



Woestijnstroom

Willem Dierckx
Ronny Van Eester
Philip Lieckens
Bart Buyens



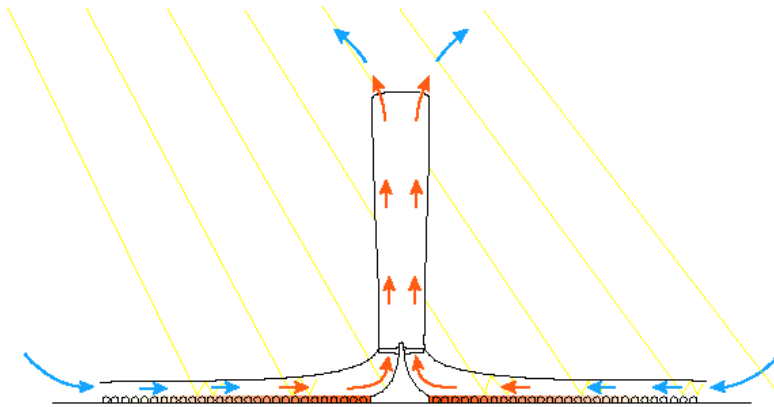
DE NAYER INSTITUUT

SINT-KATELIJNE-WAVER

4 Zonneschoorsteen

4.1 Werking:

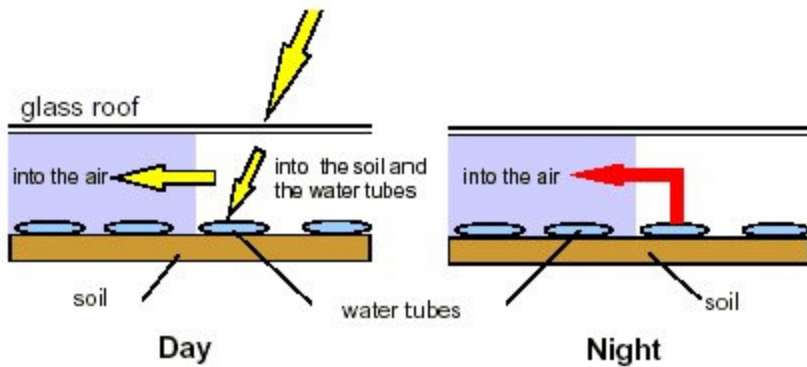
De zonneschouw bestaat uit een cirkelvormig doorschijnende collector die aan de rand open is en in het midden staat een toren met een grotere doorsnede bovenaan. De ruimte tussen de collector en de grond dient als opslagruimte voor de warme lucht. Het principe van de zonneschouw is heel simpel namelijk het verschijnsel dat warme lucht stijgt. Deze warme lucht wordt door de toren aangezogen en er wordt koude lucht aangevoerd aan de rand van de collector. Dankzij de met water gevulde tubes onder de collector te plaatsen heeft met een stabiel rendement in het andere geval heeft men alleen maar overdag een goed rendement. Overdag warmen deze op en 's nachts geven deze hun warmte af. De aangezogen warme lucht wordt door windturbines omgezet naar mechanische energie. Met generatoren wordt deze energie omgezet van mechanische energie naar elektrische energie.



figuur 4.1: de zonneschoorsteen [tsc]

4.2 Opslagruimte

De opslagruimte bestaat uit glas of doorschijnende plastic enkele meters boven de grond. Hoe dichter bij de voet van de toren hoe hoger het glas. Dit is omdat de lucht in opgaande beweging zou komen met een minimum aan energieverlies. Het glazen dak voegt de stralingscomponent toe en zorgt ervoor dat de warmte niet terug de atmosfeer wordt ingestuurd.



figuur 4.2:[wiki1]

4.3 Turbine:

De wieken van de turbine gaan door de warmtestroom beginnen draaien. Deze draaiende beweging wordt via een as overgezet naar een tandwieloverbrenging. Deze tandwieloverbrenging zorgt ervoor dat de trage omwentelingsnelheid van de as overgezet wordt naar een hogere omwentelingsnelheid naar de generator.

