

# **Verslag van SolarPaces2016 conferentie in Abu Dhabi,**

Zwart en blauw: Algemeen.

Geel achtergrond: Energiepolitiek en Economie.

## **Inhoud**

Inleiding	blz.	1
Samenvatting en commentaar		1
Technisch-wetenschappelijk		2
Economisch en politiek		2
Beschouwing achteraf		3
Opening Session		4
Plenary: CSP Market Trends		5
Plenary: CSP in the Energy System		7
Central Receiver Systems		11
Emerging Concepts		12
CSP Analysis and Simulations		13
Thermal Energy Storage		14
Linear Fresnel Systems		16
Thermochemical Storage		17
Parabolic Trough		19
Solar Fuels		21
Polici and Marketing		23
Water Desalination and Process Heat		24
Closing Session		26
Excursie naar Shams-1 centrale en Masdar Institute.		28

## **Overzicht van gebruikte afkortingen.**

ACWA	Zonne-energie bedrijf uit Saoedi-Arabië.
CSP	Concentrating Solar Power, zonne-energie met behulp van parabolische spiegels.
DLR	Duits Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium
FIT	Feed-In Tarief
IEA	Internationaal Energie-Agentenschap.
LCOE	Levelised Cost of Electricity, de totale opwekkingskosten van elektriciteit per geleverde kilowattuur.
PCM	Phase-Change Materials, warmteopslag d.m.v. smelten en stollen.
PV	Foto-voltaïsche zonne-energie, zonne-energie met zonnepanelen.
RE	Renewable Energy, hernieuwbare energie.
SA	Saoedi-Arabië.
STE	Solar Thermal Electricity, = CSP.
UAE	United Arabian Emirates, Verenigde Arabische Emiraten.
ZA	Zuid-Afrika.

## **Inleiding.**

In Abu Dhabi, hoofdstad van de Verenigde Arabische Emiraten (UAE), werd van 11 t/m 14 oktober

2016 de internationale conferentie SolarPaces2016 gehouden. Deze conferentie is de grootste en belangrijkste wetenschappelijke conferentie op het gebied van geconcentreerde zonne-energie (Concentrating Solar Power, CSP, zonne-energie met parabolische spiegels). De ingediende papers worden onderworpen aan een wetenschappelijk beoordelingsproces en gepubliceerd door het American Institute of Physics ([www.aip.org](http://www.aip.org)).

Er waren in Abu Dhabi 470 deelnemers uit 37 landen. De schrijver, Evert van Voorthuysen, was een van hen. Hij rapporteert in dit stuk zijn bevindingen.

De organisatie SolarPaces is een zg. implementing agreement van het Internationaal Energie-Agentschap (IEA), zie [www.solarpaces.org](http://www.solarpaces.org). Twintig landen zijn samen met de Europese Commissie lid van SolarPaces. Nederland is (nog) geen lid, ondanks herhaald verzoek van de Stichting GEZEN aan de minister van economische zaken om toe te treden.

## **Samenvatting en commentaar**

De conferentie begon met rapportages uit de landen waarin momenteel de meeste CSP-centrales worden gebouwd: China, Chili, Marokko, USA, Zuid-Afrika.

### **Technisch-wetenschappelijk**

De meeste presentaties (plenair, in parallelle sessie, en d.m.v. posters) waren van technisch-wetenschappelijk van karakter. Van de vier bekende CSP-technologieën (central receivers = zonnetorens, parabolic troughs = parabolische trogspiegels, lineaire Fresnel systemen, en dishes = schotelspiegels) werd aanzienlijk meer aandacht gegeven aan de zonnetorens dan aan de andere technologieën. Er waren veel papers over de receiver in de top van de toren, waarbij de falling-particle receiver veel werd genoemd. Hierbij wordt een stroom van vallend zand rechtstreeks beschenen door de geconcentreerde zonnestralen. Ook waren er veel papers over de aansturing van de heliostaatspiegels.

De opslag van energie is een zeer belangrijk onderwerp. Warmteopslag in vloeistof van natriumnitrat en kaliumnitrat wordt toegepast in de meeste CSP-centrales, waarbij steeds twee opslag tanks worden gebruikt. Maar opvallend is het grote aantal papers over de thermocline-opslag. Dit principe wordt in de meeste huishoudens toegepast in warmwatertanks: in een hoge, verticaal opgesteld tank zit het hete water aan de bovenkant en het koude water aan de onderkant. Bij de opslag van warmte in CSP-centrales wordt de tank gevuld met losse stenen, zodat een flink deel van het relatief dure zout kan worden vervangen door goedkopere materialen. Naast opslag van warmte door middel van temperatuurstijging van een hoeveelheid massa, kan ook gebruik worden gemaakt van een fasesprong (smelten/stollen of een verandering in de kristalstructuur). Maar ook thermochemische warmteopslag werd vele malen gerapporteerd, zoals bv. het blussen van kalk en de omgekeerde reactie. Totdusver de opslag op de korte termijn: dag/nacht.

Opslag op de lange termijn (zomer/winter) is alleen mogelijk door het produceren van energie-rijke chemicaliën, met als belangrijkste voorbeeld waterstof. Bij de andere hernieuwbare energiebronnen zoals foto-voltatische zonne-energie (PV) en wind is waterstofproductie d.m.v. electrolyse de enige weg. Maar bij CSP, en dan vooral bij torens en schotels, kan de energie worden aangeleverd bij zeer hoge temperaturen, waardoor water kan worden gesplitst in een kringloop van chemische reacties. Er waren veel papers over de reductie en oxidatie van metaaloxiden bij zeer hoge temperatuur, met de nadruk op ceriumoxide. Maar ook een paper over een kringloop met zwavelzuur, waarbij de temperaturen minder hoog hoeven te zijn, en de technische problemen waarschijnlijk sneller zullen worden opgelost. De opslag van waterstof is een lastig probleem, en in feite nog niet opgelost. Maar

in een poster werd een interessant oplossing gepresenteerd: de chemische opslag van waterstof in een organische vloeistof.

## **Economisch-politiek**

Het is een algemeen erkend feit dat PV in de zonnige landen de allergeedkoopste manier is om elektriciteit te produceren, zowel op kleine schaal als op grote schaal. Zolang de penetratie van hernieuwbare elektriciteit in het net lager is dan bv. 30% is er in die landen geen enkele rechtvaardiging meer om nieuwe gas- of kolencentrales te bouwen (wat in China nog steeds op immense schaal gebeurt), want PV-stroom is altijd goedkoper. Wat betreft de levering van zonnestroom overdag heeft CSP de concurrentiestrijd tegen PV duidelijk verloren.

Maar bij levering van zonnestroom na zonsondergang is de situatie anders. CSP-centrales met een aantal uren warmteopslagcapaciteit leveren goedkopere stroom dan PV-centrales met een aantal uren batterijcapaciteit (die er dan ook nog nauwelijks zijn). Het feit dat CSP-centrales stroom kunnen leveren op ieder gewenst moment van de avond of nacht, in tegenstelling tot PV-centrales (die geen batterijopslag hebben) betekent dat de waarde van CSP-stroom hoger is dan die van PV. Dit waardeverschil wordt door de beleidsmakers nog steeds in onvoldoende mate ingezien.

CSP-centrales met warmteopslag kunnen momenteel goed concurreren tegen PV met batterijopslag. Maar de batterijtechnologie ontwikkelt zich sneller dan de CSP-technologie. Diverse sprekers melden dat het waarschijnlijk is dat het kostenvoordeel van CSP binnen 10 jaar omslaat in zijn tegendeel.

Er waren enkele papers over de kostendalingen van bepaalde technologieën. Er is sprake van een zg. learning rate: de kostendaling per verdubbeling van de hoeveelheid geïnstalleerde technologie op aarde. De ontwikkeling van CSP is met horten en stoten gegaan, en hierdoor is de learning rate van CSP tot dusver lager dan van de meeste andere technologieën. Maar nog belangrijker is de groei: hoeveel jaar duurt het voordat er een verdubbeling heeft plaatsgevonden? Bij een technologie die bestaat uit de uitrol van een beperkt aantal zeer grote projecten, zoals CSP, is en blijft de groei problematisch, en zeer afhankelijk van politieke besluitvorming in een handjevol landen. Dit is zorgelijk. Vooral in de wandelgangen heerste deze bezorgdheid.

