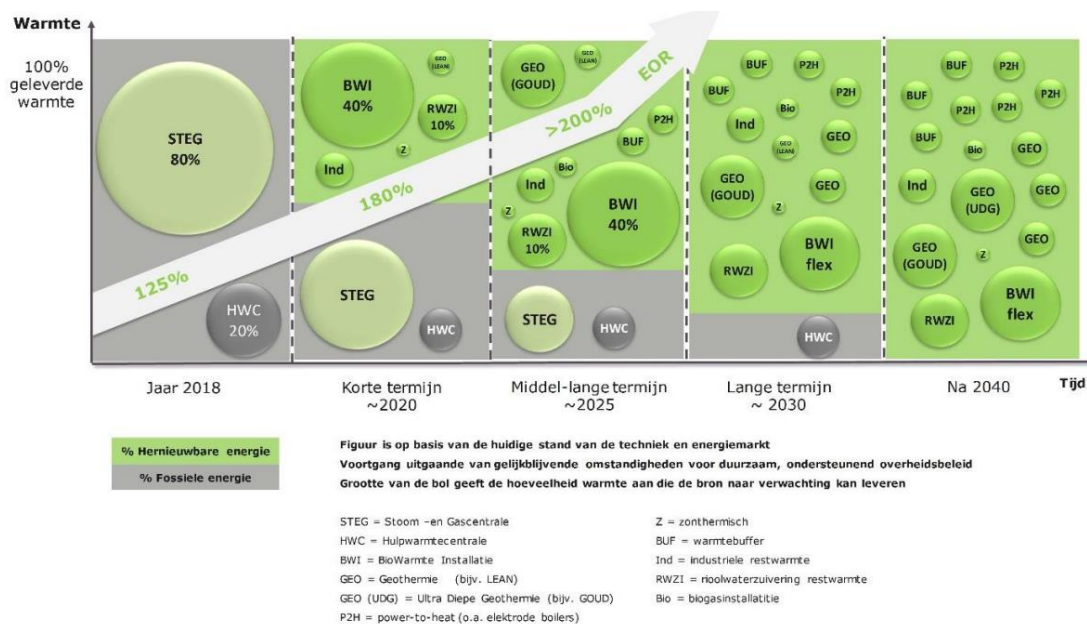
De teruglevercapaciteit van het elektriciteitsnet bereikt zijn maximum door de grote stijging van duurzame stroomproductie. Er sprake van netcongestie. Netverzwaring en extra transformatorstations zijn nodig om de grote hoeveelheden geproduceerde elektriciteit te transporteren naar afnemers.

Warmtelevering belast de elektriciteitsinfrastructuur niet en vermindert de nodige netverzwaring op twee manieren. Enerzijds wordt er geen elektriciteit geproduceerd op het beschikbare veld, waardoor geen extra teruglevercapaciteit nodig is. Anderzijds kan met warmte meteen gebouwen verwarmen zonder extra elektrische opwaardering. Hierdoor is er ook minder afnamecapaciteit nodig. Dit effect wordt verder beschreven in Paragraaf 4.4.

4.3 Haalbaarheid zonthermie in de warmtevoorziening

Eneco heeft een routekaart opgesteld om in 2040 volledig duurzame warmte te leveren (Eneco, 2018). Duurzame warmtebronnen zijn nodig om het bestaande stadswarmtenet te voeden. Bovendien dient ook rekening te houden met een substantiële groei van de warmtelevering, naarmate steeds meer huishoudens van het gas af gaan en aansluiten op een warmtenet. Zonthermie kan één van de bronnen zijn om aan deze duurzaamewarmtelevering bij te dragen, naast bijvoorbeeld geothermie en aquathermie.

Figuur 24 - Verduurzaming stadswarmtenet Utrecht



Bron: (Eneco, 2018)

Een fluctuerende warmtebron, zoals zonthermie, is moeilijk regelbaar en vereist steeds een back-upbron. Als zonthermie wordt gecombineerd met (ondergrondse) seizoensopslag komt zonwarmte uit de zomer ook beschikbaar tijdens de winter. Gedurende de winter zijn extra warmte en capaciteit het meest nodig in de warmtevoorziening. Door de opslag is de inzet van zonwarmte flexibel, blijft de capaciteit van de overige warmtebronnen volledig beschikbaar en kunnen de overige bronnen efficiënt warmte blijven leveren.

