

Alle feiten over Zonnespiegelcentrales (CSP) op 5 pagina's

Publicatie van de Stichting ter bevordering van Grootschalige Exploitatie van Zonne-Energie (GEZEN), Groningen, opgericht in 2004.

Site: www.gezen.nl , e-mail: voorthuysen@gezen.nl

De elektronische versie van deze tekst is beschikbaar op www.gezen.nl

december 2018

CSP in 90 woorden

Concentrating Solar Power (CSP) is de technologie van zonthermische krachtcentrales. In conventionele centrales wordt de verbrandingswarmte van steenkool, aardgas of olie, of warmte uit een kernreactor gebruikt om stoom op hoge druk te produceren. De stoom voedt een stoomturbine die gekoppeld is aan een stroomgenerator. In een zonthermische krachtcentrale worden de zonnestrallen door middel van spiegels samengebundeld naar de ketel van zo'n conventionele krachtcentrale. De zonnehitte vervangt het vuur: CSP-centrales zijn duurzame thermische krachtcentrales. Vaak wordt de zonnewarmte opgeslagen, zodat ook na zonsondergang zonnestroom aan het elektrische net kan worden geleverd.

CSP Technologie

Dit overzicht geeft een samenvatting van de technologie zoals die nu dagelijks wordt toegepast in de CSP-centrales (ook wel zonnespiegelcentrales, of zon-thermische krachtcentrales genoemd) die in bedrijf zijn, zie [Ref.1].

Spiegelsystemen.

De zonnestrallen worden gebundeld met behulp van spiegels en geven hun hitte af aan een absorber, die hierdoor enorm in temperatuur stijgt. De spiegels moeten voortdurend draaien om de aardrotatie te compenseren.

Er bestaan vier soorten CSP-spiegel systemen:

1. Parabolische trogspiegels; ze focuseren op 1 brandlijn, zijn Noord-Zuid gericht en draaien om 1 as
2. Lineaire Fresnelspiegels; ze focuseren op 1 brandlijn en draaien om 1 as.
3. Zonnetorens met een veld heliostaatspiegels die om 2 assen draaien en op 1 brandpunt focuseren.
4. Zonneschotels die op 1 brandpunt focuseren.

Absorbers die de straling opvangen.

De absorbers zijn bedekt met een spectraal-selectieve laag om stralingsverlies tegen te gaan.

De absorberbuizen in de brandlijn van de parabolische trogspiegels opereren bij 400°C. Zij zijn thermisch geïsoleerd met behulp van een vacuüm getrokken glazen buis. Het absorbergedeelte van een lineair Fresnelveld bestaat uit een sterk gekromde secundaire spiegel en een absorberbuis die gewoonlijk bij 300 °C werkt zonder vacuüm-isolatie. De absorber in de top van een zonnetoren is of een dikwandige stoomketel, een vat waarin vloeibaar zout wordt opgewarmd tot 565°C, of een keramisch luchttopwarmingssysteem dat temperaturen tot 680°C bereikt. In de absorber van een zonneschotel zet een Stirling-motor warmte om in mechanische energie.

Warmtetransport en opslag.

De huidige parabolische trogcentrales passen een siliconen olie of vloeibaar alkalinitraatzout toe om de warmte van de absorbers naar de stoomketels te transporteren. Bij lineaire fresnelssystemen

wordt direct stoom geproduceerd in de absorberbuizen.

Opslag van warmte maakt het mogelijk dat CSP-centrales ook na zonsondergang stroom kunnen leveren. De werkzame stof is vloeibaar Na/KNO₃, steen/beton of grafiet. Bij trogspiegelcentrales varieert de temperatuur tussen 300 en 400°C. Bij zonnetorens varieert de temperatuur tussen 290 en 565°C, dus over een groter traject.

Energieopslag in de vorm van warmte bij hoge temperatuur is goedkoop en de verliezen zijn veel kleiner dan bij de conventionele energieopslag door het oppompen van water in hoog gelegen stuwmeren.

Omzetting van warmte in elektriciteit.

De warmte wordt gebruikt om oververhitte, droge stoom te produceren. Deze stoom expandeert in stoomturbines die elektrische generatoren aandrijven. De stoom wordt halverwege de expansie in de turbines opnieuw verwarmd. Lineaire Fresnelcentrales werken met natte stoom en turbines die met natte stoom overweg kunnen. In de absorber van een zonneshotel zet een Stirling-motor warmte om in mechanische energie.

Koeling.