## **Beschouwing achteraf.**

Is het erg als bv. over 10 jaar blijkt dat in de zonnige landen PV+batterijen duidelijk goedkoper is dan CSP+warmteopslag, met als gevolg dat CSP een zachte dood zal sterven? De duurzame stroomvoorziening is dan toch immers gegarandeerd (afgezien van het seizoensprobleem)?

Ja dat is erg. En wel omdat CSP een aantal voordelen heeft boven PV:

- ! kortere energie-terugverdientijd
- ! minder gebruik van zeldzame en giftige materialen
- ! meer werkgelegenheid in de (vaak armere) landen waar de CSP-centrales worden gebouwd
- ! Met de hoge temperaturen van CSP kunnen zonnebrandstoffen worden gemaakt die met elektriciteit uit PV niet mogelijk zijn. Dit is van cruciaal belang voor de oplossing van het seizoensprobleem.

CSP zal alleen levensvatbaar blijven als de bestaande groei (die er gelukkig is) wordt versterkt, en vooral gestabiliseerd. Alleen bij een stabiele groei zullen producenten gaan investeren in de

massaproductie van componenten, hetgeen een absolute voorwaarde is voor de vereiste kostendaling. Alleen regeringen kunnen wetten maken die zo'n stabiele groei mogelijk maken. Het bekendste voorbeeld is de Erneuerbare Energien Gezet in Duitsland.

In de wandelingen van SolarPaces2016 is het idee ontstaan om actie te voeren om op de volgende SolarPaces, in Santiago de Chili, veel meer papers over energiepolitiek te krijgen. Ik speel hier zelf een actieve rol in.

---

## Opening Session

---

*Chair: Abdulaziz Al Obaidli, SolarPACES 2016 Chair*

---

*Dinsdag  
09:00 am*

**Welcome Remarks from the Ministry of Energy - Host**  
M.H. Al Neyadi, Undersecretary of the Ministry of Energy, UAE

Per 2021 zal 25% van de elektriciteit in UAE duurzaam zijn. Het Masdar project is vooraanstaand in de wereld.

---

*09:12 am*

**Welcome Remarks from Masdar Institute – Host**  
L.N. Fawwaz, Vice President for Institutional Advancement and Public Affairs

Het ontwikkelen van opslag en verdeling van zonne-energie is cruciaal.

---

*09:24 am*

**Key Note address from the Ministry of Climate Change and Environment**  
F. Al Hammadi, Director of Climate Change, Ministry of Climate Change and Environment, UAE

UAE is een wereldleider in zon, speciaal in CSP.  
In 2021 komt er een 200 MW CSP-plant in bedrijf.

---

*09:36 am*

**Welcome from ESTELA**  
L. Crespo, President of ESTELA

De LCOE (levelised cost of electricity) van CSP is veel lager dan PV met 6 uur batterijen, en dit blijft zo in de komende 7-10 jaar.

STE (Solar Thermal Electricity) is en blijft noodzakelijk op de lange termijn.

En moet de voorkeurskeus door beleidsmakers worden gemaakt.

Nu staat er 5 GW aan STE, 5 jaar geleden stond er nog maar 1 GW.

We moeten af van de korte-termijn kostenpolitiek naar een waarde-benadering.

Groei is het kritische punt, en noodzakelijk om de kosten van nieuwe STE plants te reduceren.

We moeten ons concentreren op projecten in het 100 MW-bereik die tevens volledig leveringszekere stroom kunnen leveren.

---

---

---

---

## Plenary: CSP Market Trends

---

Chair: Luis Crespo, ESTELA

---

Dinsdag  
10:30 am

### 1 GW Demonstration CSP Projects in China

Z. Wang, Chinese Academy of Sciences, Institute of Electrical Engineering

De stroomopwekking uit kolencentrales zal in China nog doorgroeien en pas in 2030 op zijn maximum zijn (*commentaar achteraf van EdMvV: zo zal de wereld de 2 graden zeker overschrijden*)

15-39% van de windstroom wordt weggegooid, en 17-30% van de PV-stroom wordt weggegooid door netproblemen.

De back-up voor wind en PV moet een groene backup worden.

CSP geeft leveringszekere elektriciteit en diverse andere vormen van energie, zoals warmte en chemische energie.

Er is een feed-in tarief vastgesteld voor CSP met 4 uur opslag van RMB 1,15 Y/kWh voor de eerste demoprojecten, samen 1,4 GW. Moet eind 2018 in werking zijn.

In het biddingsproces zijn hiervoor 109 projecten ingediend, samen 8,5 GW, maar wel met een gemiddeld hogere tarief dan het gevraagde tarief van 1,15 Y/kWh.

Van de projecten die worden uitgevoerd vormen torens 50%, troggen 30% en fresnel 20%.

Op de meeste locaties wordt de zon→elektriciteits efficiency 15%, de DNI is niet zo hoog, Binnen- Mongolië heeft de hoogste `DNI, afgezien van Tibet, maar daar is het te bergachtig.

De investeringen worden voor de helft door staatsbedrijven, en de helft door private partijen gedaan.

Voor 2020 moet er 5GW aan CSP staan met een FIT van < 1,15Y/kWh

PV heeft een FIT van 0,7 Y/kWh.

---

10:50 am

### The Role of CSP in the Chilean Solar Energy Strategy

R. Mancilla, CIFES - Comité CORFO

In Chili is 110 MW aan CSP in aanbouw, en 1080 MW goedgekeurd.

In 2050 moet 70% van de stroom uit duurzame bronnen komen.

Er is in 2016 al 64-72 \$/MWh geboden voor een in PV+CSP project in de Atacama woestijn, waar de DNI >3500 kWh/m2/jaar is.

---

---

Er is 100500 km<sup>2</sup> beschikbaar voor zonnecentrales.  
Het is zeer droog, met <2 mm jaar aan regen.  
Er wordt onderzoek gedaan naar chemische opslagmethoden.

11:10 am

### **Solar Energy Development in Morocco**

A. Jamrani, Moroccan Agency for Solar Energy (MASEN)

Het nationale plan is om in 2020 een 42% aandeel aan hernieuwbare stroom te hebben.  
Duidelijkheid verschaffen aan aanbieders is belangrijk.  
De organisatie MASEN is intermediair in alle financiële transacties tussen alle partijen.  
Landeigenaren worden mede-aandeelhouder, dit is noodzakelijk.  
In het NOOR-project wordt CSP en PV geïntegreerd. Projecten komen te staan in Middelt, Tata, Ouarzazate  
NOOR 1 is in werking, een trogcentrale van 160 MW met 7 uur warmteopslag.  
NOOR 2 trog is in aanbouw, 200 MW met >7 uur opslag.  
NOOR 3 wordt een toren van 50 MW met >7 uur opslag er wordt 2,2 G€ voor NOOR 1+2+3 geïnvesteerd.

11:30 am

### **Crescent Dunes: Key Performance Metrics and First Year Ramp-up Results**

B. Gould, SolarReserve

Solar Reserve heeft CSP-projecten in Zuid-Afrika, Chili en USA.  
De Crescent Dunes zonnetoren, heb ik (EdMvV) in 2013 in aanbouw gezien. Hij is nu in werking, 110 MW met 10 uur opslagcapaciteit. De kosten van het heliostaat-spiegelveld zijn nu 150\$/m<sup>2</sup>, dit zal verder worden verlaagd.  
Crescent Dunes heeft 750 M\$ gekost, het doel is om deze investeringskosten voor toekomstige centrales met 40% te verlagen.

11:50 am

### **Ivanpah Lessons Learned, Technology Innovations for Optimization and Cost Reduction, and a Look Forward**

J. Desmond, BrightSource Energy

BrightSource is eigendom van ALSOM.  
In 2017 worden in China twee torencentrales gebouwd van 135 MW met 3,5 uur opslagcapaciteit, waarbij gesmolten zout wordt toegepast.  
De drie zonnetorens van de Ivanpah centrale hebben vooral het laatste halfjaar een hoge productie gemaakt. Er vindt een voortdurende optimalisatie plaats van de bedieningsprocedures.  
Het Ashalim project in Israel wordt door BrightSource uitgevoerd, ook met gesmolten zout. De Heliostaatconfiguratie wordt aangepast aan en geoptimaliseerd voor het bestaande

---

heuvelachtige terrein.  
Heliostaten worden door 4 man met de hand geplaatst op zuilen die eerder door machines (grondboren) zijn geplaatst. De afmetingen van de heliostaten: 4 x 5,2 meter. De motoren worden gevoed met PV op of bij de heliostaten. Het transportmedium is oververhit stoom van 560 C.  
In Ashkalom worden de heliostaten draadloos aangestuurd.  
De berichten in de pers over dode vogels die bij de torens worden verbrand zijn zwaar overdreven.

