

Bespiegelingen op een drievoudige oogst

Focusdocument Warmtetransitie met geconcentreerde zonthermie

Vereniging voor Zonnekrachtcentrales

Reeuwijk, 11 maart 2021



Managementsamenvatting: 3X3

Woningen + Utiliteitsbouw + Industrie

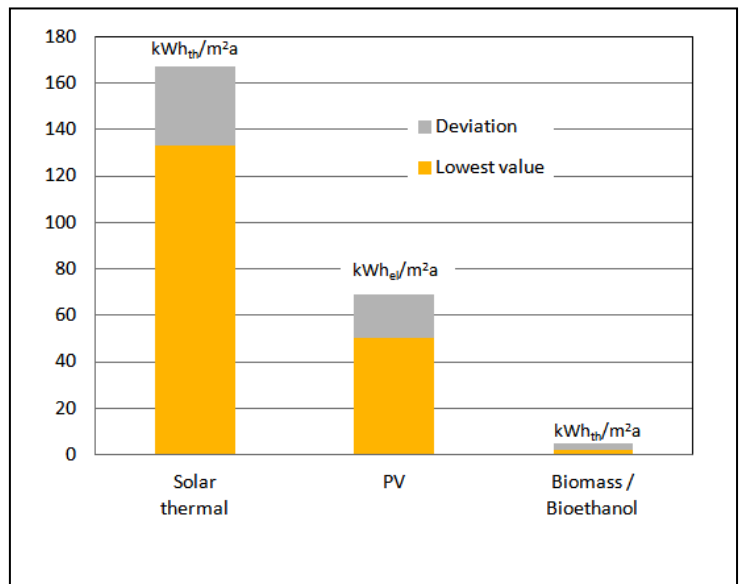
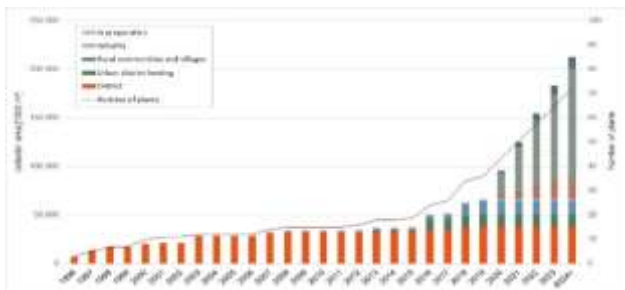
Warmte + Elektriciteit + Stoom

Tot 3X zoveel energie oogsten per vierkante meter;
milieuvriendelijke nacht- en seizoensopslag

Sietse de Haan (voorzitter)

ir. Christiaan Bartels

drs. ing. Edward Uittenbroek



Vereniging voor
Zonnekracht
Centrales



Voorwoord

door drs. ing. E.J.D. Uittenbroek,
milieukundige (specialisme energie), oppervlaktetechnicus

Vierhonderd kilometer ten noorden van Stockholm zal de eerste zonnespiegelcentrale van Zweden verrijzen. Opmerkelijk, want er worden zelfs geen satellietgegevens bijgehouden van de zoninstraling aldaar. Anderzijds logisch, aangezien ook Zweden zich gesteld ziet voor de opgaven van de energietransitie, waarbij de warmtetransitie net als in iedere moderne economie veruit dominant is. Hoewel ruim zes breedtegraden noordelijker gelegen dan Nederland, zetten de Zweden dus toch in op binnenlandse warmte-oogst. Evenals met aardwarmte is de energie zo binnen het eigen territorium verkrijgbaar. Het Deense voorbeeld van districtsverwarming (met kleinschalige industriële toepassing van het warmteoverschot) 475 kilometer noordelijk van Hamburg zal de Scandinaviërs ongetwijfeld geïnspireerd hebben. Met het Institute of Solar Research 130 kilometer oostelijk van Maastricht, heeft de Noordzeeregio een onderzoeksinstituut binnen handbereik. De kunst kunnen we inmiddels om ons heen afkijken. Qua temperatuur is rond onze breedtegraad tot wel 380 graden Celsius haalbaar, blijkens de opstelling in Oostende. Voor Antwerpen ligt er een kans om op 2% (200 hectare) van het haventerrein 10% van de benodigde warmte te gaan oogsten. Business case calculaties, praktijkkennis, onderzoek, ervaring en ambitie zijn dus voldoende voorhanden in de Noordzee- en Oostzeeregio. Dit focusdocument is er slechts voor de nog benodigde bekendheid.



Behalve enkele particuliere “achtertuinmodellen” in Zuid-Holland en Noord-Brabant en een proef op Texel is er in Nederland momenteel (stand maart 2021) nog slechts een enkel initiatief, dat thans bij een kersverse opleidingscampus in gang gezet wordt. Dit zou een mooie spin-off voor de toekomst kunnen opleveren: het benutten van de schoolomgeving als openluchtpracticum om een nieuwe generatie energietechnici op te leiden. Hopelijk nog op tijd: Brunel/Oilandgasjobsearch.com stelt in het Energy Outlook Report 2021 dat ruim een derde van de werknemers overweegt om over te stappen naar het werkveld hernieuwbare energie. En dat rapport is naar eigen zeggen gebaseerd op onderzoek onder 22.000 vakmensen!

Er is in de Noordzeeregio potentieel van zonnespiegeltoepassingen, voor een warmtevraag tot zeker 350 graden Celsius. Logisch, aangezien de energieopbrengst per dakoppervlakte bijna driemaal die van zonnepanelen bedraagt die bovendien gevoeliger zijn voor wolkenvelden. Thermische nacht- en seizoensopslag zijn ook nog eens voordeliger en milieuvriendelijker te realiseren vergeleken met elektriciteits-opslag. Ook in het hogere temperatuurbereik dan voor gebouwverwarming is opslag mogelijk.

Ook in Rotterdam is volgens De Standaard belangstelling voor Concentrated Solar Thermal CST. Dat meldt C. Meeussen in een artikel getiteld “Zijn 200 hectare zonnespiegels in haven mirakeloplossing?” (2 november 2020): een uitbreiding ter grootte van 200 hectare zou 10-12% aardgasbesparing kunnen opleveren in het havengebied van Antwerpen. (afb.: wikipedia/TweedeMaasvlakte)



De Randstad, met maar liefst een derde van het Nederlandse stedelijk gebied op slechts een zesde van de oppervlakte, is net zo goed een belanghebbende in geconcentreerde zonthermie als de vijf energie-intensieve energieclusters zoals Chemelot en Vlissingen-Terneuzen. En gelukkig is zonlicht “gratis”, want bij de nagestreefde energietransitie moet geconcentreerd worden met voordelig Russisch aardgas...

De gemeentelijke warmtetransitievisies die in 2021 opgesteld gaan worden in aansluiting op de dertig Regionale Energie Strategieën maken Concentrated Solar Power – zowel elektrisch als thermisch - volop actueel. Des te meer, omdat de warmtevraag de grootste portie is van de gehele energietransitie en zonthermische gebouwverwarming eventuele netverzwaring omwille van warmtepompen deels overbodig zou kunnen maken.

Inzet boven: Praktijkreferentie in de Electrical Experimenter van januari 1919. Op de Wereldtentoonstelling van 1878 te Parijs was al ijsproductie met geconcentreerde zonthermie gedemonstreerd. Desondanks is rond de navolgende eeuwwisseling wereldwijd voor kolenstook gekozen (de Franse overheid staakte zelfs de onderzoeksfinanciering).

De zon levert thans in een uur het hedendaags jaarlijks energiegebruik.



Inhoud

1. Inleiding
2. Warmtevraag
3. De mogelijkheden van Concentrated Solar Thermal in Nederland
4. Warmteaanbod
5. Warmteopslag
6. Financiële aspecten
7. Een aanvullende focus op warmtetransitie
(samenvattende conclusie)
8. Literatuurlijst
9. Bijlage met voorbeelden uit België, Duitsland,
Denemarken en Zweden



Trogspiegelvariant van Concentrated Solar Thermal bij ADPO te Antwerpen. Deze CST-installatie levert warmte in de vorm van stoom van 140 graden Celsius en hoger voor firma ADPO die daarmee opslagtanks reinigt en viskeuze vloeistoffen minder stroperig maakt. De jaarlijkse opbrengst bedraagt ongeveer 500 MWh. Voor de warmteopslag in een Thermal Equalizer is er een Belgisch-Nederlandse samenwerking (ondersteund door Crossroads Sustainable Energy, Interreg Vlaanderen-Nederland) op basis van Design, Finance, Build, Maintain & Operate, zie hoofdstuk Financiën.