De verduurzamingsstrategie van Eneco uit Figuur 24 is in ontwikkeling. De nieuwe verduurzamingsstrategie richt zich ook op de integratie van seizoensopslag. Zonthermie kan inspelen op deze strategie.

Het is van belang om de locaties van de seizoensopslag en zonthermievelden goed op elkaar af te stemmen zodat de afstand en transportverliezen minimaal zijn.

4.4 MT/HT-zonwarmteopslag vermijdt netverzwaring en piekcentrales elektriciteitsvoorziening

Kosten voor het elektriciteitssysteem komen momenteel indirect bij de samenleving terecht; netverzwaring en piekcentrales worden aangelegd, gesocialiseerd en daarmee door alle gebruikers betaald. Het vermijden van systeemkosten leidt tot lagere kosten van de energietransitie, en zou daarmee wel als baat moeten worden meegenomen.

Met een hoge temperatuur (mt/ht) thermische seizoensopslag kan de elektrische piekvraag vermeden worden. Een mt/ht-opslagsysteem kan rechtstreeks bruikbare warmte leveren¹⁴; dus zonder elektriciteitspiek op de koude momenten waarop het elektriciteitsnet sterk belast wordt. Door een verminderde piekvraag naar elektriciteit zijn minder back-up-elektriciteitscentrales en een minder verzaamd elektriciteitsnet nodig. De vermeden systeemkosten van netverzwaring bedragen € 5,8-€ 9,8/GJ geleverde warmte in vergelijking met elektrisch opgewaardeerde warmte (Berenschot, 2018).

¹⁴ Indien nodig kan elektriciteit van bijvoorbeeld windenergieproductie ingezet worden om de temperatuur van de warmteopslag te verhogen met warmtepompen. Op deze manier wordt de elektriciteit gebruikt op momenten met hoge energieproductie in plaats van momenten met hoge energievraag. De warmteopslag overbruggt die momenten.

5 Conclusie

Decentrale teruglevering van zonwarmte aan het warmtenet vermindert de efficiëntie van de warmtevoorziening van het warmtenet, levert zonwarmte met weinig waarde; en kan alleen met een dure installatie voor bewoners

Decentrale teruglevering van zonwarmte aan het warmtenet vermindert de efficiëntie van de warmtevoorziening van het warmtenet. Teruglevering van zonwarmte zorgt voor verhogingen en fluctuaties van de retourtemperatuur bij de bronwarmtelevering van het warmtenet. Hierdoor kunnen de andere warmtebronnen minder efficiënt warmte leveren wat zich vertaalt in hogere warmtetarieven.

De waarde van de teruggeleverde warmte is laag omdat deze in de zomer wordt geproduceerd wanneer de warmtevraag laag is en andere duurzame bronnen ook warmte leveren.

Decentrale teruglevering van zonwarmte aan het warmtenet is duur voor de bewoner. Investeringskosten zijn nodig in én een zonnecollectorsysteem én inpandig leidingwerk én een nieuwe aansluiting en afleverset op de retourleiding. In ruil daarvoor levert het systeem beperkte warmteopbrengst voor eigen gebruik, voornamelijk voor de verwarming van tapwater gedurende de zomer. De tariefstelling van de warmteteruglevering aan het warmtenet is nog onduidelijk, zeker gezien de lage waarde van de teruggeleverde warmte.

Zon-pv is een financieel interessanter alternatief voor energieproductie op woningdaken, ook zijn er kansen voor synergie van warmtenet en zonneboilers

Voor een bewoner is zon-pv een financieel interessanter alternatief van het dak voor energieproductie. De huidige hoge energieprijzen en de salderingsregeling versterken dit effect alleen maar en resulteren in terugverdientijden van drie jaar. Ook de investeringskosten zijn laag vergeleken met de zonthermische vormen van energieproductie.