---

12:10 pm

### **A Project Developers View on CSP Technology Status and Perspectives**

J. Carvajal, ACWA Power

Er wordt ook aan zonaangedreven ontzilting gewerkt. De leveringszekerheid van CSP is cruciaal. In alle ACWA projecten wordt warmteopslag toegepast. De sleutelrol wordt gespeeld door een stabiele markt voor CSP in de geschikte zonnige landen.

Tijdens de discussie zegt Klaus Hennecke (DLR) dat de laboratoria zoals DLR sterk gehinderd worden door de behoudzucht van de grote projectontwikkelaars en de banken. Iedere SolarPACES conferentie worden technische innovaties gepresenteerd, en daar komt veel te weinig van terecht in de gebouwde CSP-centrales.

Carvajal erkent het probleem, en wil het proberen om meer innovaties toe te gaan passen.

---

## **Plenary: CSP in the Energy System**

---

Woensdag  
08:30 am

### **What is the Role of CSP in the Future South African Electricity System with CO2-emission Targets?**

J. Badeda, ISEA – RWTH Aachen University

Kolencentrales leveren 80% van de stroom in ZA. De gemiddelde CO2-uitstoot in ZA is hoog, nl. 1300 g/kWh. Er is een scenario voor ZA voor 2030 gemaakt. Tijdelijk stroomoverschot wordt benut voor power to X, maar dat X nodig om later stroom op te wekken wordt niet genoemd. Er wordt een ideaal net verondersteld: koperen plaat, en alleen stroomimport, geen export.  
Het ESYS-model is een goede start.

De enige CSP-optie in het scenario zijn torens met 20% co-firing.  
CSP wordt attractief bij stijgende gasprijs en een hogere CO2-limiet. Kerncentrales zijn nooit aantrekkelijk, gas wel.



---

08:50 am

## **Techno-economic Analysis and Comparison of CSP and Hybrid PV-Battery Power Plants**

M. Engelhard, M+W Group GmbH

De opties die worden vergeleken zijn:

1. CSP+opslag+fossilfuel cofiring
2. PV+batterijen+cofiring
3. CSP-PV combinatie.

De vergeleken locaties zijn Marokko met diesel en Saoedi Arabië met gas.

Centrales met 100 MWe piekvermogen worden vergeleken wanneer ze zijn gebouwd in 2015, 2020 en 2030.

In SA is er ook een flinke vraag naar stroom midden in de nacht (door de airco).

In 2030 is in Mk PV het goedkoopste.

In SA is er in 2030 geen winnaar, want daar is erg veel batterijcapaciteit nodig.

Conclusie: combinatie CSP+PV is het meest effectief

Alles draait om de groei in de RE technieken incl. Batterijen, want de PR's in leercurves variëren niet zo sterk.

CSP heeft de grootste toekomst in de gebieden met erg hoge DNI, die vind je niet zo veel in Azië.

Batterijen hebben geen goede footprint. Recycling van materialen is noodzakelijk. Bij de klassieke lood-zwavelzuur is recycling mogelijk, maar bij lithium-ion batterijen niet.

---

09:10 am

## **On the Path to SunShot – Looking Beyond LCOE**

M. Mehos, National Renewable Energy Laboratory

CSP zal niet kunnen concurreren tegen PV en wind als we alleen naar een lage kWh-prijs kijken.

Het Amerikaanse programma Sunshot heeft een agressief doel: een CSP-prijs van 6 \$cent/kWh per 2020 met zoveel warmteopslag dat de capaciteitsfactor 70% is, dus bijna baseload.

Berekeningen zijn gemaakt voor Californië en WECC (westelijk net in USA).

De extra kosten om de betrouwbaarheid van het net in stand te houden worden in rekening gebracht.

De meeste waarde wordt gecreeerd bij CSP-centrales met een lage solar-multiple van 1,3.

Het gaat om de capacity value, bij 40% aandeel RE is die voor PV erg laag, 3,4 %, voor CSP met >3 uur 96%.

Het verschil is 63 \$/MWh in het scenario met 40% aandeel RE in het net.

---

---

Resultaat van de berekeningen:  
In de toekomst is er weinig verschil tussen CSP+opslag en PV+batterijen.  
Nu is CSP nog goedkoper.

---

11:15 am

**Worldwide Perspective of Solar Heat for Industrial Processes – From Planning to Realization**

C. Brunner, AEE INTEC

Rapportage over de Shams-1 trogcentrale bij Abu Dhabi, zaterdag zal ik die centrale zien tijdens de excursie. De spiegels moeten 7 dagen per week worden schoongemaakt om een reflectiviteit van >97% te bewerkstelligen. Het plaatsen van windschermen rondom het terrein, maar ook binnen het terrein, heeft geholpen. De gestelde productiedoelen zijn gehaald, in 2016 was tot dusver de betrouwbaarheid 99%. De stoom uit het trogspiegelveld (van 390 C) wordt door aardgas verder verwarmd tot 540 C, dit om een hoger Rankine rendement te halen. Van de geproduceerde stroom is 85% van de energie afkomstig van de zon, de rest van gas.

---

11:35 am

**The Miraah Project – Process Heat in the Oman Desert at GigaWatt Scale**

D. Palmer, GlassPoint Solar

Grote glazen kassen met daarin trogspiegels die warmte leveren voor enhanced oil recovery. Het glazen dak van de kas beschermt de troggen en worden regelmatig schoon gehouden. De troggen zijn veel lichter van constructie dan normaal. Het lijkt er op dat de troggen aan draden hangen, maar dat is niet zeker.  
7% na 3 dagen reflectieverlies door stofafzetting  
Automaat die het dak van de kas schoonmaakt

---

11:55 am

**Solving the Knot - Contracting Funds Kick-starting Solar Process Heat for Industry**

T. Schwind, Industrial Solar GmbH

Waarom worden projecten die rendabel toch niet gefinancierd? De reden is dat het volume van de markt nog klein is. De industrie wil 2-4 jaar return on investment hebben, en beschouwt investeringen om brandstof te besparen niet als hun kernactiviteit, dus er is weinig interesse. De spreker vraagt aan de zaal om met projectvoorstellen te komen.

---

---

---

## Central Receiver Systems

---

Dinsdag  
02:05 pm

Solar Thermoelectricity via Advanced Latent Heat Storage: A Cost-effective Small-scale CSP Application

Greg Glatzmaier, National Renewable Energy Laboratory

Solar thermoelectricity via advanced latent heat storage (STEALS). Beschrijving van een 800 kWth central receiver systeem met kleine, 2m<sup>2</sup>, heliostaten. Warmteopslag met

PCM met aluminum/silicium eutectic met 580 C smeltpunt. Heatpipes met natrium.

Toepassing van een thermal valve met natrium (heatpipe in de vorm van twee conussen, met kraan in vloeistof retourleiding.

Er wordt een vergelijking gemaakt met het alternatief: PV+batterij.

In 2020 is de verwachting dat STEAL: 12 cent/kWh kost en PV + batterij 23 \$cent/KWh.

PV zonder batterijen is echter goedkoper dan STEAL.

---

04:35 pm

Towards High Efficiency Heliostat Fields

Florian Arbes, schlaich bergemann partner - sbp sonne gmbh

Het heliostaatveld vormt ongeveer 25% van de LCOE. Radial staggering approach, dit is heliostaten 1 voor 1 toevoegen op de plaats waar de opbrengststijging het grootst is. Vijfhoekige heliostaten, 50 m<sup>2</sup>.

---

Dinsdag  
04:55 pm

Novel Imaging Closed Loop Control Strategy for Heliostats

Gregor Bern, Fraunhofer ISE

Totdusver wordt open-loop tracking toegepast, dus calibratie en hercalibratie zijn nodig.

Closed-loop tracking wordt nog niet toegepast, maar geeft veel besparingen aan kosten.

Doel: het vinden van het echte, momentane reflectiepunt op de receiver tijdens bedrijf.

Nieuw closed-loop strategie:

Camera. Ingewikkelde methode met invoer van patronen.

