



# *Zonthermische daken*

koude regeneratie  
duurzaam EFFICIENCY  
bodemenenergie  
warmte dak  
GEÏNTEGREERD  
zonne-energie

# ***Inhoud***

# 1 Wat is een “zonthermisch dak”?

*Daken zorgen tegenwoordig niet alleen voor het spreekwoordelijke ‘dak boven je hoofd’, maar kunnen ook worden toegepast om energie te genereren door middel van zonne-energie.*

Zonne-energie systemen kunnen gesplitst worden in systemen die zonne-energie omzetten in elektriciteit of systemen die zonne-energie omzetten in thermische energie. Systemen die zonne-energie omzetten in elektriciteit zijn fotovoltaïsche (pv) zonnepanelen. Systemen die zonne-energie omzetten in thermische energie kunnen op hun beurt weer gesplitst worden in afgedekte systemen met een glazen plaat zoals zonnecollectoren en onafgedekte systemen. Al deze systemen kunnen op het dak geplaatst worden of in het dak geïntegreerd. Bij geïntegreerde onafgedekte thermische zonne-energie systemen spreekt men van “zonthermische daken”.

Deze brochure richt zich op deze zonthermische daken. Het doel van de brochure is het vergroten van de effectieve toepassing van zonthermische daken. Tot de doelgroep behoren installatieadviseurs, installateurs, architecten en opdrachtgevers in de bouw.

Een zonthermisch dak kan vergeleken worden met een onafgedekte zonnecollector alleen dan geïntegreerd in het dak. Het absorberend element in het dak absorbeert zonne-energie en geeft die door aan het onderliggende leidingensysteem waarbij de leidingen in of op het isolatiemateriaal van het dak zijn aangebracht. Het leidingensysteem brengt de thermische energie op zijn beurt weer over op het door de leidingen stromende medium (water met vorstbeschermingsmiddel). Deze thermische energie kan weer op een andere plaats gebruikt worden.

Omdat het absorberend element onafgedekt is, is deze direct blootgesteld aan de buitenlucht. Dit zorgt voor warmteverliezen wat resulteert in een lage temperatuur van het medium dat uit het dak komt. De gemiddelde uittrede temperatuur is 25°C. In dit geval spreekt men van laagwaardige warmte.

Samenvattend kan worden gezegd dat een zonthermisch dak drie functies kan hebben:

- 1 dakbedekking<sup>1</sup> (incl. isoleren)
- 2 invangen van warmte
- 3 koude winning

## Leveranciers zonthermische daken

‘Zonthermisch dak’ is een algemene naam die niet gerelateerd is aan een specifiek product. Deze benaming is gekozen in overleg met de leveranciers, die elk hun eigen benaming voeren. De volgende leveranciers hebben aan de totstandkoming van deze brochure meegewerkt:

- Daklab B.V. ([www.dakcollector.nl](http://www.dakcollector.nl)) dakcollector
- Oranjedak B.V. ([www.oranjedak.nl](http://www.oranjedak.nl)) energydak
- SolarTech International B.V. ([www.energiesdak.nl](http://www.energiesdak.nl)) energiesdak
- Triple Solar B.V. ([www.triplesolar.eu](http://www.triplesolar.eu)) triplesolar

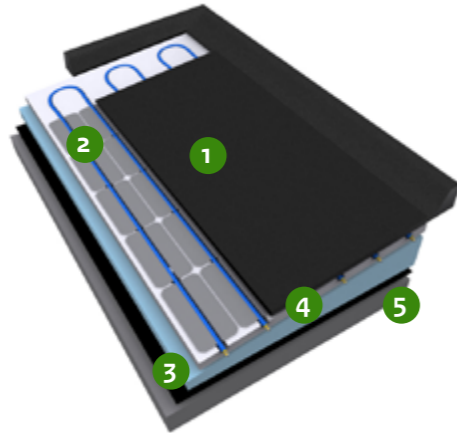
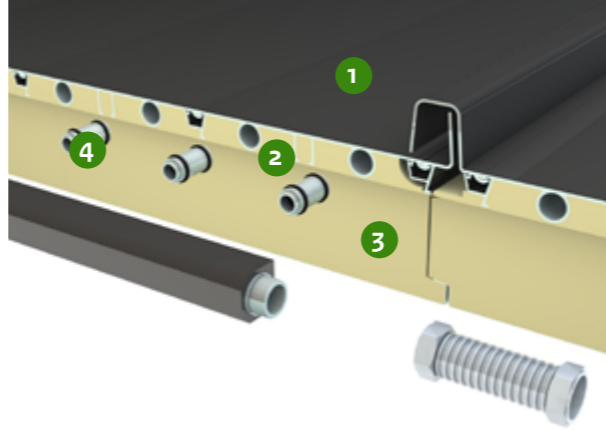
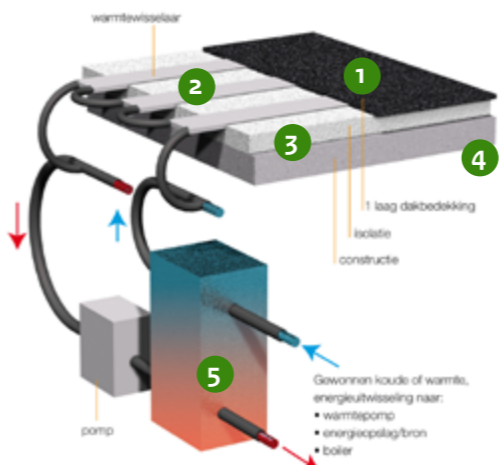
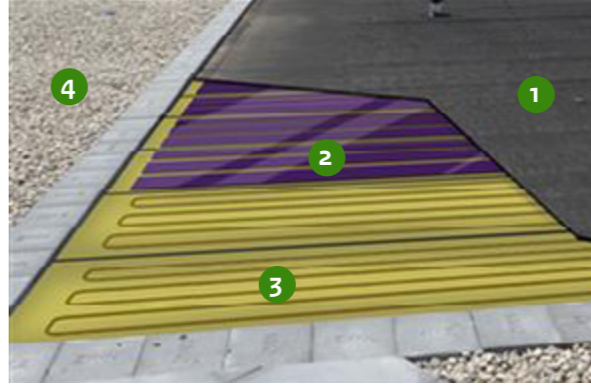
### <sup>1</sup> Opwekking elektriciteit