In de haven van Antwerpen heeft Azteq (de leverancier van de afgebeelde spiegelcentrale) 200 hectare gespot (nog geen 2% van de totale oppervlakte) voor mogelijke overdekking van parkeervelden, strookjes langs spoorlijnen of andere loze ruimtes. “Als ik die mag benutten, kunnen wij 10 tot 12% van het aardgasverbruik van het Antwerpse havengebied besparen”, is de boodschap naar buiten. “We zijn niet een concurrent van zonnepanelen, wel van aardgas.”

Het mobiliseren van de beschikbare kennis ten behoeve van de WTV Warmtetransitievisies en RES Regionale Energiestrategieën kan een schat aan lokale oplossingen ontsluiten voor tal van warmtevraagstukken.

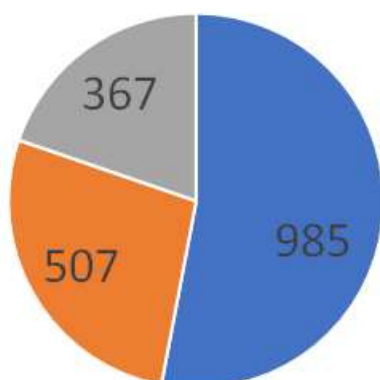
(Foto: www.Azteq.be)



Inleiding

Zonthermie staat in Nederland nog niet hoog op de agenda. Dat is des te opmerkelijker omdat de warmtevraag de grootste portie is van de gehele energietransitie, zie figuur 1. De traditionele zonnecollectoren ziet men hier en daar; ook de vacuümbuizen zijn redelijk bekend. Hoewel Concentrated Solar Power (CSP) inmiddels bij energiedeskundigen bekend is, wordt het in Nederland vaak buiten beschouwing gelaten. Dit focusdocument richt

Finaal energieverbruik in NL 2019
Totaal: 1.859 PJ



*Figuur 1: Finaal energiegebruik in Nederland 2019.
(bron TNO 2020, Warmtemonitor 2019, o.b.v. CBS)*

daarmee het rendement te verhogen met CST: Concentrated Solar Thermal. Het andere voordeel van deze techniek is bovendien dat de warmte gemakkelijk en goedkoop opgeslagen kan worden, zeker voor kortere periodes maar

ook seizoensopslag is mogelijk.



Figuur 2: Compacte twee-assige 360° zonzonvullende zonthermische collector. Deze spiegel kan 3.000 kWh_{th} van 50 graden Celsius leveren; omgerekend 11 GJ, 450 m³ aardgas of 300 L diesel. De spiegels hebben een gezamenlijke oppervlakte van 4,3 m². Grotere schotelspiegels zijn vaak uitgerust met een stirlingmotor en wekken elektriciteit op. (Foto: TCT, Thermal Cooling Technology)

CSP is een techniek die warmte oogst door in eerste instantie het zonlicht te concentreren (met een factor 80 of meer). Voordelen zijn: compacte warmteproductie met een groot temperatuurbereik, eenvoudige opslag en hoge opbrengst per oppervlakte. Een buitenkans dus voor de energie-intensieve en dichtbevolkte economieën rond de Noordzee. Er is volop ervaring mee, tot honderden kilometers noordelijk van Groningen.

Bij CSP wordt de warmte vaak gebruikt om stoom te maken waarmee vervolgens elektriciteit opgewekt wordt. Omdat bij CSP de grootste verliezen optreden bij de stap van stoom naar elektriciteit, is het nuttig om die stap weg te laten om

ook seizoensopslag is mogelijk.

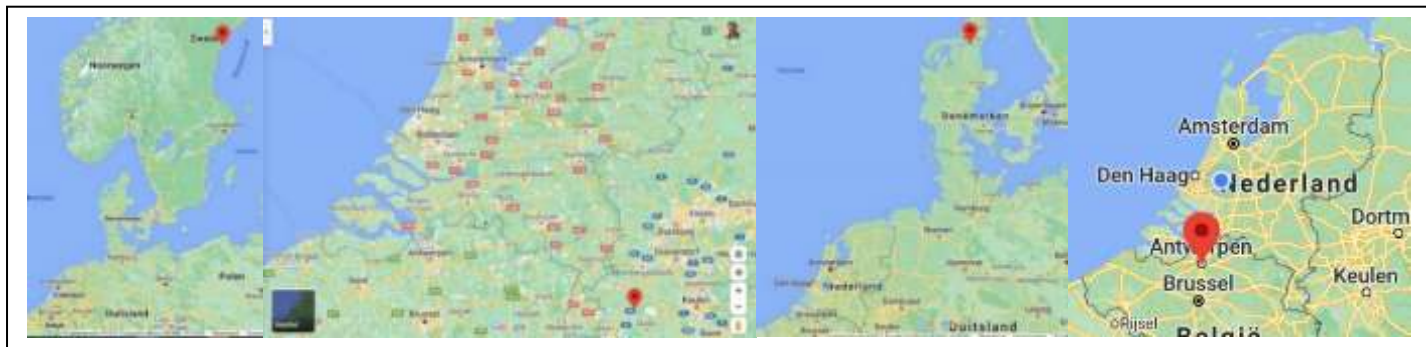
De voordelen zijn evident: met zonthermie kan op eenzelfde oppervlak meer energie geoogst worden dan met PV-zonnepanelen in de vorm van elektriciteit. Een studie van Fraunhofer ISE (2017) die de jaarlijkse energieopbrengst per vierkante meter vergelijkt, heeft aangetoond dat zonnecollectoren gemiddeld bijna drie keer zoveel kilowattuur produceren op eenzelfde oppervlak dan fotovoltaïsche (PV) zonne-energie. Bij Concentrated Solar Thermal CST is dat verschil nog groter en is bovendien het temperatuurbereik groot, daardoor zijn de toepassingsmogelijkheden ook breder. Zie ook tabel 2.

Aan zonthermie wordt de laatste tijd in diverse rapporten wel degelijk een rol toebedeeld hoewel er ook nog diverse obstakels genoemd worden. Berenschot (2018) komt tot een potentieel van bijna 100 PJ in 2050 hetgeen door TNO onderschreven wordt (TNO, 2020).



En CE Delft besteedt aandacht aan verschillende opties voor thermische seizoensopslag in het “Verkenkend onderzoek zonthermie in Zuid-Holland”, eindrapportage (november 2020). Op opslagmogelijkheden wordt in dit focusdocument ook ingegaan (zie hoofdstuk 5), maar vooral op de elders onderbelichte zonnespiegeltoepassingen.

De Warmtetransitievisies en de Regionale Energiestrategieën in 2021 zijn volop actueel. Het is dus van groot belang om een actueel informatief document paraat te hebben over CST-technologie, die in Nederland onderbelicht is.



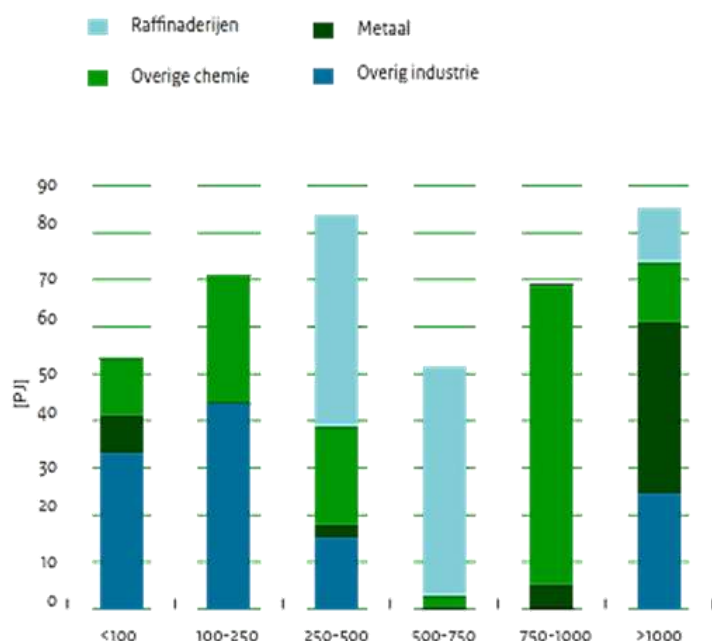
Figuur 3: Enkele locaties van CST-centrales in ons omringende landen. (afbeeldingen Google maps)

De in aanbouw zijnde zonnecentrale in Zweden (Härnösand), de ervaringen uit Denemarken (Taars, Thisted, Brønderslev) en België (Oostende, Genk, Antwerpen) plus de nabijheid van het Institute of Solar Research Keulen en Wetenschapspark ‘EnergyVille Thor’ te Genk bieden ruimschoots business case calculaties, kennis, onderzoeksgegevens en praktijkdata voor verdere uitrol van geconcentreerde zonthermie in de Noordzeeregio. Zie ook de bijlage met voorbeelden.