Variatie aanbrenge in de belichting en daarna frequentie-analyse uitvoeren. De uitvoerbaarheid van de methode is getest.

---

Donderdag  
09:10 am

**Ultra-modular 500m<sup>2</sup> Heliostat Field for High Flux/High Temperature Solar-driven Processes**

M. Romero, IMDEA Energy

---

---

Kleine heliostaten, 1-2 m<sup>2</sup>, met brandpuntsafstand 25 meter. Glas van Rioglass. De ruimtelijke indeling van het veld is zeer belangrijk om de gewenste flux op de receiver te halen: 2500 suns op een apertuur van 16 cm.

---

01:45 pm

**Design and Simulation of a Sensor for Heliostat Field Closed Loop Control**  
M. Collins, CSIRO

Een rij kleine camera's wordt vlak voor de receiver door de geconcentreerde bundel bewogen. In het beeld van de camera is iedere heliostaat afzonderlijk te zien, samen met het gereflecteerde licht van die heliostaat.

---

04:35 pm

**Heliostat Kinematic System Calibration Using Uncalibrated Cameras**  
C. Villasante, IK4-TEKNIKER

Heliostaten worden kleiner en dus talrijker. Hier wordt op iedere spiegel een camera gemonteerd die de positie van een aantal lampen met een bepaald knipperpatroon fotografeert om de heliostaatpositie te calibreren.

---

Donderdag  
05:15 pm

**Design and Proof of Concept of an Innovative Very High Temperature Ceramic Solar Absorber**  
A. Ferriere, PROMES-CNRS

Geconcentreerd zonlicht wordt gebruikt om de expansie in een gasturbine extra te vergroten. De absorber is gesinterd SiC, dat een goede warmtegeleiding heeft en een zeer hoge temperatuur, tot 1500 C, kan verdragen. Experimenteel is 850 C bereikt, maar het kan nog hoger.

---

## Emerging Concepts

---

---

02:05 pm

[Fluid Flow Analysis Behind Heliostat Using LES and RANS: A Step Towards Optimized Field Design in Desert Regions](#)  
[Laltu Chandra, Indian Institute of Technology Jodhpur](#)

Analyse van stofafzetting op heliostaten

---

02:45 pm

[A New Thermal-solar Plant Configuration with Vertical Axis](#)  
[Rubén Abbas, Universidad Politécnica de Madrid \(UPM\)](#)

Roterend platform op wielen op cirkelvormige rail. Hierop een Fresnelsysteem met vaste spiegels. Om de ongunstige gemiddelde

---

---

cosinus te compenseren wordt het systeem met 30 graden scheef gezet. Ook wordt een eindspiegel geplaatst loodrecht op de brandlijn.

---

03:05 pm [Experimental Testing of a High-flux Cavity Receiver](#)  
[John Pye, Australian National University](#)

Met behulp van de volle maan.

---

03:25 pm [Integration of Concentrated Solar Power \(CSP\) and Circulating Fluidized Bed \(CFB\) Power Plants – Final Results of COMBO-CFD Project](#)

[Matti Tähtinen, VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.](#)

Circulating fluidised combustion in combinatie met CSP. Manier om CO<sub>2</sub> van kolencentrales te reduceren.

---

01:45 pm **CSP Analysis and Simulations** *Meeting Room 3+4*

*Chair: Peter Heller, German Aerospace Center (DLR)*

---

01:45 pm [Assessment of Mid-term Growth Assumptions and Learning Rates for Comparative Studies of CSP and Hybrid PV-battery Power Plants](#)  
[Christian Breyer, Lappeenranta University of Technology](#)

Leercurves en afwijkingen van de ideale leercurve worden gepresenteerd voor PV, CSP, en batterijen.

De kosten van PV zijn de laatste tijd harder gedaald dan de 20% (per verdubbeling) die geldt voor lange tijd, en de laatste jaar meer dan 30%.

Leercurves: de learning rates zijn: CSP 10-12% per verdubbeling, PV 20% (30% de laatste jaren), batterijen 20%. Voor de berekening van kosten in de toekomst is kennis van de groei van de technologie zeer belangrijk, hier bestaat veel onzekerheid.

Eind 2015 is de globaal opgestelde capaciteit voor PV 230 GW en voor CSP 5 GW. Er zijn veel groeiscenario's, met de EnergyRevolution van Greenpeace het meest optimistisch en de World Energy Outlook (WEO) van het International Energy Agency (IEA) het meest pessimistisch wat betreft duurzaamheid. Binnen het IEA is er een discrepantie tussen WEO en de IEA-experts op het gebied van duurzame energie. PV heeft een 21% – 12,6% groeitempo en CSP 62%-14,3%.

Er bestaan enorme verschillen tussen de scenario's. CSP moet zeer snel groeien, anders lukt het niet om een leercurve te krijgen met de noodzakelijke learning rate

---

---

(kostenverlaging per verdubbeling van de mondiale aanwezigheid van de technologie).

De kosten van heliostaten zijn: 2015 130 euro/m<sup>2</sup>, voor 2020 de middelste schatting 113, en voor 2030 is de middelste schatting 104 euro/m<sup>2</sup>.

Er bestaat onzekerheid over groeitempo van CSP op de wereld. Om een bepaalde kostendaling per jaar te krijgen is een stevig groeitempo nodig.

De resultaten van de Parijse klimaatconferentie COP21 zijn gunstig voor het verwezenlijken van een stevig groeitempo. De subsidies voor fossiel frustreert de groei van duurzame energie, en is schadelijk voor de wereldeconomie.

In Abu Dhabi is het contract gesloten voor de bouw van een PV-centrale waarbij voor de stroom slechts 24 \$/Mwh zal worden betaald.

*(Opmerking van EdMvV: op de aandeelhoudersvergadering van Shell heeft CEO Ben van Beurden verklaard dat in de zonnige landen PV nu reeds goedkoper is dan stroom uit fossiele brandstoffen)*

---

04:15 pm	<b>Thermal Energy Storage</b>	<i>Mezzoon Ballroom 4</i>
	<i>Chair: Nicolas Calvet, Masdar Institute</i>	
04:15 pm	<u><a href="#">Capital Cost Expenditure of High Temperature Latent and Sensible Thermal Energy Storage Systems</a></u> <u><a href="#">Frank Bruno, University of South Australia</a></u>	
	<p>De kosten van zout in 2-tank systeem zijn groter dan 35 \$/kWh. De temperatuur van zout moet &lt;600 C zijn. Bij PCM (Phase-Change Materials) is minder volume nodig, bv. ijs. Hier gaat het om combinatie van PCM met een conventioneel 2-tank systeem. Capsules met PCM zitten in een tank. Alleen de materiaalkosten worden vergeleken. Cascaded EPCM (Encapsulated Phase-Change Material) is het goedkoopste. Een thermocline systeem met geopolymer is goedkoper dan met kwarts stenen.</p>	
<i>Donderdag 10:30 am</i>	<b>Modelling and Operation Strategies of DLR's Large Scale Thermocline Test Facility (TESIS)</b>	

---

---

C. Odenthal, German Aerospace Center (DLR)

Vloeibaar zout ( $\text{NaNO}_3 + \text{KNO}_3$ ) wordt opgeslagen in een thermocline tank, 22 m<sup>3</sup> inhoud. Temperatuur boven 560 C, onder 150 C. De opslagverliezen zijn laag, 2%.  
Met het thermocline concept kunnen goedkope materialen zoals stenen of grint worden toegepast.

---

10:50 am

**Dynamic Modeling of a Solar Receiver/Thermal Energy Storage System Based on a Compartmented Dense Gas Fluidized Bed**

R. Solimene, Istituto di Ricerche sulla Combustione (IRC) – CNR

Een fluidized bed is een gastroom naar boven waarin vaste deeltjes zweven. De receiver van een zonnetoren is omgeven door schillen of compartimenten met fluidized bed, met ook een warmte-opslag functie, waarmee sterke fluctuaties door passerende wolken worden afgedempt.

---

11:10 am

**Operating Results of a Thermocline Thermal Energy Storage Included in a Parabolic Trough Mini Pilot Plant**

T. Fasquelle, PROMES-CNRS

Experimenten en metingen van het schuivende warmteprofiel in de thermocline tank. De vloeistof is olie (dibenzyltolueen) en de vaste stof zijn aluminiumoxide bolletjes van 2 cm, cofalit of stenen van kool-as.