Formule

tandwieloverbrenging:

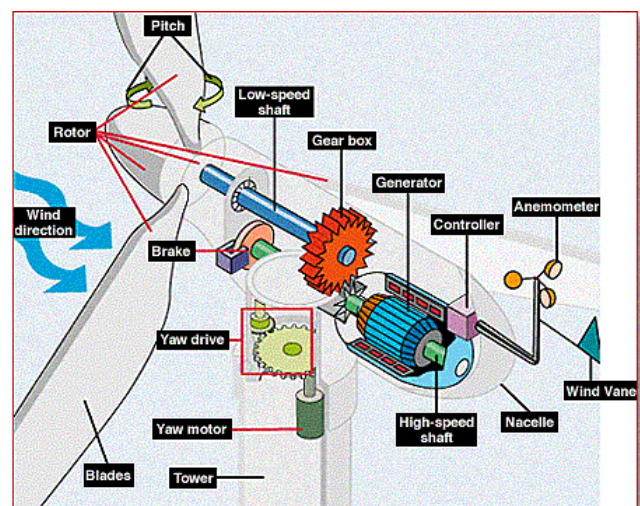
$$n_1 \cdot v_1 = n_2 \cdot v_2$$

n_1 = aantal tanden groot tandwiel

v_1 = omwentelingsnelheid van het grote tandwiel

n_2 = aantal tanden kleine tandwiel

v_2 = omwentelingsnelheid van het kleine tandwiel



figuur 4.3: turbine [wiki]

formule: [wiki]	
-----------------	--

De generator zet de mechanische energie om in elektrische energie.

4.4 Constant vermogen:

Om de zonneshouw een constant vermogen te laten leveren zowel overdag als 's nachts wordt de bodem van de collector gevuld met water tot een niveau van 5 tot 20 cm. Dit heeft als voordeel dat water een grote warmtecapaciteit heeft. 's Nachts wordt de warmte die overdag is opgeslagen afgegeven zodat je ook 's nachts een goed rendement heeft.

$$P = \dot{Q}_{\text{solar}} \cdot \eta_{\text{coll}} \cdot \eta_{\text{tower}} \cdot \eta_{\text{turbine}} = \dot{Q}_{\text{solar}} \cdot \eta_{\text{plant}}$$

\dot{Q}_{solar} = zonne-energie [W]

η = rendement

$$\dot{Q}_{\text{solar}} = G_h \cdot A_{\text{coll}}$$

G_h = straling van de zon [W m^{-2}]

A_{coll} = opp. v.d. collector [m^2]

$$\Delta p_{\text{tot}} = g \cdot \int_0^{H_{\text{tower}}} (\rho_a - \rho_{\text{tower}}) \cdot dH$$

Δp_{tot} = verschil in druk tussen de voet van de toren en de top van de toren (dit verhoogt bij een hogere toren) [N m^{-2}]

g = gravitatiekracht [m s^{-2}]

$$\Delta p_{\text{tot}} = \Delta p_s + \Delta p_d$$

Δp_{tot} is ook de som van de dynamische druk met de statische druk.

De statische druk beschrijft de drukval van de turbine en de dynamische component beschrijft de kinetische energie van de luchtstroom.

$$P_{\text{tot}} = \Delta p_{\text{tot}} \cdot v_{\text{tower,max}} \cdot A_{\text{coll}}$$

$v_{\text{tower,max}}$ = maximale snelheid van de lucht in de schouw [m s^{-1}]

$$\eta_{\text{tower}} = \frac{P_{\text{tot}}}{\dot{Q}}$$

$$P_{\text{tot}} = \frac{1}{2} \dot{m} v_{\text{tower, max}}^2$$

$$v_{\text{tower, max}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{\text{tower}} \cdot \frac{\Delta T}{T_0}}$$

ΔT = Het temperatuurverschil tussen de temperatuur aan de voet van de toren en aan de top van de toren.

$$\eta_{\text{tower}} = \frac{g \cdot H}{c_p \cdot T_0}$$

c_p = De soortelijke warmte van het materiaal van de toren. [J kg⁻¹ K⁻¹]

$$P_{\text{electr}} = \frac{2}{3} \cdot \eta_{\text{coll}} \cdot \eta_{\text{wt}} \cdot \frac{g}{c_p \cdot T_0} \cdot H_c \cdot A_{\text{coll}} \cdot G$$