Synergie van een zonneboiler en een warmtenet kan operationeel en financieel interessant zijn. Integratie van de warmtelevering in de woning met het collectorvat van de zonneboiler kan leiden tot kleinere aansluitleidingen en lagere piekvermogens. Hierdoor komt extra capaciteit beschikbaar voor uitbreiding van het warmtenet. Verder onderzoek is nodig naar de lokale technische en financiële impact van deze synergie voor warmtebedrijf en bewoner.

Een zonneboiler neemt weinig dakoppervlak in. Een zon-pv-systeem en zonneboilers kunnen naast elkaar op het dak worden aangelegd.

Utrechtse stadsverwarming is financieel aantrekkelijker dan kleinschalige zonthermische wijknetten, in specifieke omstandigheden zijn er kansen voor zonthermische wijknetten

Voor gemiddelde woningen is het Utrechtse stadswarmtenet een voordeligere keuze ook bij de huidige hoge energieprijzen. De kosten liggen circa 30% lager. Kleinschalige thermische wijknetten zijn kansrijk voor een collectief van huishoudens als én de warmtevraag hoog is én de energieprijzen hoog zijn, zodat een bewoner veel bespaart op de energierekening.

Kleinschalige zonthermische wijknetten zijn nog in ontwikkeling. Veel onderzoeksprojecten, zoals bijvoorbeeld het ZONnet van het Spaargasinitiatief zijn nog niet gerealiseerd. De komende jaren zal uit ervaring blijken in welke mate de kosteninschattingen en systeemconcepten zullen presteren in de realiteit.

Zon-pv-velden zijn het goedkoopst, zonthermievelden kunnen inspelen op de integratie van seizoenopslag in stadsverwarming

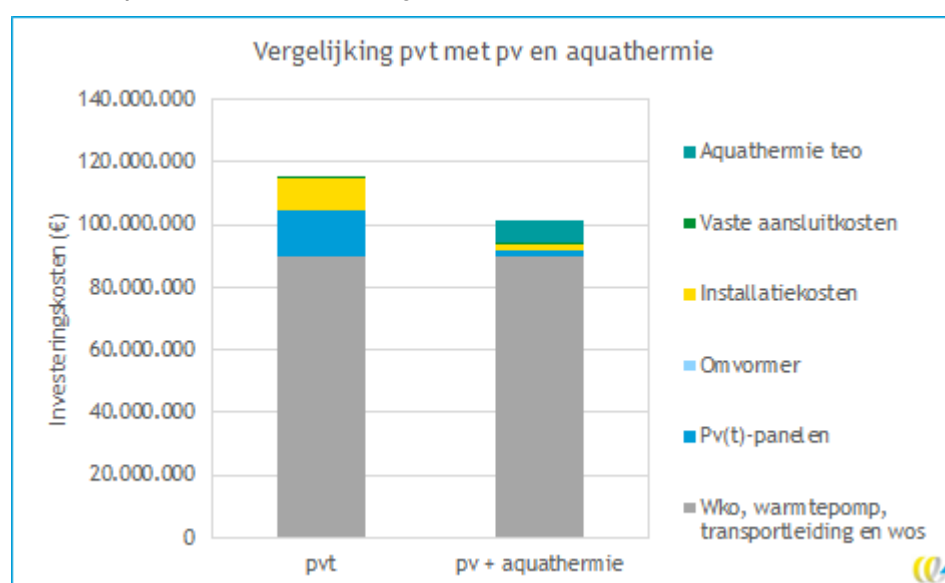
Zon-pv-velden hebben de laagste investeringskosten. Per vierkante meter zijn zon-pv-velden drie keer goedkoper dan zonthermievelden en zes keer goedkoper dan een zon-pvt-velden.

Zonthermievelden hebben in principe een vergelijkbare terugverdientijd met zon-pv, als deze rechtstreeks warmte kunnen leveren aan het warmtenet. In de warmtevoorziening is rechtstreekse zonthermische warmtelevering technisch complex. Zonthermie is een fluctuerende warmtebron die in de zomer warmte levert wanneer de warmtevraag laag is en andere duurzame bronnen ook warmte leveren.