In de dakbedekking kunnen ook pv-modules worden geïntegreerd of op de dakbedekking worden aangebracht. Deze modules zetten zonne-energie om in elektriciteit en bestaan meestal uit dunne flexibele zonnecellen. Doordat de warmte door het zonthermische dak wordt opgenomen blijft de temperatuur van de pv-module laag, wat resulteert in een hogere efficiëntie van de pv-module. Echter zal het thermische rendement lager worden.



In figuur 1 zijn verschillende doorsnedes van zonthermische daken te zien en beschreven. In veel gevallen wordt het leidingsysteem in/op het isolatiemateriaal aangebracht. Deze vorm van zonthermische daken wordt meestal toegepast in platte daken. Voor hellende daken zijn er systemen waarbij de gehele dakbedekking en constructie geïntegreerd zijn in één paneel (sandwich-paneel). Er zijn voorbeelden waarbij de absorberende dakbedekking en leidingsysteem uit één profiel bestaan, gemaakt van aluminium.

Figuur 1: Verschillende zonthermische daken van verschillende leveranciers

Energiedak	Triple Solar	Energydak	Dakcollector
		 <p>Gewonnen koude of warmte, energiewisseling naar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• warmtepomp</li> <li>• energieopslag/bron</li> <li>• boiler</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>1 absorberende dakbedekking</li> <li>2 leidingsysteem</li> <li>3 dak isolatiemateriaal</li> <li>4 dampremmende afdichting</li> <li>5 dakconstructie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 absorberende aluminium dakbedekking</li> <li>2 leidingsysteem geïntegreerd met absorber</li> <li>3 dak isolatiemateriaal</li> <li>4 leidingkoppelingen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 absorberende dakbedekking</li> <li>2 leidingsysteem</li> <li>3 dak isolatiemateriaal</li> <li>4 dakconstructie</li> <li>5 warmtewisselaar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 absorberende dakbedekking</li> <li>2 leidingsysteem geïntegreerd met absorber</li> <li>3 dak isolatiemateriaal</li> <li>4 dak</li> </ul>

## 2 Zonthermische daken

*Een zonthermisch dak heeft een aantal toepassingsgebieden. Deze gebieden zijn gesplitst in gebieden waarin het zonthermisch dak warmte levert en gebieden waarin het dak koude levert.*

### 2.1 Invangen van warmte

Zoals beschreven is de temperatuur van de geproduceerde warmte relatief laag en spreken we van laagwaardige warmte. Daarom kan een zonthermisch dak ook niet volledig voorzien in de levering van warm tapwater.

Toepassingen voor de ingevangen warmte:

- 1 regeneratie open bron (wko)
- 2 regeneratie gesloten bron (bodemwarmtewisselaar)
- 3 voorverwarming warm tapwater (hogere temperatuur gewenst)
- 4 rechtstreekse koppeling aan warmtepomp
- 5 verwarming zwembad

In de meeste gevallen worden zonthermische daken toegepast voor regeneratie van open of gesloten bronnen. Daarom richt deze brochure zich op de toepassing regeneratie van bronnen.

Regeneratie van een bron is het laden van de bron met energie. Op de langere termijn moet er een energiebalans in de grond zijn. Dit wil zeggen dat de energie die uit de grond wordt gehaald ook weer moet worden teruggebracht en andersom. Dit is om twee redenen belangrijk:

- 1 verkrijgen van een vergunning voor open bronsystemen en grote gesloten bronsystemen (> 70kW) (WKO, 2012)
- 2 voorkomen van uitputting van de grondbron, wat resulteert in lagere efficiëntie van de warmtepomp op lange termijn

Wanneer de warmtevraag niet gelijk is aan de koudevraag ontstaat er een onbalans. Er wordt dan meer warmte uit de grond gehaald dan er wordt ingebracht of andersom. Om meer warmte of koude in de grond te brengen zal dus extra regeneratie moet plaatsvinden.