η_{wt} = Mechanisch rendement

formules: [tsc]

Prototype in Manzanares, Spanje:

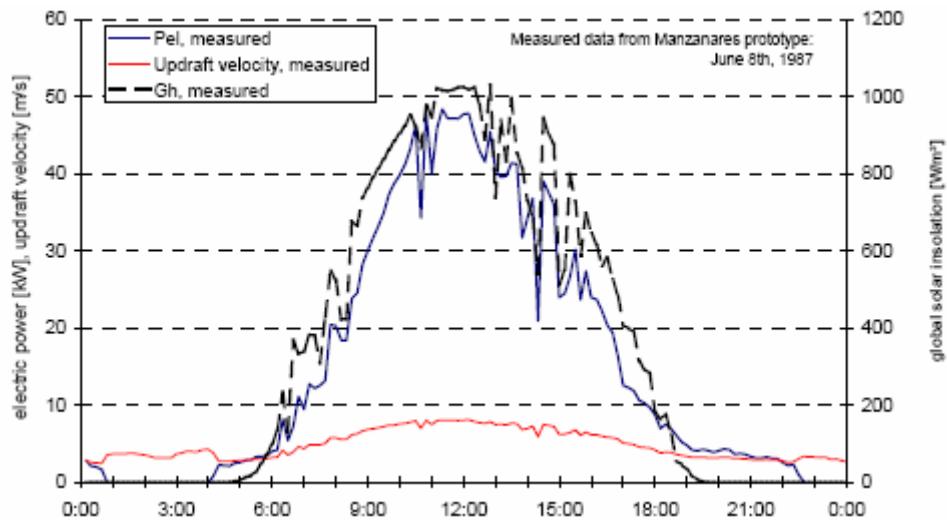
Om te testen dat het idee van de zonneshouw in de praktijk ook zo goed werkt werd er in Manzanares, Spanje in 1981/1982 een testtoren gebouwd. Dit prototype kon tot een piekvermogen van 50kW halen. Men heeft verschillende tests en metingen uitgevoerd op dit prototype die zeer positief waren. Het grote voordeel was dat men maar slechts 1 persoon nodig heeft om de zonneshouw draaiende te houden. Uit dit prototype kon men besluiten dat het idee van de zonneshouw economisch haalbaar is.



figuur 4.4: zonneshouw in Manzanares [wiki1]

Hoogte van de toren	194.6m
Diameter van de toren	5.08m
Diameter van de collector	122.0m
Hoogte van de collector	1.85m
Aantal schoepen van de turbine	4
Profiel van de schoepen van de turbine	FX W-151-A
Geleverd vermogen	50kW
Aantal m ² plastic	40000m ²
Aantal m ² glas	6000m ²

Gegevens [sbp]



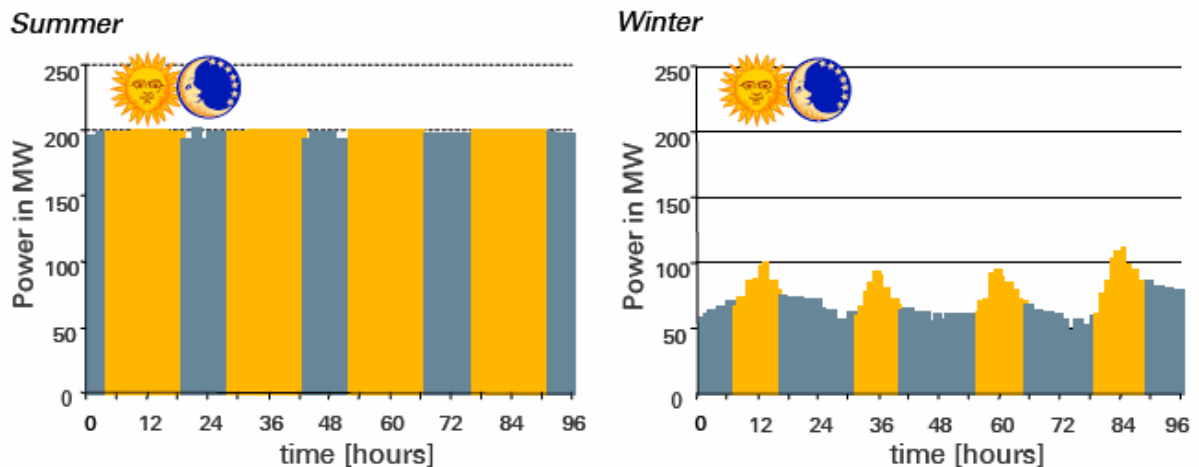
figuur 4.5 : vermogen van de zonneshouw [sbp]