Door zonthermie te integreren met seizoenopslag is zonthermie flexibel inzetbaar. Seizoenopslag verhoogt de investeringskosten met 20%-30% en verlengt de terugverdientijd aanzienlijk. De aanleg van seizoenopslag maakt deel uit van de duurzame warmtetoekomst van het Utrechtse stadsverwarmingsnet. Zonthermie kan hierop inspelen. Ruimtelijke ligging van opslag en zonthermie zijn belangrijk om de warmtetransportafstand zoveel mogelijk te beperken.

Zon-pvt-velden zijn momenteel nog erg duur. Het is goedkoper om gelijkwaardige warmte en elektriciteit te voorzien met een combinatie van een aquathermiebron en een zonnepaneel. Hoe dan ook de kosten voor de bronlevering bedragen slechts 10% tot 20% van de totale kosten voor de warmtevoorziening, zie Figuur 25. De relatieve verschillen zijn hierdoor kleiner. Bij verdere afwegingen dient bovendien ook rekening gehouden te worden met de ruimtelijke beschikbaarheid van aquathermie of open ruimte voor zonthermie.

Figuur 25 - Investeringskosten van een pvt-systeem en pv-systeem gecombineerd met aquathermie: middentemperatuur warmtevoorziening



6 Literatuur

ACM, 2020. Tarievenbesluit warmteleveranciers 2020. Den Haag, Autoriteit Consument & Markt (ACM).

Arcadis, 2020. Actualisatie investeringskosten energiebesparende maatregelen bestaande woningbouw 2020. Arnhem, Arcadis Nederland B.V.

Berenschot, 2018. Systeemconsequenties Ecovat: Kwantificering van kosten voor netverzwaring en piekcentrales. Utrecht, Berenschot Groep B.V.

CE Delft. 2021. *Warmtetechnieken : Factsheet Zonneboiler* [Online]. Available: https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/04/22_Factsheet-Zonneboiler_DEF.pdf [Accessed 2022].

Consumentenbond. lopend. *Zonnepanelen kopen: waar let je op?* [Online]. Available: <https://www.consumentenbond.nl/zonnepanelen/kiezen#no4> [Accessed Maart/10/2022].

DAREL. 2019. *Grootschalige zonthermie voor warmtenetten : Presentatie Duurzaam Verwarmd Seminar Expo Haarlemmermeer* [Online]. Available: [file:///117vsfile/downloads\\$/HVDP/Downloads/ZonthermievoorWarmtenetten_presentatie_DuurzaamverwarmdSeminar_20Mrt2019v1.pdf](file:///117vsfile/downloads$/HVDP/Downloads/ZonthermievoorWarmtenetten_presentatie_DuurzaamverwarmdSeminar_20Mrt2019v1.pdf) [Accessed].

de Keizer, Bottse & de Jong, 2018. Pvt benchmark: An overview of pvt modules on the European market and the barriers and opportunities for the Dutch Market. SEAC.

Ecovat. 2019. *Siza stopt aanleg duurzaam Ecovat-systeem in Het Dorp* [Online]. Veghel: Ecovat. Available: <https://www.npex.nl/wp-content/uploads/2020/06/Siza-stopt-aanleg-duurzaam-Ecovat-systeem-12-juli-2019.pdf> [Accessed 2022].

Ecovat. lopend. *Hoe werkt het Ecovat?* [Online]. Available: <https://www.ecovat.eu/over-ecovat/werkingsprincipe-energie-opslag/> [Accessed Februari/7/2022].

Eneco. 2018. *Routekaart verduurzaming Stadswarmte Utrecht/Nieuwegein* [Online]. Eneco. Available: <https://nieuws.eneco.nl/services/downloadfile.php?f=routekaartverduurzamingstadswarmteutrecht.pdf&uid=508398&hash=3ec9b02533633c9c6170007d67a07abea2ad3a94> [Accessed].

Gemeente Utrecht, 2021. Ruimtelijke strategie Utrecht 2040. Utrecht, Gemeente Utrecht.

Greenvis, 2021. Rapportage verdieping potentie warmtebronnen Gemeente Utrecht. Utrecht, Greenvis B.V.