In veel gevallen vindt er geen regeneratie plaats of zorgt een droge koeler voor regeneratie van de bron. Een droge koeler blaast warmte of koude af door middel van ventilatoren. Voordelen van zonthermische daken ten opzichte van een droge koeler zijn dat de zonthermische daken niet zichtbaar zijn en geen geluid produceren.

Naast een droge koeler wordt ook oppervlaktewater gebruikt om de bron te regenereren. Zonthermische daken hebben als voordelen ten opzichte van oppervlaktewater als regeneratiebron dat zonthermische daken geen filtering nodig heeft, corrosiebestendig is en bijna altijd beschikbaar.

Zonthermische daken kunnen dus toegepast worden in gebouwen waar de warmtevraag ongelijk is aan de koudevraag en waar verwarmd en/of gekoeld wordt in combinatie met een open of gesloten bron. Dit kunnen dus enkele of meerdere woningen, appartementencomplexen en andere utiliteitsgebouwen zijn.



## 2.2 Koude winning

Naast het collecteren van warmte kan met een zonthermisch dak ook koude worden ingevangen. Koude kan worden gewonnen wanneer de buitentemperatuur lager is dan het medium en door straling naar de buitenlucht.

Toepassingen voor koude winning:

- 1 regeneratie open bron (wko)
- 2 regeneratie gesloten bron (bodemwarmtewisselaar)
- 3 rechtstreekse koppeling aan warmtepomp (bij koeling)
- 4 vrije koeling (bijv. nachtkoeling, afvoer proceswarmte, ICT-koeling)

Bij een tekort aan koude in de bron kan deze bron ook geregenereerd worden met koude door een zonthermisch dak (al is “zonthermisch” in dit geval een tegenstrijdig begrip). In veel gevallen heerst er een onbalans in de grond of wordt een droge koeler gebruikt voor regeneratie van koude.



## 3 Het ontwerp

*De opbrengst van een zonthermisch dak is niets anders dan het verschil tussen de opgenomen zonne-energie en de warmteverliezen naar de omgeving. Het is dus zaak om zoveel mogelijk zonne-energie in te vangen en de warmteverliezen te beperken.*

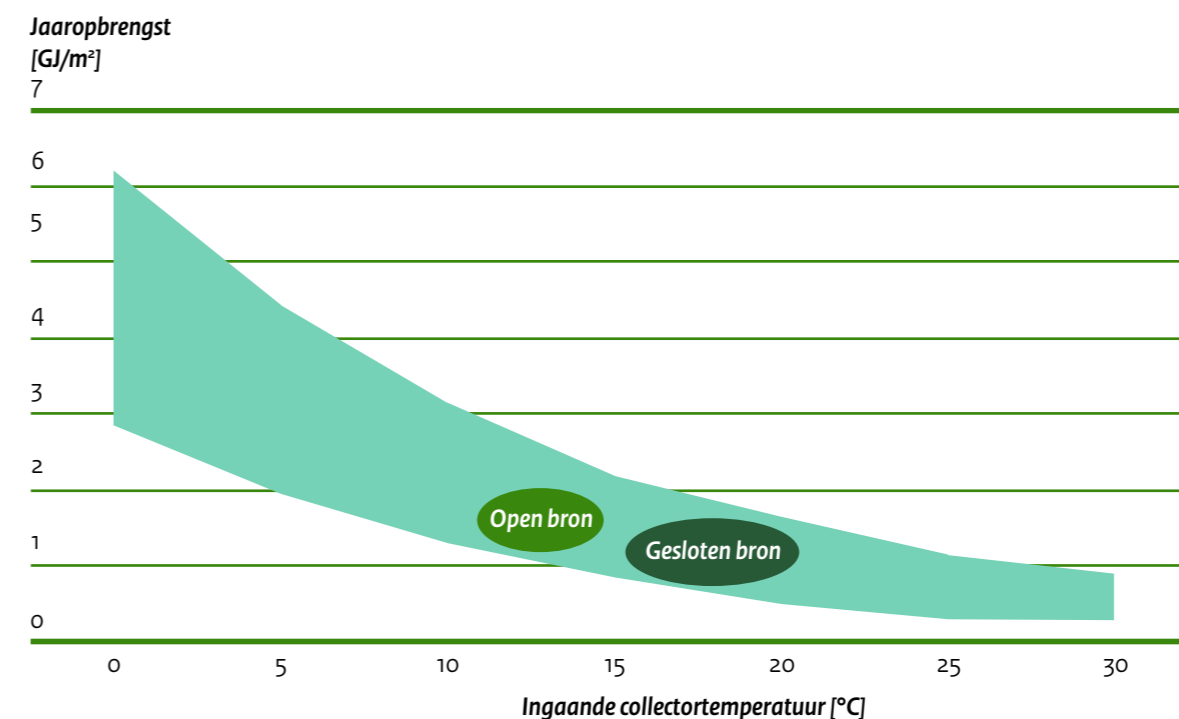
Het vergroten van de in te vangen zonne-energie wordt bewerkstelligd door het verminderen van obstakels tussen de zon en het zonthermische dak. Het is daarom zaak om beschaduwing zo veel mogelijk te beperken. Zonthermische daken in combinatie met grind, dakpannen en/of een dakterras leveren te weinig op en zijn daarom niet geschikt. Er kan te weinig warmte doordringen en het grootste deel van de zonnestraling wordt tegengehouden.