Zonthermische krachtcentrales worden gewoonlijk gekoeld met behulp van koeltorens waarin water wordt verdampt. Steeds meer centrales worden gekoeld met lucht omdat er onvoldoende water beschikbaar is.

Het seizoensprobleem van zonne-energie.

's Winters is de opbrengst van zonnestraling lager dan 's zomers. Hoe zuidelijker, hoe kleiner het verschil, maar ook in Noord-Afrika is het verschil aanzienlijk. De enige manier om het hele jaar door over voldoende elektriciteit te beschikken is chemische opslag van overtollige zonne-energie in de zomer in bijvoorbeeld waterstof. Elektriciteit uit CSP-centrales (en ook PV-centrales) wordt dan benut om door middel van elektrolyse van water waterstof te maken. Een mogelijk alternatief is de benutting van de zeer hoge temperaturen in zonnetorens om rechtstreeks in een cyclus van chemische reacties water te splitsen in waterstof en zuurstof.

's Winters wordt de waterstof omgezet in elektriciteit in brandstofcellen of gasturbines, waarbij de restwarmte kan worden afgegeven aan warmtenetten, waarop huizen zijn aangesloten.

Garantie van leveringszekerheid.

Voor een geringe extra investering kunnen gasbranders worden toegevoegd, waardoor een absolute leveringszekerheid kan worden gegarandeerd aan de netwerkbeheerder.

Benodigd grondoppervlak.

Het zonnestraling → elektriciteit rendement van een CSP-centrale en een zonnepaneel (PV) is ongeveer gelijk, nl. 20%. Een CSP-centrale van 100 MW zonder warmteopslag in een land met een woestijnklimaat heeft een spiegeloppervlak van ongeveer 1 km² en een landoppervlak van ongeveer 2 km² nodig. Een zonnecentrale die qua prestatie vergelijkbaar is met een modale kerncentrale of kolencentrale, (dus een CSP-centrale van 1 GW met voldoende warmteopslagcapaciteit voor 16 uur levering van vol vermogen), legt beslag op een terrein van ongeveer 50 km² oftewel 7 x 7 km. Een dergelijke centrale levert $10^9 \times 365 \times 24 \times 3600$ Ws/jaar = 3×10^{16} J/jaar = 30 PJ/jaar.

Het totale verbruik aan energiebronnen (kolen, olie, gas, uranium, hernieuwbaar) in de hele wereld is bijna 6×10^{20} J/jaar. Als we dit totale verbruik uitsluitend zouden willen leveren met CSP, dan hebben we hiervoor $6 \times 10^{20} / 3 \times 10^{16} = 20000$ centrales van 1 GW nodig, die beslag leggen op 1,0 miljoen km² aan woestijngrond. Dit is gelijk aan het oppervlak van een land als Egypte.

Transport van elektriciteit over grote afstand.

Elektriciteit kan over grote afstanden worden getransporteerd d.m.v. High-Voltage Direct-Current (HVDC) technologie. De energieverliezen tijdens transport van elektriciteit uit bijvoorbeeld Zuid-Marokko naar Centraal-Europa zijn 10-14%.

CSP (zonnespiegelcentrales) en PV (zonnepanelen) met elkaar vergeleken.

Voordelen van CSP t.o.v. PV

Levering van elektriciteit naar behoefte dankzij de opslag van warmte. Duurzaam alternatief voor kolencentrales en kerncentrales. Kortere energie-terugverdiensijd. Minder vervuilend productieproces van de installatie. Minder beslag op zeldzame chemische elementen. Beter integreerbaar in lokale economieën van ontwikkelingslanden. Mogelijkheid om goedkopere groene waterstof te produceren.

Nadelen van CSP t.o.v. PV

Alleen rendabel in landen waar de zon vaak en krachtig schijnt. Alleen mogelijk in grote, dure installaties.

De bijdrage van CSP aan de energievoorziening op de wereld.

In november 2018 leveren 90 CSP-centrales in 11 landen gezamenlijk 5 GW elektriciteit [Ref.1]. Er staat 1,4 GW in aanbouw in 9 landen. In figuur 1 is het totale opwekkingsvermogen op de hele wereld weergegeven van vier klimaat-neutrale technologieën: kernenergie, windenergie, zon-PV (zonne-energie met behulp van de bekende foto-voltaische zonnepanelen) en zon-CSP. Tevens is het totale primaire energieverbruik weergegeven in dezelfde eenheden. In 2017 bedroeg dit 14050 megaton olie-equivalent = 587 EJ. Omgerekend naar Watt = J/seconde, de eenheden op de verticale as van figuur 1, was het totale mondiale energieverbruik in 2017 gelijk aan 18600 GW.