---

11:30 am

**Material Investigations on the Thermal Stability of Solar Salt and Potential Filler Materials for Molten Salt Storage**

T. Bauer, German Aerospace Center (DLR)

DLR heeft 8000 mensen in dienst in 33 verschillende instituten in Duitsland.

Er wordt gewerkt aan thermocline warmte-opslag en aan methoden om de temperatuurgrens van 560 C (door ontleding van het nitraatzout) te overschrijden.

Het is zo mogelijk om 40% kostenreductie te krijgen.

In de tank met heet nitraatzout wordt  $\text{CO}_2$  uit de lucht geabsorbeerd en omgezet in carbonaationen. De  $\text{CO}_3$ -ionen kunnen oplopen tot 5% van alle negatieve ionen in de vloeistof. Er treedt ook vorming van  $\text{NO}_2$  op. Dit alles gebeurt vooral bij een temperatuur boven 500 C.

Van de vaste stoffen in de thermocline tank wordt vooral onderzoek gedaan naar basalt en quartzite.

Er zijn al tests uitgevoerd die 4000 uur hebben geduurd.

---

Donderdag  
05:35 pm

**Investigation of Lithium Sulphate for High Temperature Thermal Energy Storage**

---

---

J. Hinkley, CSIRO

$\text{Li}_2\text{SO}_4$  heeft een fasesprong tussen twee verschillende kristalstructuren, bij 575 C, met enthalpieverschil 240 kJ/kg. De volumeverandering is slechts 3%. Samen met de gewone warmtecapaciteit kan  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  dus veel warmte opslaan in een gunstig temperatuurregime. Tussen 150 en 700 C kan lithiumsulfaat 332 kWh opslaan in 1 m<sup>3</sup>.

---

17:55:00

**Study of Thermocline Development Inside a Dual-media Storage Tank at the Beginning of Dynamic Processes**

A. Bruch, CEA

Experimenteel onderzoek naar de verschuiving van het temperatuurfront in een thermocline opslagtank tijdens laden en ontladen. De tank is 3 meter hoog en heeft een diameter van 1 meter. De vloeistof is olie, in de tank zitten stenen van 3 cm en zandkorrels van 3 mm. Het gedraagt zich als een 1-dimensionaal systeem. Er is geen hysteresis gezien in de meetresultaten.

---

11:50 am

**Demonstration of EnergyNest Thermal Energy Storage (TES) Technology**

N. Hoivik, EnergyNest AS

Warmteopslag in cilindervorm van een speciaal soort beton met een gelijke uitzettingscoëfficiënt als de staalbuizen die er doorheen lopen. De merknaam van het beton is Heatcrete®. Het bevat geen water. De warmtegeleiding is 70% hoger, en de warmtecapaciteit is 30% hoger dan gewoon beton. Units van 2 x 2 x 12 meter hebben een opslagcapaciteit van 2 MWh. Er is al 3500 uur testervaring opgebouwd. De meetresultaten kloppen perfect met het model. Omdat er veel minder parasitaire verliezen zijn door het rondpompen van vloeibaar zout is de opbrengst 1,6% hoger in het geval van een 50 MW CSP-centrale.

Tijdens de excursie naar het Masdar Institute zal ik hun opstelling zien.

---

12:10 pm

**Parametric and Optimization Analysis of a Packed Bed Thermal Energy Storage System**

I. Ortega, CIC Energigune

Toepassing van hete lucht als transportmedium, en staalslakken als vulmateriaal.

---

12:10 pm

**Parametric and Optimization Analysis of a Packed Bed Thermal Energy Storage System**

II. Ortega, CIC Energigune

Toepassing van hete lucht als transportmedium, en

---



---

staalslakken als vulmateriaal.

---

---

---

---

---

---

## **Linear Fresnel Systems**

---

*Dinsdag  
05:15 pm*

[Dynamic Modeling and Adapted Design of a Low Cost Linear Fresnel Power Plant for Rural Area in West Africa](#)  
[Gaëlle Ko, Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie \(LESEE\)](#)

Na afloop praat ik met haar en stel haar voor om haar op de hoogte te stellen van de inklapbare fresnelspiegels. Ik zal haar dit toesturen. Ik vertel van de WaterWin, en dat ik samenwerking met een zonnig land zoek. Ze komt uit Burkina Fasso.

---

Poster J-01

### **Evaluation of Energy Yield for Fixed Linear Fresnel Reflectors Type Concentrated Solar Power System in the UAE**

Z. Iqbal, RAK Research and Innovation Center, American University of RAK

Roterend platform met Fresnelopstelling. Ze hebben ook een grote vijver (80 m) met perslucht er onder, daar gebeurt nu niets mee. Ik herinner mij deze opstelling uit publicaties. Ik vertel van de drijvende troggen van Solaq, Iqbal vraagt informatie. Umer Jamil van ZED Lmd komt er bij, hij is fabrikant van dishes, gevestigd in Pakistan. Ik probeer hun te interesseren in het concept van schotels op een drijvend platform. We spreken af dat ik een voorstel stuur voor een gezamenlijk project, ZED schotels op het 80 m platform van RK, in de buurt van Dubai, er moet hiervoor dan financiering worden gevonden. Iqbal stelt voor dat ik langs kom om bij zijn opstelling te komen kijken, ik zeg dat ik de hele week kan, maar daarna aarzelt hij.

ZED maakt schotels met 8 en met 14 diameter, ze hebben een stand, waar ze een kleine schotel van 2 meter tonen. De spiegelsegmenten bestaan uit dun (ongeveer 1 mm) glas dat in dubbele kromming gelijmd is op een aluminium honingraatplaat.

---

*Coffee Break*

---

---

WOENSDAG  
10:15 am

Gesprek met Cathy Frantz. Ze heeft (in welk verband is mij niet duidelijk) 4 heliostaatspiegels van 4X4 meter geplaatst bij het dorp Rjukan, in de buurt van Oslo, die een terras beschijnen in een dorp waar de zon door schaduwwerking nooit komt.

---

---

---

---

---

## Thermochemical Storage

---

Woensdag  
01:45 pm

**Thermochemical Storage for CSP via Redox Structured Reactors/Heat Exchangers: the RESTRUCTURE Project**  
G. Karagiannakis, Aerosol & Particle Technology Laboratory, CPERI/CERTH

charging:  
 $\text{Co}_3\text{O}_4 \rightarrow 3\text{CoO} + 1/2\text{O}_2$

---

02:05 pm

**Experimental Proof of Concept of a Pilot-scale Thermochemical Storage Unit**  
S. Tescari, German Aerospace Center (DLR)

$\text{Co}_3\text{O}_4 \rightarrow 3\text{CoO} + 1/2 \text{O}_2$  844 kJ/kg  
Deze opstelling is ongeveer  $1/2 \text{ m}^3$   
13 kWh chemische opslagcapaciteit en 6 kWh thermische opslagcapaciteit.

---

02:25 pm

**Investigations on Thermochemical Energy Storage Based on Manganese-iron Oxide in a Lab-scale Reactor**  
M. Wokon, German Aerospace Center (DLR)

Metaaloxiden reduceren en oxideren, dit gaat met lucht, er is geen zuivere zuurstof nodig.  
Laden door toevoeging van warmte:  
 $6\text{Mn}_2\text{O}_3 + \Delta\text{H} \rightarrow 4\text{Mn}_3\text{O}_4 + \text{O}_2$   
Bij de omgekeerde reactie komt warmte vrij.  
 $6\text{Mn}_{0,67}\text{Fe}_{0,33}$  is beter, vervangt de  $\text{Mn}_2$

---

02:45 pm

**Directly Irradiated Fluidized Bed Reactors for Thermochemical Processing and Energy Storage: Application to Calcium Looping**  
C. Tregambi, Università degli Studi di Napoli Federico II

Seizoensopslag met kalk:  
 $\text{CaCO}_3 + \Delta\text{H} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$   
De reactiewarmte is 178 kJ/mol.  
De reacties verlopen bij 650 en 950 C.

---

---

Toepassing van een Fluidized Bed reactor.

---

03:05 pm

**Proof of Concept of the CaO/Ca(OH)<sub>2</sub> Reaction in a Continuous Heat- Exchanger BFB Reactor for Thermochemical Heat Storage in CSP Plants**  
S. Rougé, CEA

$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O (damp)} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$

De reactiewarmte is 105 kJ/mol = 1875 kJ/kg CaO.

De reacties treden op bij 300 en 600 C.