Centrale stelling van dit focusdocument is: zonthermie en in het bijzonder Concentrated Solar Thermal (CST) kan een belangrijke bijdrage leveren aan de warmtetransitie, dit naar de voorbeelden van Denemarken, Zweden, België en Duitsland.

Warmtevraag

In figuur 4 is te zien wat de warmtevraag van de industrie in Nederland is. De industriële toepassingen waar geconcentreerde zonthermie te gelde gemaakt kan worden zijn talloos, bijvoorbeeld pasteuriseren/ steriliseren (80-



Figuur 4: Warmtevraag van de industrie. (bron: Agentschap.nl, 2013)

150 °C), diverse droogprocessen (110-240 °C) en destillatie (110-400 °C). De toepassingen voor temperaturen van 50 tot 350 graden Celsius zouden in principe door CST bediend kunnen worden. Het voordeel van toepassingen in de industrie is het feit dat de warmtevraag het gehele jaar door vrij constant is, terwijl dat in de gebouwde omgeving niet het geval is. Dat betekent dat bij toepassingen in de gebouwde omgeving en warmtenetten een nog groter beroep gedaan moet worden op warmte-opslagsystemen.

Er is niet alleen een grote behoefte aan warmte voor woningen, die overigens voor een groot deel met warmtepompen, WKO-systemen (warmte/koude-opslag), geothermie en aquathermie afgedekt kan worden. Het is vooral de industrie die een enorme warmtevraag heeft in het hogere

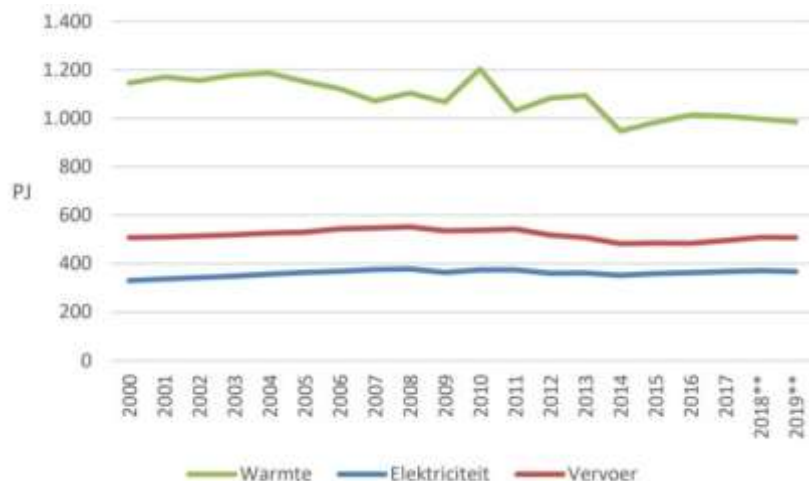
temperatuurbereik. Figuur 4 geeft de industriële warmtevraag weer, tabel 1 die van de bebouwde omgeving, industrie, landbouw, afval/water.

	2015	2016	2017	2018**	2019**
<i>In PJ</i>					
Gebouwde omgeving	465	480	473	471	459
Industrie	412	423	428	420	420
Landbouw	97	100	98	97	97
Afval & water	9	9	9	8	8
Totaal	982	1012	1007	995	985
%					
Gebouwde omgeving	47	47	47	47	47
Industrie	42	42	42	42	43
Landbouw	10	10	10	10	10
Afval & water	1	1	1	1	1
Totaal	100	100	100	100	100

Tabel 1: Finaal energiegebruik voor warmte naar sector. (bron: TNO Warmtemonitor 2019, 2020, tabel 2.1, p. 12)



In het algemeen wordt aangenomen dat het elektriciteitsgebruik zal toenemen en daarmee de warmtevraag iets af



Figuur 5: Finaal energiegebruik naar toepassing.
(Bron: CBS-TNO 2020, Warmtemonitor 2019)

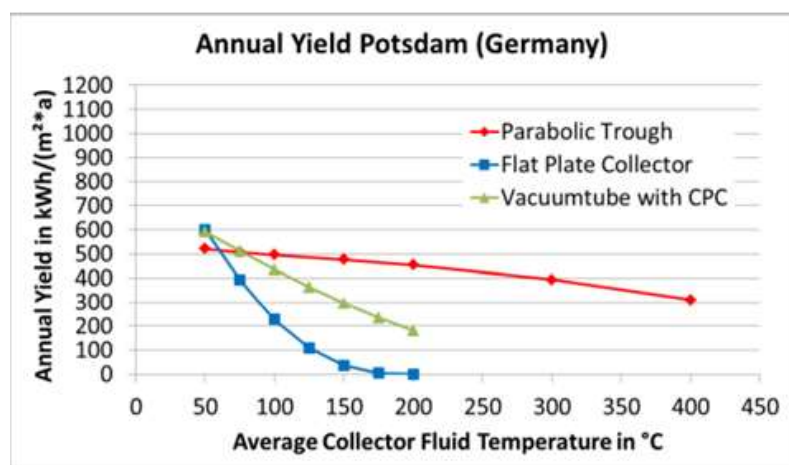
zal nemen, als gevolg van het gebruik van elektrische auto's en warmtepompen. Over de laatste twee decennia is al een trend zichtbaar naar relatief minder energie voor warmte en relatief meer voor elektrische toepassingen (TNO, 2020). Desondanks blijft de energiebehoefte in de vorm van warmte veruit dominant.

N.B. Het vraagstuk van de lokale en regionale/landelijke elektriciteitsnetbelasting bij toenemende elektriciteitsvraag valt buiten het bestek van dit focusdocument.



De mogelijkheden van Concentrated Solar Thermal in Nederland

Concentrated Solar Thermal kent vele verschijningsvormen en daarmee vele toepassingsmogelijkheden. De belangrijkste karakteristieken naast de prijs zijn de opbrengst per vierkante meter per jaar en de temperaturen waarin deze warmte geleverd kan worden. Zo zijn temperaturen mogelijk die gangbaar zijn bij tal van thermische industrieprocessen. Ook is een voordeel dat legionella-veilig tapwater geleverd kan worden, naast uiteraard warm water voor de centrale verwarming en lauwwarm water voor vloerverwarmingen (zoals ook zonnecollectoren dat kunnen).



Figuur 6: Jaaropbrengsten bij diverse afnametemperaturen van vlakke plaatcollectoren, vacuümbuizen en trogspiegels, vergeleken nabij Berlijn. (Bron: Solar Paces conference paper DLR, Universität Stuttgart 2020)

Omdat CST in de vorm van een torencentrale de hoogste temperaturen oplevert, is die het meest geschikt voor de opwekking van elektriciteit. Het levert een hoger rendement van de elektriciteitsopwekking dan gangbaar is bij de lagere temperaturen van andere zonthermische systemen.

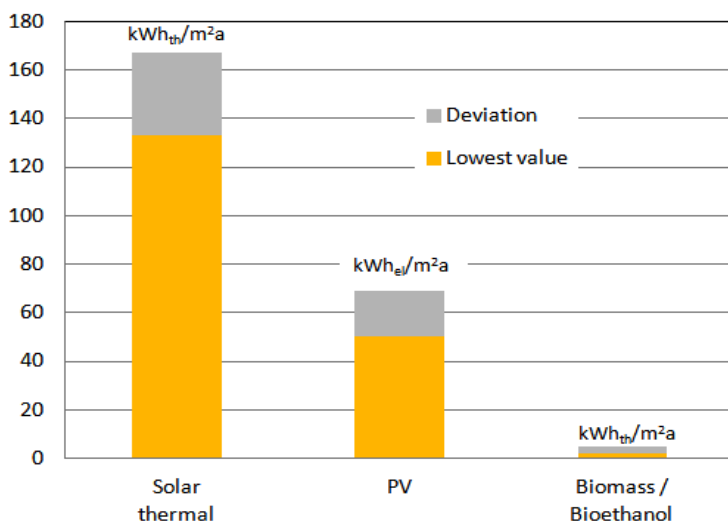
Legionellaveilig tapwater, heet industrieel proceswater en stoom vallen binnen het toepassingsbereik van trogspiegels. Opvallend aan figuur 6 is niet alleen het enorme bereik van de trogspiegel op onze breedtegraad, maar ook het horizontale verloop van de rode lijn die de jaaropbrengst weergeeft. De prestaties van vlakke plaatcollectoren en vacuümbuizen blijken veel meer

afhankelijk te zijn van de gevraagde temperatuur.