Naast het beperken van obstakels spelen ook de oriëntatie en hellingshoek een rol. De ideale plaatsing is met een hellingshoek van 35° georiënteerd op het Zuiden. Bij platte daken valt er ongeveer 15% minder zonnestraling dan wanneer het zonthermische dak ideaal geplaatst is.

Warmteverliezen ontstaan als de temperatuur van het zonthermisch dak hoger is dan de buitenlucht. Warmte gaat dan verloren door geleiding, stroming en straling. Daarbij speelt ook de wind een rol, die deze verliezen vergroot. Een hoge gemiddelde temperatuur van de vloeistof die door het zonthermisch dak stroomt, zorgt voor hoge warmteverliezen wat resulteert in een lage opbrengst. De opbrengst is dus afhankelijk van de gemiddelde temperatuur van de vloeistof door het zonthermisch dak. Deze temperatuur wordt bepaald door de inpassing van het dak in het klimaatsysteem (zie figuur 2).

In figuur 2 is de bandbreedte weergegeven van de theoretische jaaropbrengst van zonthermische daken als functie van de ingaande collector temperatuur. Bij de bepaling van deze bandbreedte is uitgegaan van een constante ingaande collector-temperatuur en bepaald volgens de collectorformule uit NEN-EN 12975 onder laboratoriumomstandigheden.

**Figuur 2: Bandbreedte opbrengst als functie van ingaande collectortemperatuur**



De werkelijke opbrengst is afhankelijk van het gekozen systeem zoals weergegeven in hoofdstuk 5 en in figuur 2. Deze opbrengsten zijn bepaald met simulatieberekeningen onder de uitgangspunten zoals beschreven in hoofdstuk 5. Het verkrijgen van meer inzicht in de opbrengst van het systeem vergt gedetailleerdere berekeningen.

## 4 Parameters voor vergelijking

*Op de markt zijn er diverse zonthermische daken die in verschillende systemen toe te passen zijn. Om tot een goede keuze van een bepaald zonthermisch dak te komen, is het verstandig om de volgende zaken in het achterhoofd te houden.*

### Toepassing

Een zonthermisch dak is een onderdeel van een totale installatie. De opbrengst van een dak is afhankelijk van het functioneren van de klimaatinstallatie. Het functioneren is niet alleen afhankelijk van de plaats van het zonthermische dak in de configuratie, maar ook van de besturing van de onderdelen.

### Opbrengst

De opbrengst per vierkante meter (m<sup>2</sup>) zonthermisch dak is afhankelijk van het toe te passen dak en van het functioneren van de totale installatie. De opbrengst kan niet zonder meer vastgesteld worden aan de hand van de toe te passen ingangstemperatuur zoals in figuur 2. In feite kan niet aangegeven worden hoeveel een zonthermisch dak opbrengt zonder dat het toepassingsgebied bekend is.

### Kosten

De kosten voor een zonthermisch dak zijn verschillend en worden per vierkante meter (m<sup>2</sup>) opgegeven. Omdat een zonthermisch dak het gewone dak als het ware vervangt, spreekt men meestal van meerkosten t.o.v. een gewoon dak. Verder spelen afmetingen en vorm van het dak een rol, zoals de ondergrond, gewenste isolatie en afschot. De investeringskosten moeten afgezet worden tegen het beschikbaar oppervlak, levensduur, total cost of ownership en opbrengsten. De meerinvesteringen liggen ongeveer in de range van € 100,- tot € 200,- per vierkante meter (m<sup>2</sup>).

### Kwaliteit

Om de kwaliteit van zonthermische daken te waarborgen kunnen garanties worden gegeven of overeengekomen. Garanties kunnen gegeven worden op lekkages aan het systeem en/of aan het dak of op de levensduur van het systeem en/of dak. Denk daarbij ook aan de geldigheidsduur van de garantie.

### Financiële stimulering

Voor zonthermische daken geldt geen subsidieregeling. Een zonthermisch dak valt onder de duurzame oplossingen die in aanmerking komen voor de Energie Investeringsaftrek (EIA). Tevens vallen zonthermische daken onder een investering in milieuvriendelijke bedrijfsmiddelen welke in aanmerking komen voor de willekeurige afschrijving milieu- investeringen (Vamil).