In het perspectief van het mondiale energieverbruik is de CSP-bijdrage nog gering. Ook vergeleken met foto-voltaische zonne-energie (PV) en windenergie is de CSP-bijdrage bescheiden. De verklaring van de achterstand van CSP is, dat om allerlei redenen de groei van CSP veel later is begonnen dan die van PV en wind. In de gezaghebbende scenario's voor een wereldwijde klimaat-neutrale energievoorziening wordt CSP echter onmisbaar geacht omdat CSP de enige zonne-energie technologie is die in staat is om op ieder tijdstip van het etmaal stroom te leveren.

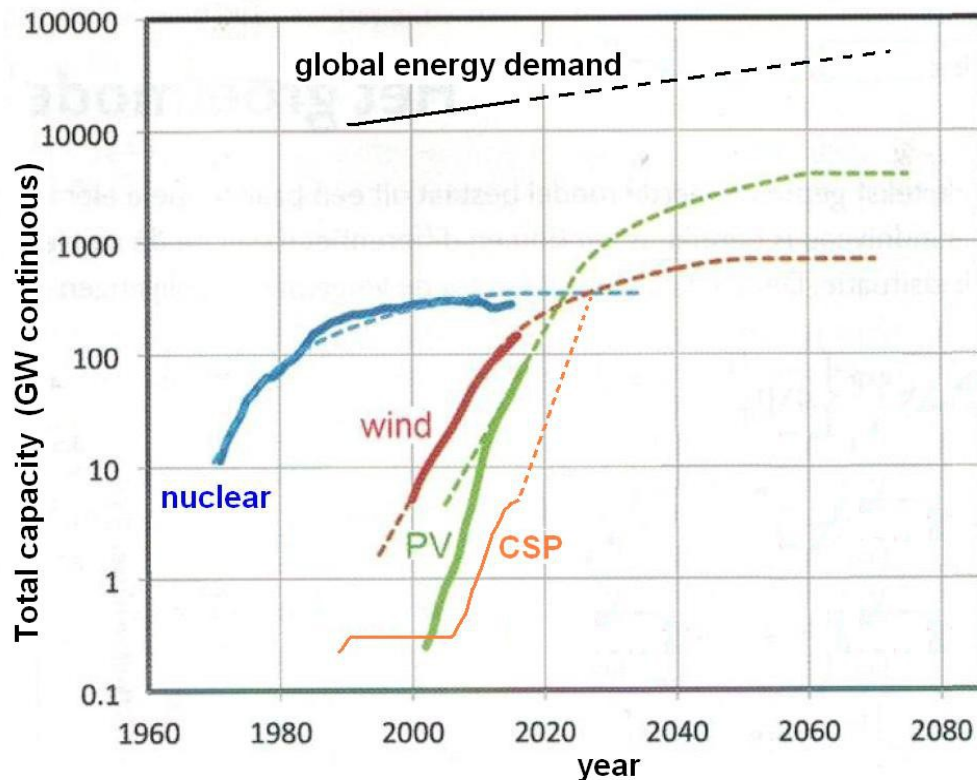
De kosten van CSP

De Levelized Cost of Electricity (LCOE), dat is de verkoopprijs per kilowattuur aan het hek van de centrale, hangt sterk af van het klimaat, de geografische locatie en de rente. Als voorbeeld geven we de in 2015 in bedrijf gestelde 146 MW trogspiegelcentrale NOOR I in Ouarzazate (Marokko) met 3 uur warmteopslagcapaciteit en luchtkoeling. Deze centrale heeft een 25-jaars leveringscontract voor 1,62 Dirham/kWh = 14,4 ¢cent/kWh. Deze prijs is nog steeds aanzienlijk hoger dan van conventionele gas- en kolencentrales. De CSP-sector heeft zich het afgelopen decennium geconsolideerd in een aantal bedrijven in Spanje, de VS, Duitsland en in mindere mate in enkele andere landen. Er is hiermee een basis gelegd voor het optreden van een leercurve naar lagere kilowattuurkosten, net zoals reeds veel langer het geval is met de rivaliserende technologieën zon-PV en wind.