Fraunhofer (2017) heeft een vergelijkend onderzoek gedaan waarvan het resultaat is samengevat in figuur 7. Wat in één oogopslag duidelijk wordt, is dat er per vierkante meter veel meer energie in de vorm van warmte geoogst kan

worden dan in de vorm van elektriciteit. Daarom is het des te opmerkelijker dat er doorgaans wel aandacht is voor zonneweides, maar dat zonthermie op bijvoorbeeld industriedaken nog aan bod moet komen in Nederland. In de verkenning van CE Delft (november 2020) en de Aanzet tot Routekaart Zonnewarmte van TNO (juni 2020) wordt dit onder andere verklaard door de geringe praktijkervaring binnen de landsgrenzen. In Duitsland daarentegen heeft zonthermie de laatste vijf jaar een enorme vlucht genomen (DTU, 2020).

Figuur 7: Vergelijkend onderzoek naar de energieopbrengst per gebruikte oppervlakte. (Fraunhofer ISE, 2017)





Prestaties van diverse varianten van Concentrated Solar Thermal									
	Warmte-opbrengst per apertuur-oppervlak* bij 100 graden Celsius	Warmte-opbrengst per grond-oppervlak	Warmte-opbrengst per apertuur-oppervlak	Concentratie-factor	Temperatuurbereik	Dubbel gebruik grond mogelijk	Warmte-opslag	Verhouding grond-oppervlak / apertuur-oppervlak	Referentie (zie ook de bijlage)
	kWh/m ² · a	kWh/m ² · a	GJ/m ² · a	-	°C	ja/nee	ja/nee	-	
Torencentrale	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	300 - 1.500	250 - 1.200	nee	ja	6	NREL
Parabolische trog	550	185	2,0	10 - 85	50 - 400	ja	ja	3	DTU (2015)
Fresnel-spiegels	Voor NL niet bekend	Minste ruimtebeslag	Voor NL niet bekend	10 - 80	<300	Ja	Ja	1,5	Areva (fabrikant)
Solar dish / Compacte schotel	530	210	2,5	600 – 2.000	<200	ja	ja	2,5	Axe (leverancier)
Vlakke plaat collector	360**	160	1,3	1	30-80	ja	ja	2,3	NL
PV ter vergelijking met thermisch	170***	65	0,6	1	n.v.t.	ja	nee	2,6	NL
* apertuur-oppervlak = effectieve oppervlak dat het zonlicht opvangt (werkzame oppervlak) **Bij 75 graden Celsius omdat vlakke plaat meestal niet ingezet wordt boven deze temperatuur ***kWh _{el} uitgaande van 3.000 Wp-panelen									
De trogspiegel volgt rechtstreeks uit de gegevens van Denemarken (DTU 2015). Omdat het ruimtebeslag nogal afhankelijk is van lokale omstandigheden, moet "Verhouding grondoppervlak tot apertuuroppervlak" (kolom 9) en daarmee "Warmte-opbrengst per grondoppervlak" (kolom 3) met voorzichtigheid bekeken worden.									
Gele kolom: de prestaties zijn omgerekend, afgelezen, berekend of bekend uit de praktijk voor Nederland (meetstation Cabauw bij Utrecht).									

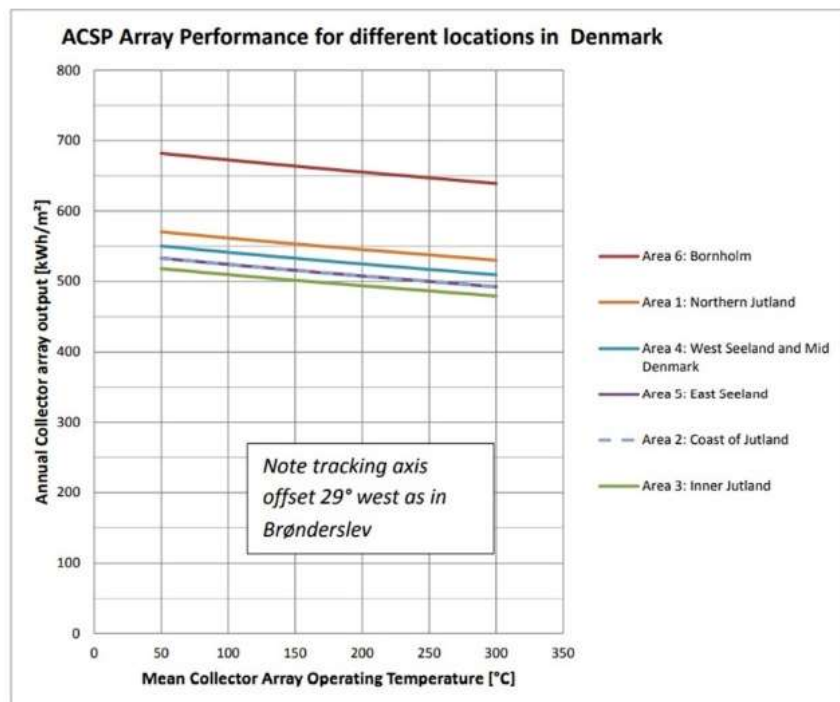
Tabel 2: Prestaties diverse Concentrated Solar Thermal systemen in vergelijking met vlakke plaat en PV.

Omdat in deze tabel in de gele kolom de gegevens voor Midden-Nederland (meetstation KNMI Cabauw, Utrecht) weergegeven zijn, is de exacte opbrengst op een andere locatie nog afhankelijk van de zoninstraling (te weten de DNI: Direct Normal Irradiation, omdat die het meest bepalend is voor de centrales met zonlicht concentrerende systemen).



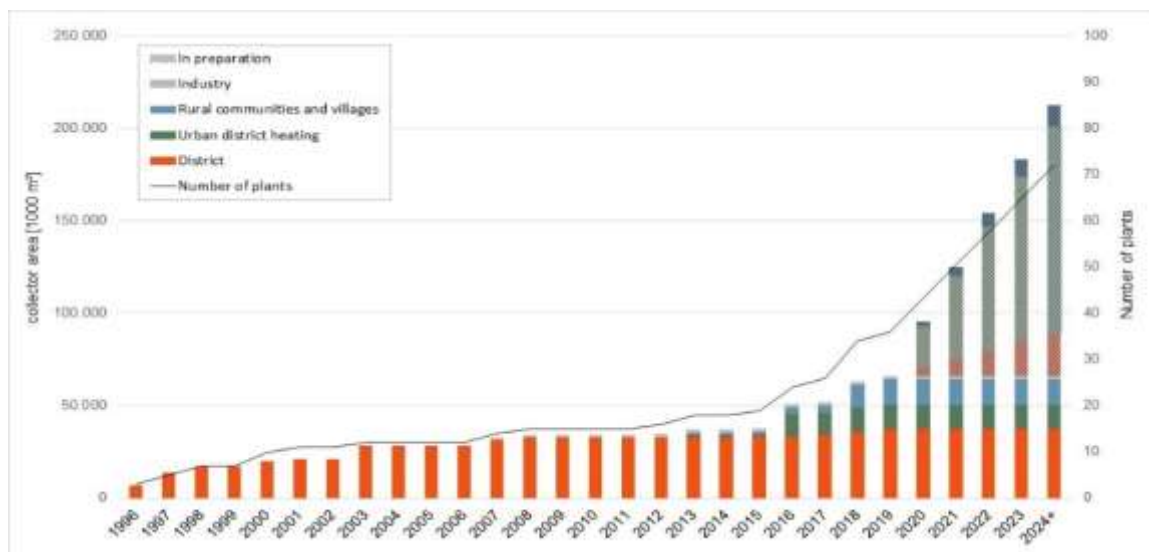
Warmte-aanbod

Zonlicht, de bron van zonthermie, is onuitputtelijk. Nederland blijkt gunstig genoeg te liggen voor het benutten van deze overvloed ook voor geconcentreerde zonsystemen. Het hoeft slechts geoogst te worden. Ter oriëntatie: het KNMI-meetpunt Cabauw nabij Utrecht bevindt zich tussen de blauwe en de oranje lijn van figuur 8.