### Constructie

De dakconstructie moet wel berekend zijn op de plaatsing van een zonthermisch dak en mag de waterhuishouding van het dak niet beïnvloeden. Het gewicht van een zonthermisch dak verschilt namelijk nogal, van 4 - 25 kg/m<sup>2</sup>. Tevens moet er rekening worden gehouden met extra leidingwerk van het dak naar het klimaatsysteem; hiervoor moet uiteraard ruimte zijn.

### Flexibiliteit

Bij zonthermische daken, uitgevoerd in het werk, wordt een leidingstelsel aangebracht in/op het isolatiemateriaal. Hierin is een bepaalde vrijheid van maatvoering. Bij zonthermische daken, uitgevoerd in prefab elementen, is de vrijheid minder omdat er met vaste maten wordt gewerkt; hierbij is de flexibiliteit dus minder.



### *Esthetisch*

Van de meeste zonthermische daken is niets te zien omdat het leidingsysteem onder de dakbedekking ligt. Sandwich-panelen zijn wel zichtbaar omdat dit systeem vaak de gewone dakpannen vervangt. Een sandwich-paneel kan vaak wel worden voorzien van een andere kleur dan zwart, maar dit heeft een negatieve invloed op de efficiëntie van het systeem.

### *Onderhoud en beheer*

Een zonthermisch dak vergt weinig onderhoud en beheer. Wel moet men eraan denken om jaarlijkse testen te doen om te controleren of er voldoende vorstbeschermingsmiddel in het zonthermisch dak circuit aanwezig is. Tevens moet het circuit regelmatig ontluicht worden. Een ander aandachtspunt is om personen die op of rond het dak werkzaam zijn erop te attenderen dat er een zonthermisch dak aanwezig is, zodat er niet zomaar aanpassingen aan het dak worden gemaakt die de prestaties of levensduur van het zonthermisch dak kunnen beïnvloeden.

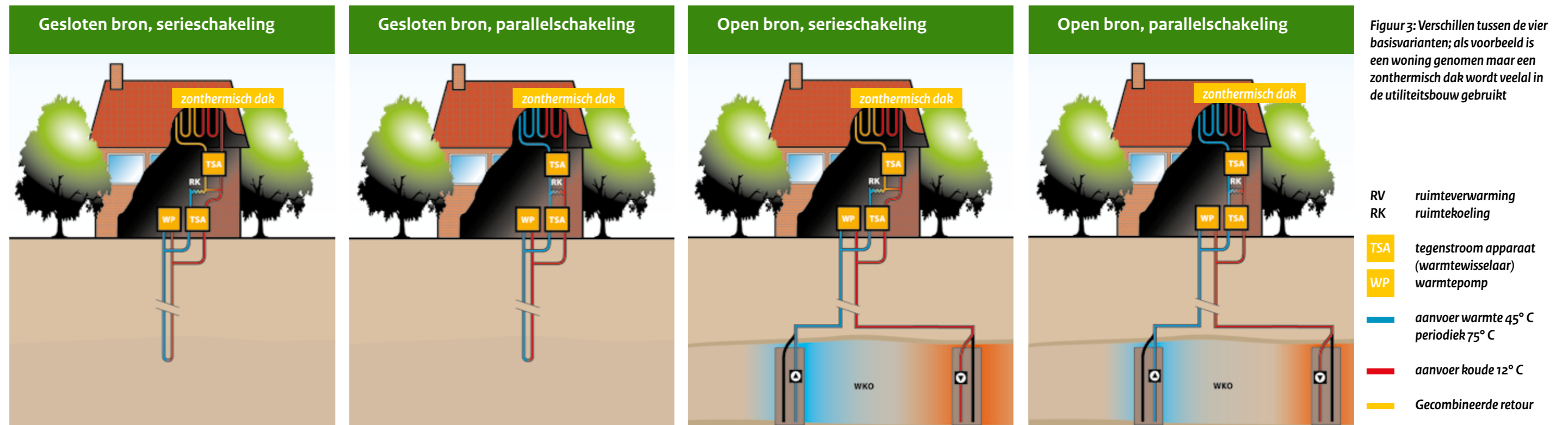
# 5 Opbrengstsimulaties

De opbrengst is afhankelijk van de systeemconfiguratie. Omdat er vele systeemconfiguraties te bedenken zijn, worden hier alleen vier voor de hand liggende basisvarianten doorgerekend. Het zonthermisch dak wordt hier enkel toegepast voor regeneratie van warmte in de zomerperiode.

Er worden twee varianten met een gesloten bron doorgerekend en twee met een open bron. De twee varianten per bron verschillen van elkaar doordat bij de één het zonthermisch dak in serie met de koudevrager is opgenomen en bij de ander in parallel. In figuur 3 zijn de verschillen van de vier basisvarianten schematisch weergegeven.