En met goed resultaat. In de Arabische Emiraten is onlangs de bouw begonnen van een gecombineerde zonnetoren en trogspiegelcentrale die 700 MW zal opwekken voor een verkoopprijs van 7,3 ¢cent/kWh. Een kostendaling met meer dan een factor 2 in minder dan 5 jaar! Het perspectief van een verdere kostendaling is ruimschoots aanwezig. Als er één duurzame energiebron is die het verdient om door middel van een exploitatiesubsidie te ondersteunen dan is het wel CSP in de landen met voldoende zonneshijn.

De beste businesscase voor een energiemaatschappij wordt geleverd door een gecombineerde CSP-PV centrale. Overdag wordt goedkope PV-stroom op het net gezet, terwijl de warmte uit de

spiegels wordt opgeslagen. 's Avonds en 's nachts draaien de stoomturbines van de CSP-centrale op de warmte uit de opslag. Zo komt een basislast zonnecentrale tot stand, kunnen alle fossiele centrales vervangen worden en hoeven er geen kerncentrales te worden gebouwd.



Figuur 1. Totaal opgesteld vermogen van de vier klimaat-neutrale energiebronnen met de grootste mondiale potentie. De curves voor wind en zon-PV zijn reeds gecorrigeerd voor hun beperkte capaciteitsfactor.

Politieke ondersteuning voor CSP

Waarom is politieke steun voor CSP nodig?

Van alle duurzame energiebronnen heeft zonne-energie verreweg het grootste potentieel. CSP is de enige technologie voor zonne-energie die continu stroom kan leveren en is daarom in staat om kolencentrales te vervangen. CSP is dus de beste technologie om het klimaatprobleem en het energieprobleem op te lossen. Zolang de kilowattuurprijs van zonthermische centrales hoger is dan die van centrales op fossiele brandstof zouden alle overheden wetgeving moeten maken die ondernemingen en banken dwingt, of tenminste verleidt om te investeren in CSP.

Het alternatief is de zeer grootschalige inzet van PV, samen met batterijen om elektriciteit overdag op te slaan, zodat die beschikbaar komt na zonsondergang. Deze oplossing is vooralsnog duurder dan CSP, en de veel grotere inzet van PV levert onnodige milieunadelen op.

Tegenwerking.

De ontwikkeling van CSP gaat met horten en stoten. Na een hoopvolle start rond 1990 met 300 MW aan trogspiegelcentrales in Californië (Kramer Junction) werd in de 15 jaar daarna nergens meer een CSP-centrale gebouwd, zie figuur 1. Maar vanaf 2006 ging de groei snel. Er is echter geen enkele technologische doorbraak geweest die noodzakelijk was voor deze groei. Die had net zo goed al in 1990 kunnen plaatsvinden, met als gevolg dat er nu, in 2018, even veel leveringszekere zonnestroom op aarde zou zijn als wispelturige windstroom. De stagnatie in de periode 1990 tot 2006 was het gevolg van enkele noodlottige politieke beslissingen, en vooral van bewuste en onbewuste tegenwerking door voorstanders van duurzame energie die

kleinschaligheidsideologie aanhangen (Robinson Crusoe romantiek). Alle energiedeskundigen die in die periode CSP hebben tegengewerkt moeten zich schamen.

Maatregelen op nationaal niveau.

Zonthermische energie heeft het vooruitzicht om zeer binnenkort rendabel te worden in 90 landen, de zogenaamde “zonnige landen”. Ontwikkelde landen met een sterke zonstraling zoals Australië en Zuid-Afrika zouden de succesvolle 'obligatory portfolio standards laws' van Californië en Nevada moeten overnemen of CSP-investering moeten stimuleren door middel van een Feed-In wet, die uitermate effectief is gebleken voor de kostendaling van zonnepanelen en windturbines.

Olie en gas exporterende landen in zonovergoten gebieden zouden een deel van hun hoge inkomsten in CSP-centrales moeten investeren en hun elektriciteitsproductie moeten overschakelen van olie en gas naar zonne-energie. Dit gebeurt al in de Emiraten en Saoedi-Arabië. Hierdoor komt olie en gas, die anders gebruikt wordt voor eigen stroomproductie, beschikbaar voor de wereldmarkt. Deze landen kunnen tevens exporteurs worden van zonnestroom. Regeringen van OECD-landen waar de zon minder schijnt zouden moeten stimuleren dat hun nationale energiebedrijven in CSP gaan investeren in de zonnrijke landen.

Maatregelen op bi- en trilateraal niveau.