Figuur 8: Jaarlijkse collectoropbrengsten in kWh/m² op diverse plaatsen in Denemarken. (Bron: DTU, 2015)

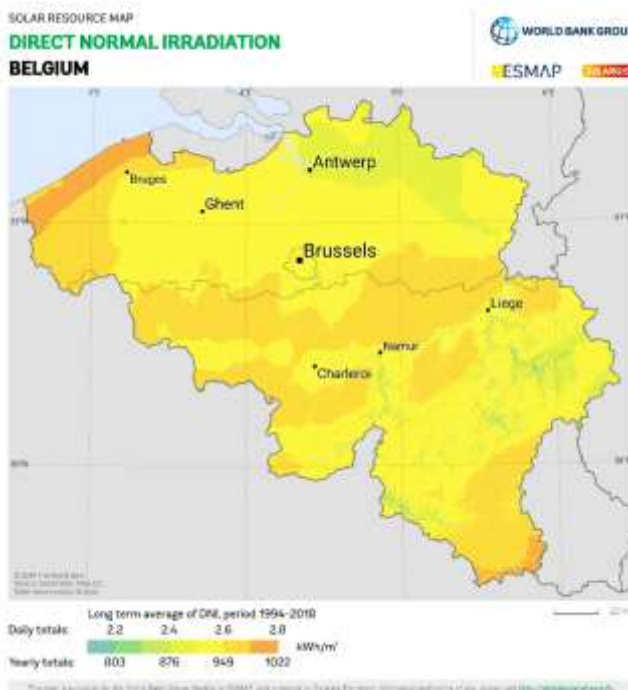
worden de mogelijkheden volop onderkend. Brancheorganisatie DCSP (Deutscher Industrieverband Concentrated Solar Power) schat dat de helft van de industriële warmte in Duitsland geleverd kan worden met zonthermie, zie figuur 9 met gespikkeld weergegeven de voorgenomen nieuwe plaatsingen sinds/vanaf 2020.



Figuur 9: Collectoroppervlak en aantal zonthermische systemen in Duitsland in de loop der jaren. (Bron: DCSP 2020)



Voor geconcentreerde systemen is direct zonlicht nodig. In figuur 10 en tabel 3 zijn de DNI-waarden (Direct Normal Irradiation) van Nederland en de zuiderburen aangegeven.



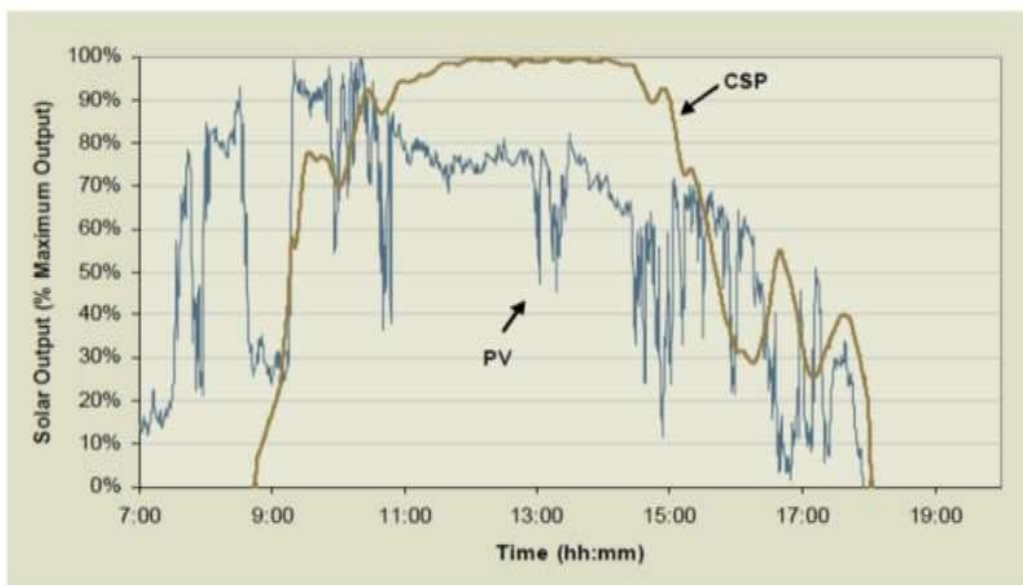
Figuur 10: DNI- zoninstraling (Direct Normal Irradiation) in Nederland en België zoals opvraagbaar in geografische informatiesystemen (hier: SolarGIS). De zuiderburen zijn vanaf Antwerpen in oostelijke richting iets slechter af. N.B.: Let bij het aflezen op het verschil in kleurschakering in de legenda's. (Bron: SolarGIS/ESMAP)

Land	laagste DNI in kWh/m ² ·a	hoogste DNI in kWh/m ² ·a
Denemarken	876	1.095
Nederland	840	985
België	803	1.022
Duitsland	803	1.168

Tabel 3: Direct Normal Irradiation voor vier Noordzeelanden. (bron: SolarGIS)

opbrengst bij 300 graden Celsius circa 5% minder te zijn in vergelijking met die bij 50 graden Celsius (DTU, 2015). Voor Nederland kan gerekend worden met een DNI van 840-985 kWh/m²·a (zie figuur 10 en tabel 3). Uit figuur 11 blijkt dat zonnespiegels ook bij bewolkt weer goed presteren. Dat verklaart ook dat er ondanks dat Nederland veel bewolking heeft en de DNI navenant laag is, toch een relatief goede opbrengst behaald wordt. De vergelijking betreft weliswaar CSP maar uiteraard geldt hetzelfde effect voor CST aangezien het hier de energieopbrengst van de spiegel zelf betreft ongeacht de navolgende toepassingsvariant. Overigens is inmiddels een specifieke meetopstelling in combinatie met een educatieve onderzoekopstelling in voorbereiding, waarover in een vervolgdocument nader bericht zal worden.

De DNI-waarden voor de vier in dit focusdocument genoemde landen zijn weergegeven in tabel 3. De opbrengst is uiteraard afhankelijk van de exacte locatie (schaduwwerking van omliggende bebouwing) en een beetje afhankelijk van de gewenste temperatuur. In Denemarken varieert de DNI tussen de 876 en 1.095 kWh/m²·a hetgeen zich rechtstreeks vertaalt in een opbrengst bij 100 graden Celsius van 410 tot 670 kWh/m²·a voor de parabolische trogspiegel. Bij ingestelde temperaturen tussen de 50 en 300 graden Celsius blijkt de



Figuur 11: Vergelijking van de opbrengst als percentage van de maximale opbrengst tussen een spiegeltoepassing (CSP) en zonnepanelen (PV), verdeeld over twaalf daglichturen.

(Bron: Black & Veatch Consultancy and Engineering, Kansas)

Compacte warmteproductie op daken

Een belangrijk aspect is nog het ruimtebeslag. Naast de opbrengst per vierkante meter apertuur (= netto



Figuur 12: Mogelijkheid tot plaatsing op daken. (Foto TCT, www.TrueSolarPower.com)

ontvangstopervlak) moet zeker in Nederland, waar de ruimte schaars is, gekeken worden naar de tussenruimte tussen de spiegels. (Dit is overigens ook een punt van aandacht voor PV-installaties, vandaar dat soms voor huishoudens aangeraden wordt de PV-panelen oost-west te plaatsen).

De meeste CST-installaties kunnen ook op daken geplaatst worden. Draagkracht van daken is bij iedere dakinstallatie een thema; bij CST-systemen is het vloeistofgewicht gering. Het is veeleer de borging voor de wind die een extra belasting voor het dak met zich meebrengt. Automatisch inklapbare zonnespiegelsystemen zijn inmiddels ontwikkeld.

Berenschot (2018) schetst in zijn Warmtescenario 39 PJ in 2030 en 94 PJ in 2050 als voorland, hetgeen onderschreven wordt door TNO (2020). Beide rapporten hebben CST niet in beeld en in de genoemde aantallen is dan ook maar een klein deel bestemd voor de industrie. Gezien het ruimere toepassingsbereik van geconcentreerde zonthermie ten opzichte van de thans meest gangbare niet-geconcentreerde systemen, lijkt een veel hogere inschatting gerechtvaardigd. Dit omdat geconcentreerde systemen ook temperaturen boven het kookpunt van water halen, zelfs tot 380 graden blijkens de opstelling in het Belgische Oostende.



In een flink deel van de industriële behoefte kan voorzien worden door uitbreiding van de toepassing met een klein percentage van het oppervlak van de industrieterreinen, deels door meervoudig gebruik van de ruimte. In de boxen hieronder staan verschillende typen van CST-opstellingen die op de markt zijn, ieder met zijn eigen specifieke eigenschappen. De Solar Tower is vooral geschikt voor elektriciteit.