Uit deze grafiek kunnen we afleiden dat het piekvermogen van deze zonneshouw 50kW is dit vermogen is niet constant het hangt af van de hoeveelheid zonlicht. Deze grafiek geldt niet voor alle zonneshouwen. Voor zonneshouwen met zwarte zakken gevuld met water ligt deze grafiek anders.

4.5 Commerciële zonnetoren

In Australië is men op dit moment bezig aan de bouw van de eerste commerciële zonneshouw. Deze zonneshouw zou zich bevinden in Mildura (Australië). EnviroMission is het bedrijf dat deze zonneshouw wil bouwen. Deze zonneshouw heeft een diameter van maar 5km, de diameter van de schouw is 150m en een hoogte hebben van maar liefst 1km! Dit project zou maar liefst 800miljoen dollar kosten en zou een vermogen leveren van maximaal 200MW.

Uit deze grafiek kunnen we afleiden dat het geleverd vermogen van de zonneshouw seizoensgebonden is (bij warm weer levert deze meer warmte dan bij koud weer).



figuur 4.6: stroomoutput versus tijd van dag [sbp]

Resultaten van een simulatie (stroomoutput versus tijd van dag) van een zonneshouw van 200 MW met 25% van het collectorgebied dat door met water gevulde zakken als extra thermische opslag wordt behandeld

Vermogen	MW	5	30	100	200
kosten toren	Miljoen. €	19	49	156	170
kosten collector	Miljoen. €	10	48	107	261
kosten turbine	Miljoen. €	8	32	75	133
Loonkosten	Miljoen. €	5	16	40	42
totaal	Miljoen. €	42	145	378	606
jaarlijkse investeringskosten	Miljoen. €/jaar	2,7	10,2	27,1	43,7
onderhoudskosten	Miljoen. €/jaar	0,2	0,6	1,7	2,8
Aantal Euro/kWh	€/kWh	0,21	0,11	0,09	0,07

figuur 4.7: [sbp]

Deze kosten zijn berekend over een tijdsduur van 30 jaar met een intrest van 6%. Uit deze tabel kan men afleiden dat het aantal Euro/kWh daalt per hoger vermogen.

5 Besluit

In de volgende tabel zijn de verschillende besproken methodes voor het opwekken van elektriciteit uit de zon met elkaar vergeleken op het vlak van rendabiliteit. We hebben ook de klassieke elektriciteitscentrales in rekening gebracht zodat we kunnen nagaan of elektriciteit uit de zon een haalbare kaart is voor de toekomst.

Methode	Euro/kWh	Transportkosten (Euro/kWh)	Totaal (Euro/kWh)	MW
PV (silicium)	0,24 – 0,30	0	0,24 – 0,30	
Zonnetrogcentrale (CSP)	0,0845	0,0018	0,1025	100
Centrale met lineaire fresnelspiegels (CSP)	0,07 – 0,14	0,0018	0,088 – 0,158	
Zonnetoren (CSP)	0,03 – 0,04	0,0018	0,048 – 0,058	30
Zonneschoorsteen	0,07 – 0,21	0,0018	0,088 – 0,228	200
<i>Kerncentrale</i>	0,0023	0	0,0023	1600
<i>Gas- of Kolencentrale</i>	0,04 – 0,05	0	0,04 – 0,05	500
<i>Windenergie</i>	0,06 – 0,09	0	0,06 – 0,09	5

Figuur 5.1: Vergelijking van de kostprijs in kWh voor bestaande energieopwekkingsmethodes