Zon-arme OECD-landen en zonnrijke landen (bv. Nederland en Marokko) slaan de handen ineen: bedrijven uit beide landen investeren in zonnetechnologie in het zuiden en bv. windenergie in het noorden. Beide landen presenteren zich als één partij voor het behalen van internationale klimaatdoelstellingen tot wederzijds voordeel [Ref.2], zonne-energie in Marokko is immers goedkoper dan wind op de Noordzee.

Landen die gas exporteren en verhandelen zoals Algerije, Libië en Qatar kunnen samenwerken met Nederland teneinde een deel van hun grote gasbaten te benutten voor investeringen in CSP. Deze landen zouden een samenwerkingsverband kunnen opstarten waarbij CSP-investeringen worden gekoppeld aan een voorkeurspositie voor de levering van gas, waardoor de zogenaamde ‘Gas-Rotonde’ een ‘Gas-CSP-Rotonde’ wordt.

Nederlandse energiebedrijven kunnen in Zuid-Europa CSP-centrales bouwen met HVDC leidingen naar Nederland. Hiermee kan Nederland aan een belangrijk deel van zijn Europese verplichtingen aan duurzame energieopwekking voldoen.

Maatregelen op Europees en MENA-niveau.

(MENA=Middle East & North Afrika). Grootschalige zonne-energie is een belangrijk onderdeel van de Mediterrane Unie [Ref.3]. EUROSUNMED is een samenwerking tussen bedrijven en universiteiten voor de ontwikkeling van PV en CSP [Ref.4].

Een Solar Mobilization Fund [Ref.6] met een miljard euro startkapitaal zou kunnen worden opgericht als betrouwbare zakenpartner voor maatschappijen die investeren in CSP in zonnrijke landen die als minder stabiel beschouwd worden. Het SMF koopt electriciteit en water van de exploitanten van de zonnecentrales en verkoopt het tegen concurrerende lokale prijzen aan plaatselijke netbeheerders. De verliezen van het SMF worden gedekt door de Europese en (in mindere mate) MENA-regeringen, of door de Europese stroomverbruikers. Aangezien CSP al dicht bij het stadium van rentabiliteit zit, kan de effectiviteit van het SMF groot zijn.

Maatregelen op wereld (Verenigde Naties) niveau.

Als de wereld zou besluiten om 1% van zijn BBP te investeren in zonthermische centrales, dan zouden alle kolengestookte centrales, gascentrales en kerncentrales binnen 20 jaar buiten gebruik gesteld kunnen worden [Ref.6]. De belangrijkste bron van CO₂-uitstoot zou dan ingedamd zijn. De grootste aanval op ons klimaat zou zijn afgeslagen.

Leveringszekere zonne-energie, dus CSP, moet op de politieke agenda komen!

De jaarlijkse CO₂-uitstoot had al lang moeten dalen, maar het tegendeel is de realiteit. De wetenschappelijke rapporten zijn alarmerend. In alle wereldscenario's die een geloofwaardige transitie beschrijven naar een wereldeconomie waarin de opwarming beperkt blijft tot 2 graden of

lager speelt CSP een prominente rol. Deze vorm van duurzame energie is daarom ook relevant voor Nederland en dient door alle politieke partijen te worden gesteund.

Literatuur en websites

1. Kompleet overzicht van functionerende en in aanbouw zijnde CSP-centrales:
<http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/> en
http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_thermal_power_stations
2. Nederlands-Marokkaans Zonne-Energie Plan,
Engels: <https://www.gezen.nl/wp-content/uploads/2018/12/Dutch-Moroccan-Solar-Energy-Plan.pdf>.
Frans: <http://www.gezen.nl/wp-content/uploads/2018/12/Plan-d-energie-solaire-neerlandais-marocain-2-.pdf>
3. De Unie voor de Mediterrane Regio verenigt de 28 EU-staten met 16 landen uit MENA, zie http://en.wikipedia.org/wiki/Union_for_the_Mediterranean
4. Euro-Mediterranean Cooperation on Research & Training in Sun Based Renewable Energies, <http://eurosunmed.cnrs.fr>
5. The International Solar Mobilization Fund, zie: <http://www.gezen.nl/wp-content/uploads/2018/12/The-International-Solar-Mobilization-Fund-2-kopie.pdf>
6. E.H. du Marchie van Voorthuysen, *Two scenario's for a Solar World Economy*, Int. J. Global Environmental Issues Vol. 8, No. 3, 2008, of: <http://www.gezen.nl/wp-content/uploads/2018/12/ArtikelIJGlobalEnergyIssues.pdf>