Milieu Centraal. lopend-a. *Kosten en opbrengst zonnepanelen* [Online]. Available: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/zonnepanelen/kosten-en-opbrengst-zonnepanelen/> [Accessed Oktober/26/2021].

Milieu Centraal. lopend-b. *Zonneboiler* [Online]. Available: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-warm-water/zonneboiler/> [Accessed December 2021].

PBL, 2021. Eindadvies basisbedragen SDE++ 2021. Den Haag, PBL.

SDH. 2012. *Solar district heating guidelines : Where to place the solar collectors Chapter Preliminary investigations , version 2.2.3* [Online]. Available: https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/04/SDHtake-off_SDH_Guidelines.pdf [Accessed].

SPAARGas. 2020. *Open begroting (TCO) duurzame wijk (30 sept 2020)* [Online]. Available: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1y6TESAG7b3XTYoT29-XW-d4yIfKWS3oDHvOUbucORx8/edit#gid=347642395> [Accessed februari/17/2022].



TKI, 2020. DeZONNET: Lage temperatuur feed-in ZonneWarmteNet.

TNO, 2020. Effect afbouw salderingsregeling op de terugverdientijd van investeringen in zonnepanelen. Amsterdam, TNO.

Triple Solar. lopend. *Kosten, subsidies en financiering* [Online]. Available: <https://triplesolar.eu/kosten-en-financiering/> [Accessed Februari/7/2022].

Tschopp, Tian, Berberich, Fan, Perers & Furbo, 2020. Large-scale solar thermal systems in leading countries: A review and comparative study of Denmark, China, Germany and Austria. *Applied Energy*, 270, 114997.

Warmtepomp. s.d. *Thermische zonne-energie met warmtepomp* [Online]. Available: <https://warmtepomp-weetjes.nl/gerelateerd/thermische-zonne-energie-met-warmtepomp/#:~:text=Het%20principe%20is%20eigenlijk%20heel,de%20temperatuur%20in%20de%20tank>. [Accessed Februari/17/ 2022].

A Bijlage

A.1 Tarieven warmte

Tabel 6 - Tarieven warmtelevering Eneco

Tarieven Eneco voor 2022 (incl. btw)		
Variabele kosten €/GJ	€	43,76
Vaste kosten €/jaar	€	403,58
Meettarief €/jaar	€	26,83
Huur afleverset CW4 €/jaar	€	125,50
Totaal bij verbruik van 28 GJ*	€	1.781,19
Totaal incl. extra heffingskorting van €265,-	€	1.516,19

* Voor Eneco geldt dat het gemiddelde jaarverbruik van de klanten uitkomt op 28 GJ.

A.2 Tarieven elektriciteit en gas

De onderstaande kosten zijn de huidige kosten voor elektriciteit die aanbieders nu aanbieden. We nemen een gemiddelde prijs van 0,52 euro per kWh voor elektriciteit en een gemiddelde prijs van 2,25 euro per m³ gas.

Energieleverancier	Stroom (per kWh) januari 2022	Gas (per m ³) januari 2022
1. BudgetEnergie	€ 0,446	€ 1,778
2. Delta	€ 0,695	€ 2,699
3. Eneco	€ 0,691	€ 2,775
4. Energiedirect.nl	€ 0,505	€ 2,238
5. Engie	€ 0,693	€ 2,757
6. Essent	€ 0,505	€ 2,238
7. Greenchoice	€ 0,467	€ 2,051
8. NLE	€ 0,600	€ 2,090
9. Oxxio	€ 0,693	€ 2,785
10. Powerpeers	€ 0,330	€ 1,995
11. Pure Energie	€ 0,489	€ 2,247
12. Vandebron	€ 0,503	€ 1,842
13. Vattenfall	€ 0,425	€ 1,994
14. Vrijopnaam	€ 0,482	€ 2,743
15. United consumers	€ 0,459	€ 2,336
16. Innova Energie	€ 0,377	€ 1,429
17. OM Nieuwe Energie	€ 0,436	€ 2,190
Gemiddelde	€ 0,52	€ 2,25

[Overstappen.nl](https://overstappen.nl): [Energietarieven](#) [Vergelijk energietarieven](#) en [stap eenvoudig over](#)