Basisvarianten:

- 1 Gesloten bron regeneratie, serieschakeling
- 2 Gesloten bron regeneratie, parallelschakeling
- 3 Open bron regeneratie, serieschakeling
- 4 Open bron regeneratie, parallelschakeling



In de serieschakeling staan de vloerkoeling (koudevrager) en het zonthermische dak in serie (figuur 3). Bij koeling wordt eerst het koude water door de vloer gepompt. Hier wordt het opgewarmd om vervolgens naar het zonthermische dak te gaan. Wanneer er geen koudevraag is gaat het koude water direct naar het zonthermische dak met hetzelfde vaste debiet. Dit betekent dat in veel gevallen het zonthermische dak gevoed wordt met een hoge ingaande temperatuur wat resulteert in een lagere opbrengst van het dak. Het voordeel van een serieschakeling is wel dat het debiet laag is. Het water gaat met een vast debiet naar de vloerkoeling en daarna eventueel naar het zonthermische dak of direct naar het zonthermische dak. Dit leidt tot een kleinere dimensionering van de grondbron (lage investeringskosten) en resulteert in een lager energieverbruik voor het pompen.

In een parallelschakeling staan de vloerkoeling (koudevrager) en het zonthermische dak parallel aan elkaar (figuur 3). In het geval van koeling wordt het koude water door de vloer gepompt en bij voldoende opbrengst van het zonthermische dak ook naar het dak. Dit betekent dat het zonthermische dak gevoed wordt met een relatief lage ingaande temperatuur wat resulteert in een hogere opbrengst van het dak. Het nadeel is dat het debiet hoger moet zijn om beide vermogens te leveren. Dit leidt tot een grotere dimensionering van de grondbron (hoge investeringskosten) en resulteert in een hoger energieverbruik voor het pompen.

Voor het bepalen van de opbrengst van het zonthermische dak in elke basisvariant is van elke variant een model gemaakt in het simulatiepakket TRNSYS. Hierin zijn alle componenten (warmtewisselaar, woning, thermische opslag, zonthermisch dak, etc.) gemodelleerd. Het model berekent de opbrengst van het zonthermische dak en de hoeveelheid energie die uiteindelijk wordt geregenereerd.

Het model voor het zonthermische dak is gebaseerd op het model volgens de NEN-EN 12975-2 en wordt ook gebruikt in het rapport van TNO (Oversloot, 2009). In dit rapport worden de verliescoëfficiënten en de optische rendementsfactor bepaald met de zogenaamde Quasi-Dynamische Testmethode (QDT). Dit houdt in dat een zonthermisch dak wordt ingebouwd in een testloop voor collectoren met vaste

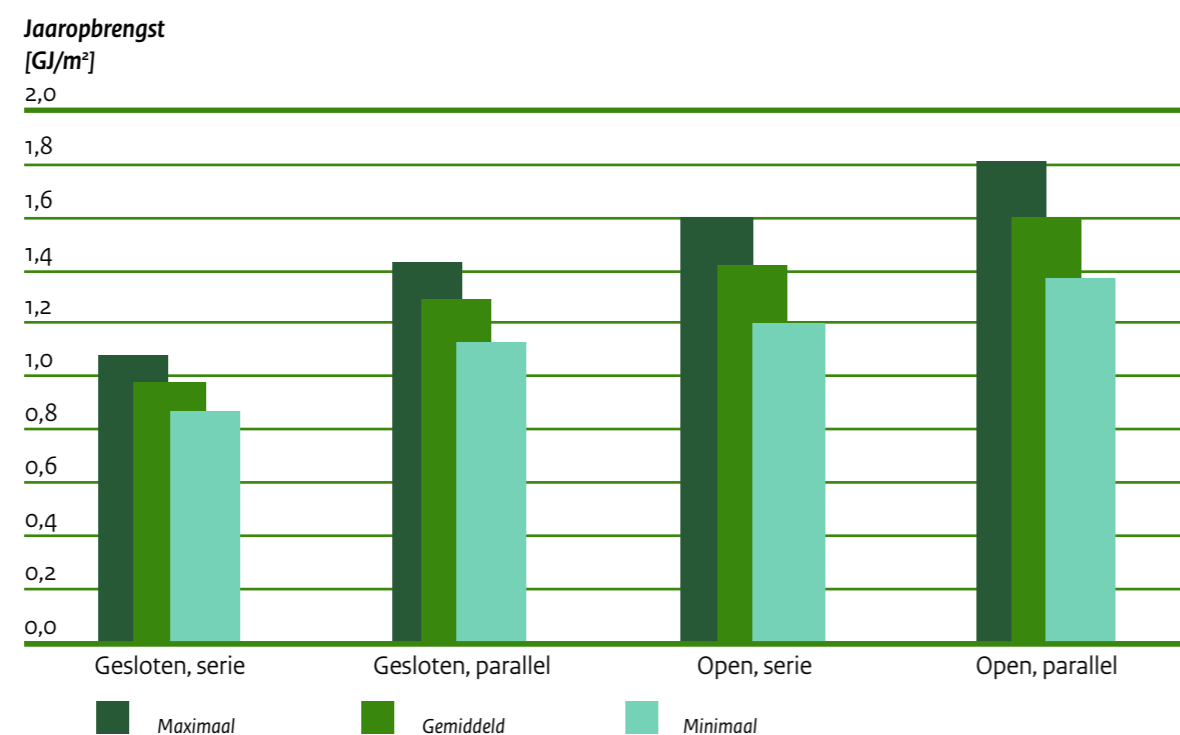
invoerparameters. Met de gemeten opbrengst worden de verliescoëfficiënten en de optische rendementsfactor bepaald door middel van fitten. TNO heeft voor een aantal zonthermische daken deze coëfficiënten bepaald aan de hand van deze testmethode.