Solar Tower (afb.: Jülich, 50 km oost van Sittard-Geleen)

Toren met soms wel duizenden heliostaten.

- Dubbel gebruik grond mogelijk
- Heliostaten draaien om twee assen
- Zonlicht wordt geconcentreerd op één punt
- Transportmedium: lucht, vloeibaar zout
- Temperatuur: tot boven de 1.000 graden Celsius



Solar dish/compacte schotel (afb.: Project Honda)

Geschikt voor bestaande cv-systemen als vervanging van aardgas. Uiteraard ook geschikt als warmtebron voor stadsverwarming of industrie. Afgebeeld is een vrij klein model voor warmteproductie (er zijn varianten voor elektriciteitsproductie).

- Draait om twee assen
- Spiegeloppervlakte 4,3 m²
- Schakelbaar
- Dubbel gebruik grond mogelijk, installatie op daken mogelijk
- Beschikbare warmte van 200 (Nederland) tot 250 graden Celsius



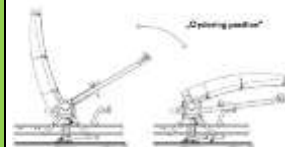
Parabolische trogspiegels (afb. Port of Antwerpen)

- Draait om één as
- Zonlicht wordt geconcentreerd op een lijn
- Transportmedium: water, synthetische olie, vloeibaar zout
- Karakteristieke temperatuur: tot 400 graden Celsius



Inklapbare stormvaste zonnespiegel (afb.: Sunoyster)

- Modulair systeem
- Tweeassige collector
- Inklapbaar (bij sterke wind)
- Plaatsbaar op dak





Fresnel-spiegels (afb.: Deutsche Industrieverband CSP)

Net als bij de trogspiegel volgen de spiegels de zon, echter de constructie bestaat uit lange repen vlakke spiegels in plaats van parabolische spiegels.

- Dubbel gebruik grond mogelijk, zoals op overkappingen
- Minder nauwkeurig
- Transportmedium: water, gesmolten zout
- Relatief weinig grondgebruik
- Vaak gebruikt voor direct stoom tot 100 bar

Fresnel-lenzen

Hetzelfde principe als fresnel-spiegels maar met kunststof lenzen.

- Factor lens/grondoppervlak: geen (de lens is als dakraam verwerkt in het dak en focuseert op de warmte afvoerende buis die vrijwel geen ruimte inneemt)
- Grondgebruik volledig beschikbaar (bijvoorbeeld bij inbouw in glasdak van tuinbouwkas)
- Doordat het oppervlak meestal kleiner is, is de opbrengst ook lager

Warmte-opslag: dag/nacht en over de seizoenen

Een groot voordeel van de zonthermie ten opzichte van PV-systemen is dat de gewonnen energie relatief goedkoop en milieuvriendelijk opgeslagen kan worden in een buffer voor een dag/nachtritme en seizoensritme zonder gebruik van elektrische accu's. Op deze manier kunnen warmtevraag en -aanbod op elkaar afgestemd worden. Tijdens de zomermaanden is er dikwijls een overschot aan warmteproductie. Dit overschot kan dan worden opgeslagen om op een later moment, bijvoorbeeld op een later tijdstip of een opeenvolgende dag met bewolking, afgegeven te worden.

Dit voordeel is uiteindelijk meervoudig. Het levert namelijk:

- flexibiliteit
- beschikbaarheid
- zekerheid
- schakelbaarheid

Financieel gezien leveren warmtebuffers ook een voordeel. Overtollige warmte die tijdens de zomermaanden niet afgenomen zou kunnen worden door de eindgebruiker (direct of via bijvoorbeeld een warmtenet) en normaliter weggekoeld zou moeten worden, kan op deze manier op een later moment afgegeven worden aan de eindgebruiker. Met andere woorden: deze warmte gaat niet verloren en kan volgens een zogenaamd HPA (Heat Purchase Agreement) alsnog verrekend worden.

Opslagsystemen hebben zich in de praktijk bewezen bij zogenaamde SDH-systemen, oftewel Solar District Heating. Dit zijn zonthermiesystemen die hun warmte aan een warmtenet afgeven. De buffer is hierbij direct aangesloten aan het warmtenet, zoals hieronder weergegeven. Een buffervat zoals in figuur 10 weergegeven, met een volume van 2.430 m^3 , gevuld met water en met een temperatuur van 78°C , heeft een capaciteit van:

$$Q = 2.430 * 1.000 * 4.180 * (78-38) = 406.300 \text{ GJ} = 113 \text{ MWh.}$$

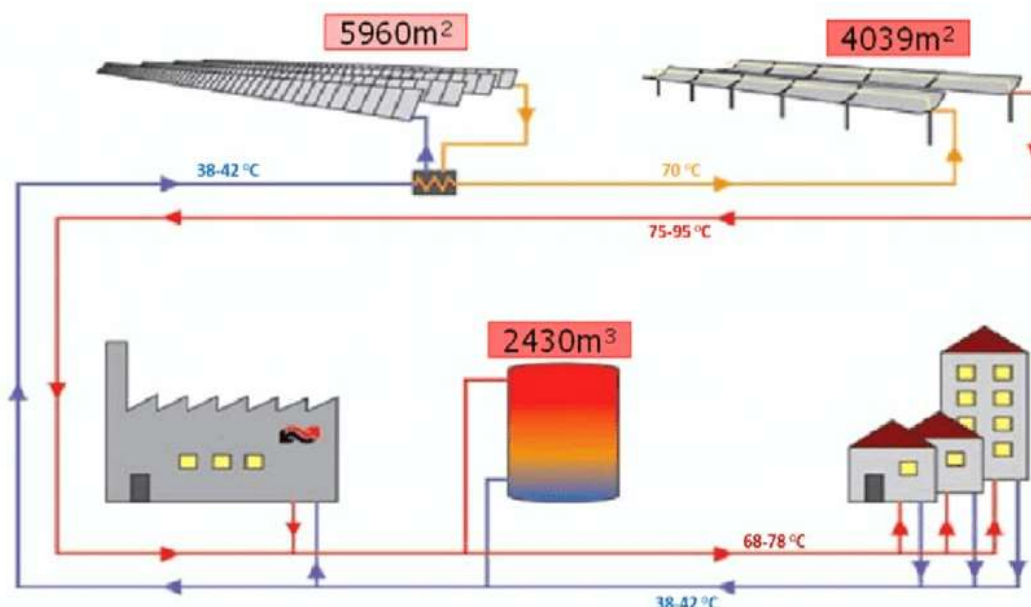
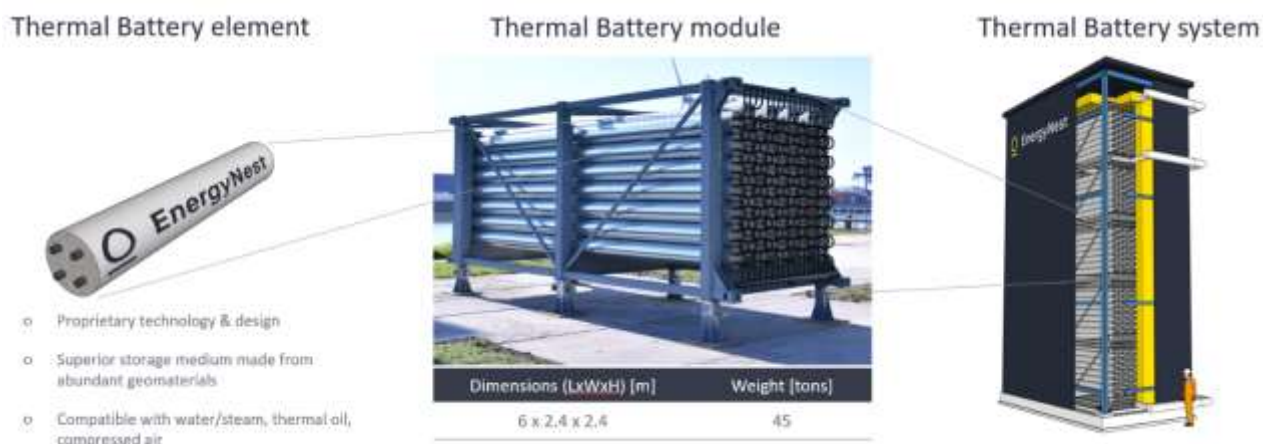


Fig. 13: Schematische weergave van een hybride SDH systeem. (bron: AalborgCSP.com)



Zowel de Topsector Energie TKI Urban Energy als het ministerie van Economische Zaken en Klimaat onderkennen de mogelijkheden van warmteopslag en hebben er diverse programma's voor. Ook CE Delft (2020) schenkt in de eindstudie naar potentie voor zonthermie in Zuid-Holland aandacht aan opslagmogelijkheden.