Uit deze tabel kunnen we afleiden dat de zonnetoren het goedkoopste energie kan leveren maar heeft als nadeel dat deze maar tot maximum 30 MW kan leveren, bij de zonneschouw is dit 200 MW. Dit komt door het feit dat men rekening moet houden met de afstand tussen de toren en de spiegels. De zonnetrogcentrale heeft dan weer een maximum vermogen van 100 MW maar de kostprijs van het aantal Euro/kWh ligt daar weer wat hoger. Men moet bij de prijs van het aantal Euro/kWh nog altijd de transportkosten bijtellen omdat deze projecten alleen maar goed kunnen renderen in zonnige gebieden. Men kan uit deze tabel wel besluiten dat deze projecten niet kunnen concurreren tegen de kerncentrale want deze heeft een kostprijs van slechts 0,0023 Euro/kWh. De kerncentrale In het Finse Olkiluoto levert maar liefst een vermogen van 1600W. Bij de kerncentrale moet men geen transportkosten rekenen omdat deze overal geplaatst kunnen worden. Zo ook bij gas –of kolengestookte centrales, hier liggen de kosten wel iets hoger dan bij de kerncentrale omdat de prijs van de grondstoffen duurder is. Windenergie is in vergelijking met zonne-energie meestal iets goedkoper, maar windenergie schommelt meer in zijn voorziening

dan bij zonnecentrales het geval is. De energie die geleverd wordt vanwege zonnepanelen (PV-panelen) is duurder dan alle andere uit de tabel. Naar de toekomst toe zal de prijs per kWh nog wel dalen maar de energiekost zal zich steeds in de hogere prijsklasse bevinden.

Van de zonnetoren en de zonnetrog wordt verwacht dat hun productieprijs nog zal dalen tot ongeveer 5 eurocent/kWh tegen 2020. Wat betekent dat ze tegen die tijd kunnen concurreren met een conventionele gas –of kolencentrale, transportkosten buiten beschouwing gelaten.[ing]

Als laatste zetten we de plus –en minpunten van de verschillende technieken nog even op een rijtje:

PV:

- +Handig voor individueel gebruik
- +Weinig plaats nodig, eenvoudig mobiel systeem
- +Keuze tussen net –of accuaansluiting
- +Geen transportkosten
- +Weinig onderhoud

- Hoge productieprijs, bijgevolg hoge kostprijs van PV-panelen
- Laag rendement (<20%)
- Opslag m.b.v. accu's is duur
- Lange energierterugverdientijd

CSP:

- +Warmteopslag mogelijk (behalve bij zonneshotels)
- +Kan als hybride centrale constant elektriciteit leveren
- +Ontzilten van zeewater mogelijk
- +Productie van waterstof mogelijk
- +Kostenreductie verwacht
- +Grote centrales zijn rendabeler dan de kleine (trog, toren, fresnel)
- +Kan op kleine schaal ook rendabel zijn (schotelspiegels)

- Momenteel nog duurder dan conventionele centrales
- Hoge investeringskosten

Zonneschouw:

- +Zeer goed rendement
- +Weinig personeelskosten (kan door 1 persoon in werking blijven)
- +Constant rendement dankzij de waterlaag onder de collector