In figuur 4 zijn de resultaten van de opbrengstberekeringen weergegeven. Hierin zijn verschillende zonthermische daken doorgerekend. Per basisconcept wordt de range en het gemiddelde weergegeven. De uitgangspunten voor deze berekening staan in het kader.

## Uitgangspunten voor berekeningen

- klimaatjaar uit NEN 5060 (samengesteld klimaatjaar, EPG gebruikt zelfde klimaatjaar)
- numeriek model
- collectorformule uit NEN-EN 12975-2
- coëfficiënten zoals bepaald door TNO (Oversloot, 2009)
- één referentiewoning van het type tussenwoning
- woningen met EPC 0,6
- oppervlak zonthermisch dak van 6 m<sup>2</sup>
- capaciteit bronsysteem:                    serie 0,2 m<sup>3</sup>/h                    parallel 0,4 m<sup>3</sup>/h
- bodumluslengte (ISSO 73, 2005):        serie 1x100 m                    parallel 2x100 m
- opslagvolume (ISSO 39, 1997):        serie 30.000 m<sup>3</sup>                parallel 60.000 m<sup>3</sup>
- bodemtemperatuur van 12 °C
- vast pompdebiet voor collectorcircuit 0,054 kg/s
- vast debiet broncircuit
- vast circuit koelcircuit
- medium in collectorcircuit is water-glycol mengsel (70/30%)

**Figuur 4: Resultaten jaarlijkse opbrengsten per vierkante meter (m<sup>2</sup>) zonthermisch dak per basisvariant**



In figuur 4 zijn duidelijk de verschillen in opbrengst te zien voor de verschillende basisvarianten. Per basisvariant worden de minimale en maximale berekende opbrengst gegeven en het gemiddelde. De variant met de koudevrager en het zonthermische dak in serie en in combinatie met een gesloten bronsysteem levert zoals verwacht het minst op. Dit komt omdat het zonthermische dak met een relatief hoge temperatuur wordt gevoed. De temperatuur uit de koude vrager is hoog maar ook de totale regeneratie energie wordt niet helemaal afgegeven aan de bodem door de bodemwisselaar. Dit resulteert in lagere opbrengsten.

Bij een parallelschakeling krijgt het zonthermische dak een lagere temperatuur binnen omdat het water in veel gevallen niet eerst opgewarmd wordt door de koudevrager. Wel komt het voor dat niet alle energie afgegeven wordt aan de bodem waardoor er een relatief hogere temperatuur in het zonthermische dak stroomt bij een gesloten bron dan bij een open bronsysteem.

In een open bronsysteem wordt koud water rechtstreeks uit de bron gepompt en via een warmtewisselaar (TSA) naar de koudevrager en het zonthermische dak getransporteerd. Hierdoor wordt het zonthermische dak met een lagere temperatuur gevoed dan bij een configuratie met een gesloten bronsysteem.

De grafiek in figuur 4 geeft geen opbrengstgaranties maar vormt een basis voor conceptontwikkeling. De grafiek geeft inzicht in opbrengsten van zonthermische daken in verschillende configuraties.



# 6 Aandachtspunten

Aandachtspunten voor het ontwerp:

## a Regeling

De circulatiepomp in het circuit van het zonthermische dak kan op twee manieren aangestuurd worden: met een vast debiet of met een regelbaar debiet. Bij een vast debiet wordt het temperatuurverschil gemeten tussen de ingaande temperatuur en de temperatuur van het dak. Bij een bepaald verschil (bijvoorbeeld  $\Delta T = 3 \text{ K}$ ) start de circulatiepomp met pompen met een vast debiet. De uitgaande temperatuur is niet constant, maar varieert afhankelijk van de zoninstraling. De pomp wordt uitgezet wanneer het temperatuurverschil tussen de ingaande en uitgaande stroom te klein is om een invangst van energie te hebben groter dan de benodigde pompenergie.