Opslag bij hogere temperaturen is eveneens mogelijk, zoals in het modulaire systeem van de Thermal Battery. Er wordt gebruik gemaakt van een speciaal type beton voor opslagtoepassingen bij hoge temperaturen, zie figuur 14. Dit opslagsysteem heeft capaciteiten die in ordegrootte variëren van MWh tot GWh. Het is compatibel met thermische oliën, water/ stoom en perslucht.



Figuur14: Thermische opslag, schakelbaar in grote aantallen. (Foto: Energy Nest)

Behalve beton zijn er nog enkele andere materialen die ook uitstekende eigenschappen hebben om warmte van hogere temperatuur op te slaan, zoals magnetiet, graniet, of fase-overgangsmaterialen (smelten – stollen).



Figuur 15: Zonthermische energiewinning door CST boven een bedrijfswagenparkeerplaats, gedeeltelijk boven een spoorlijn, gedeeltelijk onder een hoogspanningslijn, naast een hogedrukleiding van aardgas. Voor de thermische opslag is met een Nederlands bedrijf samengewerkt in een Crossroads Sustainable Energy project Interreg Vlaanderen-Nederland.

Financiële aspecten

In dit focusdocument wordt vooral ingegaan op de energetische opbrengst van geconcentreerde zonnewarmte in de Noordzee- en Oostzeeregio. In een vervolgdocument, dat gebaseerd zal zijn op Nederlandse situaties, kan op de euro-opbrengst ten opzichte van bijvoorbeeld zonnecollectoren en PV/warmtepomp-combinaties ingegaan worden, daarbij inbegrepen de oprichtingskosten, exploitatiekosten, ruimtegebruik en nageschakelde technieken zoals opslag. Duidelijk is dat de energietransitie alleen succesvol kan zijn als deze voor de burger en het bedrijfsleven betaalbaar is en de lusten en lasten rechtvaardig verdeeld worden, ook wat betreft ruimtegebruik en natuurwaarden. Combinaties van duurzame energietechnieken kunnen hier uitkomst bieden, zoals ook de Position Paper over zonnewarmte (Berenschot, november 2018, p. 25) beaamt:

Op plaatsen waar normaliter niet voldoende geothermie en restwarmte beschikbaar is of tegen te hoge kosten, kan met het plaatsen van zonnecollectoren in combinatie met seizoensopslag toch een warmtenet worden aangelegd. [...] Door zonnewarmte mee te nemen in deze plannen wordt de ruimtelijk en financiële impact voor zowel de eindgebruiker als de maatschappij minder. Bovendien kan de toepassing van zonnewarmte voor een versnelling in CO₂-reductie zorgen: het is immers in elke situatie toepasbaar, zowel voor een all-electric situatie als voor een situatie met warmtenetten. Hiermee kunnen ook al vóór 2021 met zonnewarmte stappen worden gezet in de energietransitie.

De Duitse brancheorganisatie DCSP (2020, p. 8) schat de toepassingsmogelijkheden van zonthermie voor de Duitse industrie gunstig in, mede dankzij het hogere temperatuurbereik ten opzichte van zonthermische vlakke plaatcollectoren.

Bei ähnlichen Investitionskosten ist davon auszugehen, dass konzentrierende Kollektoren eine vergleichbare oder - bei höheren Temperaturen - sogar deutlich bessere Wirtschaftlichkeit aufweisen als Flach- oder Vakuumröhrensysteme.

De conference paper van het Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. DLR en de Universität Stuttgart getiteld "Concentrating Solar Systems in Moderate Climates" (oktober 2020) stelt dat de kosten voor warmte geoogst met vlakke plaatcollectoren of CST-systemen redelijk vergelijkbaar zijn. Bovendien geeft de DLR aan dat diverse onderdelen zoals onder meer de receiverbuis de laatste jaren aan een snelle prijsdaling onderhevig zijn. Voor de toekomst wordt nog een aanzienlijke kostenverlaging verwacht. Van deze trends in CST zullen ook de proceswarmtecollectoren profiteren. Verder wordt gemeld:

For solar plants installed and commissioned costs for efficient collectors are reported 230 to 300 €/m² for field sizes of 10.000 m². Already at operation temperatures below 100 °C troughs can be competitive. Thus if stationary collectors are successful in a market there is the opportunity for parabolic trough collectors to succeed at least for solar field sizes from several 100 m² up.

Bovendien kunnen moderne aanbestedingsvormen zoals Design, Finance, Build, Maintain & Operate zoals in de infrasector toegepast worden uiteraard ook in de energiesector navolging vinden. In Antwerpen is dit bij geconcentreerde zonthermie al het geval. Projectontwikkelaars, woningbouwverenigingen en industriebedrijven kunnen gebruik maken van verduurzaming zonder kapitaalinvestering. Zonnespiegelparken zijn aldus aan te leggen waarbij de afnemer alleen hoeft te betalen voor de afgenomen warmte. Noch terreinaankopen, noch vastgoedverwerving, noch stichtingskosten komen eraan te pas. De ontmanteling is ook niet problematisch. Dat is te danken aan de lange levensduur van tientallen jaren, de goede verplaatsbaarheid en uiteindelijk bij einde levensduur goede recycleerbaarheid van de meeste materialen (vooral metalen en glas).

Een aanvullende focus op warmtetransitie (samenvattende conclusie)

Zonthermie en in het bijzonder Concentrated Solar Thermal (CST) kan in Nederland net als in de ons omringende landen aan de Noordzee en Oostzee een belangrijke rol spelen bij het behalen van de klimaatdoelstellingen. Direct warmte oogsten geeft niet alleen een drievoudige energieopbrengst per ingezet dak- of terreinoppervlak. Het biedt ook eenvoudiger mogelijkheden voor etmaal- of seizoensopslag in de vorm van warmwaterbuffers of fase-overgangsmaterialen (smelten – stollen).

Zowel individueel gebruik per woning als warmtenetten zijn voor de hand liggende eerste toepassingen in het licht van de van-aardgas-los campagne, waarvoor Verkenningsswijken reeds aangewezen worden. En de industrie kan tal van thermische processen met CST-warmte uitvoeren. In de openbare ruimte of op eigen terrein is dubbel ruimtegebruik denkbaar, bijvoorbeeld overkapping van parkeerterreinen. Tal van industriehallen met thermische processen onder eigen dak wachten op nuttig dubbel gebruik.

De voordelen zijn overduidelijk, en er is een schat van ervaring die teruggaat tot in de negentiende eeuw. Binnen Nederland is ook veel kennis voor handen, en nabij Keulen is het Institute of Solar Research beschikbaar als gerenommeerd kennisinstituut.

Aangezien meer dan de helft van de energievraag warmte betreft, lijkt vooralsnog een focus op dat segment voor de hand te liggen, aangezien geconcentreerde zonthermie nog een wereld te winnen heeft binnen de Nederlandse landsgrenzen. De belangstelling neemt hand over hand toe. Zeker tegen de achtergrond van de Regionale Energie Strategieën en de Warmtetransitievisies die in 2021 in alle gemeenten gefinaliseerd moeten worden, kon de doorbraak niet tijdsiger komen.

Zonnespiegels kunnen zowel warmte als stoom als elektriciteit opleveren. In de haven van Antwerpen heeft de leverancier van de spiegelcentrale 200 hectare gespot (2% van het totale oppervlak) door overdekking van parkeervelden en strookjes langs spoorlijnen en dergelijke waarmee 10-12% van het aardgasverbruik van de Antwerpse haven bespaard zou kunnen worden.

Concluderend kan gesteld worden:

1. Zonthermie en in het bijzonder Concentrated Solar Thermal CST kan dankzij de driemaal hogere energieopbrengst per gebruiksooppervlakte ten opzichte van elektrische zonnepanelen een belangrijke rol spelen in de energietransitie.
2. Door het zonlicht te concentreren blijven de prestaties tot hoge temperaturen van rond de 50-350 graden vrijwel hetzelfde hetgeen een breder toepassingsbereik mogelijk maakt dan bij zonnecollectoren.
3. Ondanks dat de benodigde directe zoninstraling in noordelijke gebieden geringer is dan in zonniger streken, blijkt uit ervaring in landen aan de Noordzee en Oostzee dat de opbrengst voldoende is om er rendabele projecten mee te realiseren.
4. Het mobiliseren van de beschikbare kennis ten behoeve van de WTV Warmtetransitievisies en RES Regionale Energiestrategieën kan een schat aan lokale oplossingen ontsluiten voor tal van warmtevraagstukken.