---

Poster P-01

**Safe and Dense Chemical Storage of Renewable Energy via the Hydrogen Route**

W. Arlt, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Waterstof wordt geabsorbeerd in dibenzyltolueen, een Liquid Organic Hydrogen Carrier. Het hydrogenation-proces verloopt bij 80 – 250 C, en 10 – 50 bar, er komt warmte bij vrij, 70 kJ/mol H<sub>2</sub> en er is een katalysator nodig. Uiteindelijk is de massa toegenomen, en bestaat 6% van de massa uit waterstof die er weer uit te halen is.

Voor het omgekeerde dehydrogenation proces is warmte nodig bij 280 – 320 C, er is een katalysator nodig, 1 bar druk is voldoende, maar drukker tot 5 bar zijn toegestaan.

Dibenzyltolueen kost 4 €/kg.

Het “geladen” is veilig en kan in auto's dieselolie vervangen. De energiedichtheid hiervan is 1/3 deel van diesel bij toepassing van een brandstofcel.

Een bedrijf dat hier actief is heet MARLOTHERM SH.

---

03:45 pm

*Break for Dinner*

Ik zit naast Johan Lilliestam, die hele speciale redenen heeft om te verklaren waarom Desertec (waaraan hij mee heeft gedaan) mislukt is.

Johan is spreker, en moest daarom een formulier van de UAE-autoriteiten invullen met o.a. vermelding van zijn religie, wat hij niet deed, aangezien hij ongelovig is. Maar dat werd niet geaccepteerd, dus uiteindelijk vulde hij in: christelijk, maar dat mocht ook niet, het moest specifiek, dus ten einderaad dan maar luthers, want zij is een Zweed (maar werkt nu in Zürich).

---

---

## Parabolic Trough

---

Donderdag  
08:30 am

### **Shams 1 – Design and Operational Experiences of the 100MW - 540°C CSP Plant in Abu Dhabi**

A. Alobaidli, Shams Power Company

De spiegels moeten iedere dag worden schoongemaakt (gebeurt na zonsondergang) om een reflectiviteit van >97% te handhaven. Er zijn windschermen geplaatst. De gestelde productiedoelen zijn gehaald. In 2016 was de betrouwbaarheid 99%, d.w.z. slechts 1% van de tijd was de centrale uitgevallen.

Er wordt stoom van 540 C geproduceerd door de stoom uit het spiegelveld met gas extra te verwarmen. 85% van de stroom komt van de zon, 15% uit gas.

---

08:50 am

### **PVMirrors: Hybrid PV/CSP Collectors that Enable Lower LCOEs**

K. Fisher, Arizona State University

De parabolische trogspiegel laat de infraroodfotonen door naar de silicium cellen er achter, en reflecteert de rest naar de receiver.

Goedkoop dichroic spiegel folie (van 3M) wordt gebruikt.

Transmissie tussen 600 en 1000 nm naar de PV, rest reflectie naar de receiver.

Met deze methode kan de LCOE van een trogcentrale 15 tot 20% lager worden.

---

10:00 am

### *Coffee Break*

Ik voer een gesprek bij de stand van Skyfuel met Eric Frazier. Ze leveren spiegels bestaande uit aluminiumplaat van 1,2 mm bedekt met Reflectec spiegel folie. Ze hebben nu 7 jaar ervaring in het veld opgebouwd. Het opplakken van spiegelend folie is te moeilijk voor de meeste klanten. Ik vertel van de ervaringen van Solaq met spiegelend folie van 3M. Frazier zegt dat 3M is gestopt met het spiegelende folie.

De spiegelplaat van Skyfuel zou geschikt kunnen zijn voor de heliostaten van Sun2point.

Ik voer een gesprek bij de stand van HELIOVIS. Zij hebben een opgeblazen buis of slang van dun doorzichtig plastic, met daarin een spiegel folie, dat door drukverschil een min of meer parabolische vorm krijgt (net als een trogspiegel). De concentratie is niet ideaal, maar voor proceswarmte is dit concept prima.

---

---

---

---

## Solar Fuels

---

Donderdag  
02:05 pm

### **Experimental Determination of Energy Upgrade Factor for Solar Pyrolysis of Beech Wood** G. Flamant, CNRS-PROMES

De pyrolyse van pellets (0,3 gram) van beukenhout wordt uitgevoerd in een ballon-reactor van pyrex in de receiver van een grote zonne-oven (dish). Er is een gasstroom met argon. De vloeistof component (teer) wordt gecondenseerd met droog ijs. Er wordt bio-olie, bio-houtskool en bio-gas geproduceerd. Hoe hoger de temperatuur in de reactor, hoe meer biogas: H<sub>2</sub>, CO en CH<sub>4</sub> er wordt geproduceerd, en hoe minder teer en houtskool. Bij 1200 C is de energiebijdrage van houtskool 10%, teer en gas beide 45%. Door deze procedure wordt de energie-inhoud van de biomassa verhoogd met 20 tot 50%, dat is dus opgeslagen zonne-energie, oftewel een zonnebrandstof.

*(opmerking van EdMvV achteraf: als het houtskool wordt begraven, dan is deze methode een goede Negatieve-Emissie Technologie om het klimaatopwarming te bestrijden).*

---

03:05 pm

### **Thermodynamic Equilibrium Modelling and Solar Reactor Design for Syngas Production Through SCWG of Algae** J. Pye, Australian National University

Dit is een theoretisch onderzoek naar toepassing van geconcentreerd zonlicht in het vergassen van biomassa in de vorm van algen: Solar Assisted Super-Critical Water Gassification (SCWG). Geconcentreerd zonlicht wordt gebruikt om de algen te drogen en daarna te vergassen. Van het ontstane syngas wordt d.m.v. de Fischer-Tropsch reactie vloeibare brandstoffen gemaakt. Uit de berekeningen volgt dat je van 18% van de zonne-energie syngas kunt maken.

---

03:25 pm

### **Conceptual Study of the Coupling of a Biorefinery Process for Hydrothermal Liquefaction of Microalgae with a Concentrating Solar Power Plant** A. Galia, Università degli Studi di Palermo

Trogspiegels met warmteopslag met vloeibaar zout worden gebruikt om de warmte te leveren om de productie van bio-crude uit algen effectiever en goedkoper te maken.

---

---

Dit gebeurt bij temperaturen 250 tot 400 C en drukken van 230 tot 300 bar.

10:30 am

### **Solar Kerosene from H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>**

P. Furler, ETH Zurich

Solar Jet programma. Hier heeft Shell ook aan meegedaan.  
Simultane CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O splitsing.  
H<sub>2</sub> + CO catalytic fuel synthesis

stap 1: CeO<sub>2</sub> + warmte → CeO<sub>(2-δ)</sub> + ½ O<sub>2</sub> , reactie loopt bij 1200 C

stap 2: CeO<sub>(2-δ)</sub> + waterdamp met water → syngas, reactie loopt bij 900 C.

Schuim van CeO<sub>2</sub> in de receiver.

Dit blijft redelijk stabiel tijdens de temperatuurcycli.

De Solar reactor efficiency is 2%, nog veel te laag.

Voorgestelde verbeteringen:

Dopen met andere metalen.

Perofskieten toepassen.

Andere metaaloxiden toepassen.

De reactortechnologie verbeteren.

Het schakelen tussen 1050 en 800 C, dat kost veel energie, dit is de grootste verliesfactor.

De volgende stap is Sun to Liquid, dit wordt een Horizon2020 project. Er wordt CO<sub>2</sub> uit de lucht ingevangen. Nu doet Shell niet meer mee.

Spreekster zou het liefst een schotel van 1000 m<sup>2</sup> willen gebruiken.

---

10:50 am

### **Integration of Photovoltaic and Concentrated Solar Thermal Technologies for H<sub>2</sub> Production by the Hybrid Sulphur Cycle**

R. Liberatore, ENEA

Hybrid-Sulfur cyclus:

In de toren, bij t > 850 C:



gebeurt alleen overdag

Bij warmte die wordt geleverd door troggen met warmteopslag, dus continu t < 100C:

SO<sub>2</sub> Depolarized Electrolysis:



Indampen (concentreren) van het zwavelzuur.

---

---

Bestudeerd wordt: toevoegen van PV overdag, en toevoeging van zwavel (inkoop) en zwavel verbranden.