- Neemt veel ruimte in beslag
- Hoge kostprijs van het project

6 Bibliografie

- **[csp]** E.H. du Marchie van Voorthuysen. Zonnethermische krachtcentrales, Energiebron van de toekomst, Website, Oktober 2004, geraadpleegd op 15 oktober 2006, <http://www.cspower.org/>
- **[dlr]** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, *Trans-CSP*, Oktober 2006, geraadpleegd op 19 november 2006, <http://www.dlr.de/tt/trans-csp>
- **[doe]** Department of Energy U.S., Concentrating Solar Power and Sunlab, Website, geraadpleegd op 1 november 2006, <http://www.energylan.sandia.gov/sunlab/index.html>
- **[ecn]** Prof.dr. Sinke, W.C., *Veelgestelde vragen over fotovoltaïsche zonne-energie*, oktober 2001, geraadpleegd op 10 november 2006, <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2001/p01011.pdf>
- **[eco]** Dr. Molenbroek, E.C., Dr. de Visser, E., Ecofys Netherlands, *Elektriciteit uit geconcentreerde zonne-energie op korte termijn*, oktober 2006, geraadpleegd op 28 november 2006, http://www.gezen.nl/wordpress/wp-content/uploads/2006/11/ecofys_nov_2006_csp_korte_termijn.pdf
- **[ecr]** European Commission, Research, Energy, Website, 14 november 2006, geraadpleegd op 26 november 2006, http://ec.europa.eu/research/energy/index_en.htm
- **[ele]** Electrabel, Fotovoltaïsche zonnecellen (ontbreken nog gegevens)
- **[eos]** Knoppers, R., *Stroom uit de Sahara*, Eos, juni 2003, nr. 6, p. 97-98.
- **[fht]** Mesanovic M. Philippsen N. *Solar Power Towers*, Website, 1996, geraadpleegd op 17 oktober 2006, http://www-stud.fht-esslingen.de/projects/alt_energy/sol_thermal/powertower.html
- **[gez]** Roelfsema S., *Zon is toekomst*, stichting ter bevordering van Grootschalige Exploitatie van Zonne-Energie, Website, 2006, geraadpleegd op 13 oktober 2006, http://www.gezen.nl/wordpress/?page_id=9
- **[hol]** Holland Solar, September 2005, geraadpleegd op 4 december 2006, <http://www.hollandsolar.nl>

- **[ing]** Woestijnstroom, De Ingenieur, 14 juli 2006, nr.10/11, p. 20-27.
- **[ise]** Fraunhofer-Institute for Solar Energy Systems ISE, The Linear Fresnel Collector, Website, 27 oktober 2005, geraadpleegd op 25 november 2006,
<http://www.rug.nl/energyconvention/callForProposals/allPres/gMorin.pdf?s=pdf>
- **[kri]** Krieg, B., *Stroom uit de zon: Zonnecel-techniek in theorie en praktijk*, Beek: Elektaur, 1992
- **[ode1]** Min. van de Vlaamse Gemeenschap, Org. voor Duurzame Energie, ea., *Bouwen met fotovoltaïsche zonne-energie*, Enschede-Vanmuysewinkel, (2004)
- **[ode2]** Org. voor Duurzame Energie, geraadpleegd op 10 november 2006, <http://www.ode.be>
- **[oli]** OliNo, Duurzame energie, Website, 2006, geraadpleegd op 10 november 2006, <http://www.olino.org/>
- **[pal]** Palz, W., *Elektriciteit uit zonnestralen*, Kluwer technische boeken B.V. Deventer, Antwerpen, 1982
- **[sbp]** Schlaich Bergemann und Partner, Structural Consulting Engineers, Website, 9 november 2006, geraadpleegd op 25 november 2006,
<http://www.sbp.de>
- **[sol]** Solarpaces, CSP-technologie, Website, 28 maart 2004, geraadpleegd op 15 oktober 2006,
http://www.solarpaces.org/csp_technology.htm
- **[sti]** Stirling energy systems, What is a stirling engine, Website, 2006, geraadpleegd op 1 november 2006,
<http://www.stirlingenergy.com/whatisastirlingengine.htm>
- **[tre]** Trans-mediterranean Renewable Energy Cooperation (TREC), *Clean Power from the Deserts*, November 2006, geraadpleegd op 21 november 2006, <http://www.trecers.net/>

- **[tsc]** Schlaich, J., The Solar Chimney: electricity from the sun, Edition Axel Menges, 1995
- **[tu-delft]** Bouwmans I., Carton L.J., Dijkema G.P.J., e.a., TU-delft, Concentrated solar power als onderdeel van de Europese energievoorziening, Website, 2006, geraadpleegd op 1 november 2006, <http://www.tbm.tudelft.nl/live/binaries/ce78edc1-51a5-4d80-8d09-58e6ee8698db/doc/ConcentratedSolarPower-TUDelft.pdf>
- **[wiki1]** Wikipedia, De vrije encyclopedie, Zonnetoren, Website, 23 oktober 2006, geraadpleegd op 25 november 2006, <http://nl.wikipedia.org/wiki/Zonnetoren>