Slotwoord

Met dit focusdocument beoogt de Vereniging voor Zonnekrachtcentrales aan te sluiten bij de beleidsaanbevelingen die CE Delft in november 2020 meegaf in het Verkenning Onderzoek Zonthermie in Zuid-Holland, eindrapportage. Momenteel zijn nog geen binnenlandse exploitatieoverzichten voor handen. Een vervolgdokument zal hier nader licht op werpen, niet alleen wat betreft de energetische opbrengst maar ook de financiële aspecten. En dat wellicht gevolgd door een business case van een daaropvolgend Nederlands initiatief, waarvan er overigens al een 'in de pijplijn' zit.



Literatuur

1. [Warmtemonitor 2019](#) - Reinoud Segers e.a. – CBS – ECN part of TNO 25 augustus 2020
2. [Verkennd onderzoek](#) Zonthermie Zuid-Holland, Joram Dehens e.a., CE Delt, Delft november 2020
3. [Aanzet tot Routekaart Zonnewarmte](#), Luuk Beurskens e.a., TNO 2 juni 2020
4. [Solar Thermal Shows Highest Energy Yield Per Square Metre](#), Solarthermalworld 31 juli 2017
Oorspronkelijke bron: Fraunhofer ISES, PlanEnergi and Chalmers University
5. [Warmte en koude in Nederland](#), Nationaal Expertisecentrum Warmte
www.agentschapnl.nl/new Brochure AgentschapNL januari 2013
6. [Verification of high temperature performance for the 0.8 MW CSP test plant at Brønderslev](#), Bengt Perers e.a., DTU Civil Engineering-Report, augustus 2015
7. [Construction of largest Swedish Solar Districts Heat with parabolics](#), Solarthermalworld, Baerbel, december 2020
8. [Concentrated Solar Power in Nederland](#), afstudeerverslag, Dang Nguyen, HvA Liandon, mei 2019
9. [Grüner Dampf und grüne Prozesswärme - produziert mit solarthermischen Anlagen in Deutschland](#)
Positionspapier DCSP, 1 juni 2020
10. [Solar thermal is on the rise in German district heating networks](#), Euroheat, 1 augustus 2019,
11. [Zonneschotel voor warmte: hogere opbrengst en hogere temperaturen](#), Axe b.v., Riethoven, januari 2021
12. Concentrating solar systems in moderate climates, Dirk Krüger (DLR), Stephan Fischer (Uni. of Stuttgart) e.a. Conference paper Solar Paces oktober 2020. Op aanvraag beschikbaar.
13. [EnergyNest](#) Thermal Battery Technology
14. [Modulaire container slaat zonnewarmte op](#), Crossroads Sustainable Energy, Interreg Vlaanderen-Nederland, februari 2021
15. [Energy Outlook](#), 2021 Report, Brunel, Oil and Gas Jobsearch, februari 2021

Algemene informatie

16. [NREL National Renewable Energy Laboratories USA](#) Concentrated Solar Heat
17. [NREL National Renewable Energy Laboratories USA](#) Concentrating Solar Power Projects by Technology
18. [ESTELA brancheorganisatie CSTP](#)
19. [Institute of Solar Research](#) Linder Höhe | 51147 Köln



Bijlage met voorbeelden

België

Antwerpen (2019)

Azteq - [ADPO](#)

Trogspiegelinstallatie

Ongebruikelijke locatie: boven een spoorlijn, onder een hoogspanningskabel, langs een hogedrukgasleiding en gedeeltelijk boven een parkeerterrein.

Toepassing: Warmte (stoom) voor industrie, schoonmaak tank en verlagen viscositeit stroperige vloeistoffen.



Kenmerken:

- Spiegeloppervlakte: 1.100 m²
- Zonnepark uittredetemperatuur: >140°C
- Transportvloeistof: synthetische olie
- Thermische output: 0,5 MW_{th}
- Jaarlijkse warmteproductie: 500 MWh

Oostende (2019)

Azteq - [Proviron](#)

Trogspiegelinstallatie

Toepassing: Warmte (stoom) voor chemische industrie.



Kenmerken:

- Spiegeloppervlakte: 1.100 m²
- Zonnepark uittredetemperatuur: 380 °C
- Transportvloeistof: siliconenolie water class 1
- Thermische output: 0,5 MW_{th}
- Jaarlijkse warmteproductie: 500 MWh



Genk (2019)

Azteq - EnergyVille [Genk](#)

Trogspiegel - op terrein van het [Thor Park](#), waar ook de campus [EnergyVille](#) gehuisvest is.

Toepassing: Warmtenet, gebouwen en Organic Rankine Cycle ORC.



Kenmerken:

- Spiegeloppervlakte: 1.100 m²
- Thermische output: 0,5 MW_{th}
- Jaarlijkse warmteproductie: 500 MWh

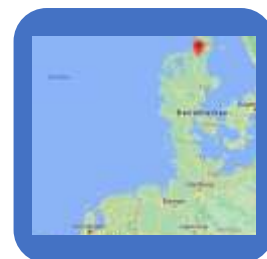
Denemarken

[Bronderslev](#) (2016)

[Aalborg CSP](#)

Hybride installatie: trogspiegel met een biomassa-Organic Rankine Cycle (ORC)-centrale en warmtepomp

Toepassing: Warmtekrachtkoppeling; districtsverwarming (12.500 huishoudens).



Kenmerken:

- Spiegeloppervlakte: 26.929 m²
- Zonnepark intredetemperatuur: 250 °C
- Zonnepark uittredetemperatuur: 330 °C
- Transportvloeistof: synthetische olie
- Met warmteopslag
- Thermische output centrale: 16,6 MW_{th}
- Jaarlijkse warmte opbrengst: 16.000 MWh



Taars Varmevaerk (2015)

Aalborg CSP

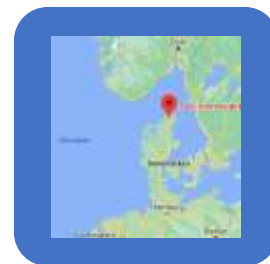
Trogspiegel in combinatie met vlakke plaat collectoren

Toepassing: districtsverwarming (840 huishoudens).



Kenmerken:

- Spiegeloppervlakte (CST): 4.039 m²
- Collectoroppervlak (FPC): 5.972 m²
- Zonnepark intredetemperatuur: 40°C
- Zonnepark uittredetemperatuur: 98°C
- Transportvloeistof: water
- Met warmteopslag
- Thermische output: 6,8 MW_{th}
- Jaarlijkse warmte productie: 6.082 MWh



Thisted (2012)

Aalborg CSP

Trogspiegel testinstallatie

Toepassing: districtsverwarming (4.500 huishoudens).



Kenmerken:

- Spiegeloppervlakte: 830 m²
- Zonnepark uittredetemperatuur: 140°C
- Transportvloeistof: water
- Met warmteopslag
- Thermische output: 500 kW_{th}
- Jaarlijkse warmte productie: 500 MWh





Duitsland

Woltow (2007)

Solarlite CST & Bio

Trogspiegelpark

Toepassing: warmteopwekking voor viskwekerij.



Kenmerken:

- Spiegeloppervlakte: 440 m²
- Thermische output: 220 kW_{th}
- Maximale temperatuur: 25 °C



Nürnberg (2019)

Sunoyster

Trogspiegel in combinatie met PV

Toepassing: Trogspiegel voor elektriciteit en warmte voor het tropenhuis van de Tiergarten.



Kenmerken per element:

- Spiegeloppervlak: 16 m²
- Elektrisch vermogen: 5 kW_e
- Thermische output: 7 kW_{th}
- Modulair systeem
- Twee-assige collector
- Opklapbaar (in geval van sterke wind)
- Plaatsbaar op dak





Zweden

Härnösand (2020)

[Absolicon](#)- [Höglätten](#)

Trogspiegelpark

Toepassing: districtsverwarming (12.000 huishoudens).



Kenmerken:

- Spiegeloppervlakte: 3.000 m²
- Zonnepark intredetemperatuur: 47-55 °C
- Zonnepark uittredetemperatuur: 72 °C (zomer); 110 °C (winter)
- Transportvloeistof: Solar glycol
- Thermische output: 0,5 MW_{th}
- Jaarlijkse warmteproductie: 1,1 GWh