Diverse opties doorgerekend voor de situatie van Almeria. De beste optie ook berekend voor Atacama, Alghero en Ben Guerir. De productiekosten van het waterstof variëren tussen 8 en 12 euro/kg.

---

11:50 am

### **Solar Hydrogen Production with Cerium Oxides Thermochemical Cycle**

M. Binotti, Politecnico di Milano

Berekeningen.

De kosten om waterstof te produceren met de Ceriumoxide methode zijn 29 tot 33 eurocent/kWh<sub>H<sub>2</sub></sub>. Voor Las Vegas wordt een jaar-gemiddeld zon → waterstof-energie rendement van 17% berekend met toepassing van een zonnetoren. De kosten zijn aanzienlijk lager dan bij toepassing van PV of van een dish stirling systeem.

---

### **Policy and Marketing**

---

Donderdag  
02:25 pm

### **Learning Curves for Concentrating Solar Power Based on Empirical Data of All Operational Stations**

J. Lilliestam, ETH Zurich

Analyse van de kosten van alle werkende CSP-centrales t/m 2015. LCOE (Levelised Cost Of Electricity), dat zijn de productiekosten per geleverde kilowattuur, worden berekend in euro's van 2015, uitgaand van een rente van 5% en een levensduur van 20 jaar.

De leercurve is gedefinieerd als:

$$C_{cum} = C_o n^b$$

met  $C_{cum}$  = de kosten per eenheid,

$C_o$  de kosten van de allereerste eenheid,

$n$  het totaal aantal gebouwde eenheden op de wereld en

$b$  de experience index, de ervaringsindex.

Als  $b=0$  is er geen sprake van kostendaling, maar in de praktijk is  $b$  vrijwel altijd negatief.

Als het totale aantal opgestelde eenheden wordt verdubbeld, dan is er sprake van een kostendaling die de learning rate LR wordt genoemd, en waarvoor geldt

$$LR = 1 - 2^b$$

---

Het resultaat is een LR van 7,1% per verdubbeling van de totaal opgestelde CSP-capaciteit, bijna 5000 MW.

Dit is aanmerkelijk lager dan de meeste andere hernieuwbare energiebronnen.

Het wisselt enorm als we naar afzonderlijke groepen van CSP kijken. In de periode van de sterke groei van CSP in Spanje was de LR zelfs negatief, er was geen druk om de kosten te verminderen. Maar vanaf 2011 is de learning rate groot, 35%, maar dit getal is gebaseerd op slechts enkele projecten, en heeft dus een grote fout. Er bestaat het gevaar van verstoringen (disruptions). De variatie in kosten tussen individuele centrales is groot. Dit wijst op een geringe technologische rijpheid en geringe standaardisatie. Het doel van SunShot, een LCOE van 6 \$/kWh in 2020 zal niet worden gehaald.

---

Poster L-04

**Renewable Energy Cooperation and Solar Thermal Electricity: What Can We Learn from the Past? What Should We Expect for the Future?**

N. Caldes, CIEMAT

Uitgebreid gesprek gevoerd. Natalia Caldes is een van de auteurs van het RES for LESS project uit 2011 met een voorstel voor o.a. import van CSP-stroom van Spanje naar Nederland. Maar in Spanje was toen geen interesse (meer). Zij stelt in haar poster voor dat er een groot wetenschappelijk onderzoek wordt gedaan. Ik stel voor om belangstelling hier voor te vinden om aan deel te nemen bv. vanuit Groningen of eventueel het Copernicus instituut Utrecht. Wellicht TUD.

---

03:45 pm

*Coffee Break*

Ik maak een discussie mee tussen Johan Lilliestam en Christian Breyer over het werkelijke tempo van de energietransitie en de extrapolatie.

---

**Water Desalination and Process Heat**

---

Mijn buurman, Mathias Weber, wil met drones een enorme central receiver maken die vliegt. Wat daarvan het nut is begrijp ik niet. Hij



---

zegt dat drones uiterste stabiel zijn (door allerlei stabilisatiesystemen) wegens hun camerafunctie. Ik vertel van onze problemen op Texel, en waarschuw hem voor schadelijke interacties tussen drones die vlak naast elkaar vliegen. Ze overwegen ook een structuur, een soort luchtballen, met daarin de spiegels. Dat lijkt me beter te stabiliseren.

---

Vrijdag  
08:50  
am

**N-doped TiO<sub>2</sub> Nanocomposites as Efficient Catalysts for Water Remediation Under Visible Radiation**

G. Palmisano, Masdar Institute of Science & Technology

Fabrikage van de lagen met de sol-gel methode . Enkele procenten NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> bijgemengd in de TiO<sub>2</sub>. Deeltjes van 5-200 nm. Rutile deeltjes en Brookite deeltjes. De reflectie wordt gemeten als functie van het N gehalte bij zichtbaar licht.

Het gaat om de oxidising power van de katalysator.  
Fotoluminescentie emissiespectrum door 320 nm fotonen.  
Erg specialistisch. Er zijn geen spectaculaire effecten van de N doping.

---

09:10  
am

**Thermal Performance Assessment of a Large Aperture Concentrating Collector in an Industrial Application in Chile**

A. Pino, Fraunhofer CSET

Dichtbij Santiago (Chili), de DNI is daar ongeveer 1650 kWh/m<sup>2</sup>/jaar (ontwerp), 2600 in werkelijkheid. Troggen met 3M spiegels type 1100 (wat Solaq ook op Texel toepaste)  
De troggen zijn 7m breed en 12 m lang, 8 stuks  
Water wordt in de receiverbuizen verwarmt tot maximaal 110 C.  
Dit is om water voor te verhitten.  
Er is 1% reflectieverlies per dag door vervuiling.  
De efficiency stijgt van 41% naar 65% als de werkdruk en temperatuur van het water stijgt van 110 C naar 150 C en van 1,4 bar naar 5 bar. De solar fraction stijgt dan van 8 naar 32 %.

Na afoop vraag ik hun ervaring met de 3M spiegels. Het folie is door een extern bedrijf oogeplakt, er zijn wel wat bellen en plooiën. Het grootste nadeel is de geringe krasbestendigheid bij schoonmaken.

---

09:30  
am

**Economical and Environmental Analysis of Thermal and Photovoltaic Solar Energy as Source of Heat for Industrial Processes**

M.A. Silva-Pérez, University of Seville

Vergelijking tussen 5 methoden: compound parabolic collector (CPC), PTC troggen ( PTC), fresnel (LFC), foto-voltaisch met weerstandsverhitting (PV) en foto-voltaisch met warmtepomp (HP)  
Er worden 5 sites op de wereld bekeken.

---

---

Het doel is warmte van 200 C winnen. .

PTC, CPC en LFC zijn goedkoper, maar voor hoe lang?  
De CO2 vermijding is bij PTC, CPC en LFC veel groter dan bij PV.  
Ik stel een vraag, wordt niet duidelijk beantwoord.

---

09:50  
am

## **Experiences with Industrial Solar Process Steam Generation in Jordan**

L. Willwerth, German Aerospace Center (DLR)

RAM Pharma is een farmaceutisch bedrijf in Amman. Er is een stoomdrum met 6 bar druk. Een 394 m<sup>2</sup> fresnelveld produceert 14 bar. Het wordt gecombineerd met fossiele brandstof. Tussen 9:30 en 18 uur is er geen fossiel verbruik. Fossiel werkt gepulsd, afhankelijk van de druk.  
Het aandeel aan zon is 20%, fossiel 80%.

---

10:00 am *Coffee Break vrijdag*

Gesprek met Prof. Abdunaser Sayma, Londen. We komen op energieopslag, ik zeg enthousist te zijn over de vloeistof die waterstof kan opslaan, hij zegt dat dat duur is, ik zeg 4 dollar per kg, als investering, dus te doen. Dan zegt hij dat je er met waterstof nog lang niet bent. Ik zeg dat je gasturbines kunt laten draaien op waterstof, hij zegt dat dat niet kan, hij is al 20 jr specialist. Maar het zou te ontwikkelen kunnen zijn, maar dat gebeurt niet, want er zijn geen economische belangen. Ik zeg dat de politiek dan moet gaan stimuleren. Hij: dat gebeurt niet. Ik noem de Duitse EEG als voorbeeld, daar reageert hij niet op. Kortom, een rabiate neo-liberaal.

---

## **Closing Session**

Vrijdag  
01:45  
pm

Cedric Philibert, International Energy Agency (IEA)

10 jaar geleden was CSP twee keer zo goedkoop als PV, nu is PV-prijs een derde van CSP.  
Maar CSP heeft meer waarde door opslag.  
CSP concurreert met PV+ = PV met batterijen, of met pumped storage.

Momenteel is pumped storage dominant, 99% van 141 GW  
De CSP-storage capaciteit is nu 1,5 GW.  
Hoe gaan de batterijkosten zich ontwikkelen?

De huidige dominantie van CSP blijft alleen bestaan als het om 6 uur of langere opslag gaat.

De noodzaak van opslag vermindert als er demand-size management wordt gedaan, zoals ijsproductie in airco's, waarmee

---

---

koude wordt opgeslagen.

In de IEA Technology Roadmap van 2014 is CSP aanvullend op PV.

In de toekomst zal CSP de hele nacht leveren.

In de World Energy Outlook van 2015 is de verwachting dat in 2040 de CSP-capaciteit zal zijn 262-937 TWh/jaar.

In de WEO van 2016 is dit iets lager bijgesteld.

Volgens jaar komt er een <2 graden scenario. Hoe zal het aandeel voor CSP dan worden?

---

Vrijdag  
01:45  
pm

---

**Trends in Central Receiver Systems**  
P. Gauché, Stellenbosch University

Er zijn op deze conferentie 103 papers over systemen met een brandpunt, 96 over torens en 7 overzonneshotels. Gauché is optimistisch over dishes, zonder hier een argumentatie voor te geven.

---

02:00  
pm

**Trends in Line Focussing Systems**  
E. Zarza, CIEMAT-PSA

Slechts 50 papers over troggen en lineaire Fresnelsystemen op deze conferentie..

---

02:15  
pm

**Trends in Thermal Storage**  
J. Hinkley, CSIRO

Er zijn 41 papers over warmteopslag.

---

02:30  
pm

**SolarPACES Awards**

Awards worden uitgereikt aan:

1. Glasspoint (de troggen in een grote kas in Oman, voor enhanced oil recovery, een project waar Shell ook aan meedoet.)
2. Wolfgang Schiel van Sleich, Bergerman und Partner, heeft in vrijwel alle CSP-technologieën gewerkt.

In zijn dankwoord stelt hij dat toepassing van technologie zonder politieke visie te weinig effectief is, SolarPACES moet met een duidelijke visie komen hoe de wereld moet gaan investeren in CSP.

---

02:40  
pm

**Announcement SolarPACES 2017**

De SolarPACES2017 zal in Chili worden gehouden. Er wordt een mooie film over Chili getoond.

---

Na afloop praat ik na met Johan Lilliestam, Natalia Caldes, en een man van ESTELA die in Hoofddorp voor de VZKC een presentatie heeft gegeven, Marcel Bial. We zijn het er over eens dat SolarPACES veel te veel uitsluitend over techniek gaat, terwijl het van levensbelang is dat er in een aantal landen een pro-investeren in CSP politiek komt. volgens Johan. Ik stel Johan voor om samen naar het strand te gaan, hij doet in het hotel in de Etihadtoeren zijn zwembroek aan onder zijn kleren en loopt met mij mee, een kilometer of twee. Ik zwem eerst terwijl hij op mijn spullen past, daarna zwemt hij.

We discussieren verder over politiek. Ik kom met mijn theorie dat de weerstand tegen het desertec-idee terug te voeren is op opkomend nationalisme, daar is hij het mee eens. Johan komt zelf met het verhaal dat de populistische partijen een verhaal hebben: het gaat slecht met ons, en dat ligt aan de moslims. Maar het probleem is dat alle politieke partijen naar het midden kruipen, en eigenlijk geen verhaal hebben. Zij willen niet het risico nemen dat ze verliezen omdat ze met een verhaal of ideologie komen waar een deel van de kiezers het mee oneens is. Dus voor de populisten zijn alle partijen (behalve PVV, Alternative für Deutschland, UKIP, enz. dus een pot nat).

Wat SolarPACES betreft, we moeten inzetten op een nieuw hoofdstuk, naast central receivers, thermal storage, enz. nl. policy making. Ik zal het initiatief nemen en een mail rondsturen.

### **Zaterdag 15 oktober Excursie naar de Shams-1 centrale en het Masdar Institute.**

Ik zit in de groep die eerst naar het Masdar Institute gaat en daarna naar de Shams trogcentrale. We vertrekken om 8 uur, in de bus zit ik naast Mathias Weber, van de drones. Duitser, maar al lang woonachtig in Zuid-Afrika, met een Zulu vrouw getrouwd. Sportief, heeft hier in Abu Dhabi een fiets gehuurd waarmee hij zich door de stad verplaatst. Tijdens de vele busritten wisselen we veel informatie uit. Hij heeft in ZA een PV-installatiebedrijf, maar zijn liefde zit in CSP. Volgens hem kun je drones zeer stabiel houden, ondanks de wind. Hij wil met drones spiegels bedrijven. Ik opper vlakke spiegels, vliegende heliostaten. Hij denkt aan lassen, ik adviseer daarvoor een fresnellens te gebruiken. Je kunt denken aan 3 of 4 drones die de fresnellens in positie houden en 1 of 2 drones die de lasstaaf bedienen. En dan toepassen bij het lassen van scheepswanden. En voor het binnenwerk: extra vliegende heliostaten om het zonlicht binnen te brengen. Kortom, we amuseren ons met tamelijk dolgedraaide fantasieën.

We gaan eerst naar het Masdar Instituut, een mastersopleiding en PhD-opleiding volgens Amerikaanse (MIT) standaard. Het hoofdthema is duurzame technologie, er is een waterlaboratorium. Studenten kunnen hier voor weinig geld terecht, hun campus is in hetzelfde gebouwencomplex.

We zien een stukje van de laboratoria. Op een binnenplaats staat een vrij hoge toren met half open wanden. Die zijn bovenaan zo geconstrueerd dat door de wind watercondensatie optreedt als de vochtigheid dicht bij 100% ligt, wat hier vaak het geval is. Vandaag is het extra vochtig, de man die ons rondleidt, Ken Volk, zegt dat het in stad regent. Het druppelt voortdurend in de binnenkant van de toren, er liggen plassen op de straattegels onder de toren. Op de terugweg eind van de middag zie ik hier en daar plassen op het land. We zien een testveld voor PV, een testplatform voor stralingsmeters, en een beam-down toren: heliostaten kaatsen naar secundaire spiegels in een toren, en die kaatsen naar de bovenkant van een receiver. Hiermee is het gemakkelijker om chemische reacties te doen die de hoge temperatuur van geconcentreerd zonlicht nodig hebben.

Het MasdarInstitute is onderdeel van het oorspronkelijk zeer ambitieuze project Masdar City, een

stad die vrijwel volledig duurzaam zou worden. Maar intussen zijn de plannen flink naar beneden bijgesteld, de stad zal worden gebouwd, maar in een veel lager tempo, en veel minder ambitieus wat de duurzaamheid betreft.

We lunchen in de sportzaal van het Masdar Institute. Ik lunch met Dimitros Dimitrakis uit Tessaloniki, het Kreta CSP-project van NUR Energy heeft volgens hem alle permissies gekregen, maar of er al echt gebouwd wordt is hem onbekend. Ik vertel hem van ons voorstel om het Heliosprogramma (gedeeltelijk) door Nederland te financieren, als onderdeel van het door de EU verplichte aandeel 14% aan duurzame energie in 2020, en de interne politieke problemen hierover in Nederland. Ik zie Wolfgang Schiel, en we wisselen kaartjes uit, ik vertel hem van een mogelijke actie om op de SolarPACES ruimte te geven over visie en scenarios en politiek.

We rijden daarna met de bussen naar de Shams-1 trogcentrale, een rit van 2 uur door de woestijn. Die is eerst volkomen vlak, maar later zijn er lage duinen. Er is intensief verkeer van vrachtwagens. De Shamscentrale heeft geen warmteopslag, en de opgewarmde olie uit het spiegelveld wordt verder verwarmd van 390 C naar veel hoger m.b.v. gas, om een hoger rendement te halen. Het zon-aandeel in de stroom is 85%, het gas-aandeel 15%. Het geleverde vermogen is ruim 100 MW. Ik maak foto's.



Evert van Voorthuysen bij de parabolische trogspiegels van de Shams centrale bij Madinat Zayed, 15 oktober 2016.