In het geval van een variabel debiet start de circulatie op dezelfde manier, maar nu kan het pomp debiet af- of opgevoerd worden, zodat een bepaalde temperatuur gehaald kan worden. Zo kan een bepaald temperatuurverschil tussen de ingaande en uitgaande stroom gehandhaafd worden. Het voordeel is dat bij een bepaald temperatuurverschil de opbrengst waarschijnlijk hoger zal komen te liggen. Een nadeel is dat de geregelde pomp en regeling hogere investeringen met zich mee zullen brengen.

## b Dimensionering

Het debiet dat geleverd wordt door de circulatiepomp is bepalend voor de opbrengst van het zonthermische dak. Bij een laag debiet stroomt het medium langzaam door het zonthermische dak waardoor de temperatuur relatief hoog wordt in het zonthermische dak. Dit resulteert in meer verliezen en hierdoor daalt de opbrengst.

## c Systemconfiguratie

Wanneer zowel de koudevrager als het zonthermische dak gebruikt worden voor regeneratie zijn er twee warmtewisselaars (TSA) nodig om de warmte van het zonthermische dak naar de bron te krijgen. Het broncircuit is gescheiden van het gebouwwatercircuit en het gebouwwatercircuit is gescheiden van het dakcircuit met het mengsel van water en vorstbeschermingsmiddel. Het nadeel is dat de temperatuur die in de bron wordt geïnjecteerd lager zal zijn dan de temperatuur die uit het zonthermische dak komt. Dit geldt ook omgekeerd: de ingaande temperatuur in het dak is hoger dan de temperatuur uit de bron. Dit zal resulteren in minder opbrengsten.

Een punt van aandacht om de ingaande temperatuur te verlagen is om de circulatiepomp in de retour van het zonthermische dak te plaatsen. Wanneer de pomp in de aanvoer geplaatst wordt zal de pomp de aanvoertemperatuur licht verhogen wat een negatieve invloed heeft op de opbrengst.

# 7 Lessons learned

De lessen die geleerd kunnen worden uit eerdere projecten waar zonthermische daken zijn toegepast worden hieronder puntsgewijs beschreven:

- In de ontwerpfase van een gebouw moet al rekening worden gehouden met het toepassen van een zonthermisch dak. Een zonthermisch dak heeft meestal standaardmaten en er moet rekening gehouden worden met de leidingen. Tevens is het van belang dat er geen beschaduwing plaatsvindt door andere installaties op het dak. Het toepassen van een zonthermisch dak is eenvoudiger wanneer over deze zaken al nagedacht is tijdens de ontwerpfase.
- De opbrengst van het zonthermische dak is afhankelijk van de gemaakte keuzes in de ontwerpfase, installatiewerk in de bouwfase en het beheer in de exploitatiefase. Het is daarom belangrijk om af te spreken wie verantwoordelijk is voor de prestaties van het zonthermische dak. Het kan daarbij handig zijn om te werken met demarcatielijnen.
- De prestaties van zonthermische daken zijn afhankelijk van het systeemontwerp. Dit is ook duidelijk gemaakt in de opbrengstberekeringen in deze brochure.
- Omdat de prestaties van zonthermische daken afhankelijk zijn van het systeemontwerp ligt de verantwoordelijkheid over het presteren van het zonthermische dak bij de ontwerper. De fabrikanten moeten aan de gegeven specificaties voldoen maar kunnen niet een opbrengstgarantie geven.
- Lekkages aan zonthermische daken kunnen optreden en vinden in de praktijk dan met name plaats in de leidingkoppelingen in het zonthermische dak. Deze koppelingen moeten daarom goed te bereiken zijn om eventuele lekkages te verhelpen en te detecteren. Een voorbeeld is om koppelingen in een goot te leggen zodat de vloeistof in de goot wordt opgevangen in plaats van dat het door het dak komt.
- Sommige zonthermische daken zijn vorstbestendig doordat ze de uitzetting die ontstaat bij bevriezen kunnen opvangen in de flexibiliteit van het materiaal. Deze bestendigheid is een beproevingsitem uit de NEN-EN 12975 norm voor duurzaamheid van collectoren.
- Wanneer het zonthermische dak bijgevoerd dient te worden is er vaak geen mengsel van water en vorstbeschermingsmiddel voorhanden en wordt het zonthermische dak bijgevoerd met gewoon drinkwater. Het is daarom belangrijk om een vat met een dergelijk mengsel voorhanden te hebben op locatie om het zonthermische dak na lekkage bij te vullen.

## 8 *Gerealiseerde projecten*

# Zwembad Hofbad, Den Haag



**Fabrikant** Daklab B.V.

**Product** Dakcollector

## **Project**

Het Hofbad is het eerste overdekte 50 meter bad van Den Haag. Het zwembad-complex heeft verschillende bassins waardoor de warmte vraag groot is. Gemeente Den Haag heeft daarom gekozen om Het Hofbad te voorzien van Dakcollector. Sinds 2012 ligt hier 240 m<sup>2</sup> Dakcollector waarvan de opgewekte energie wordt gebruikt voor het verwarmen van het stromende water in het complex. Redenen voor de keuze voor Dakcollector zijn het hoge rendement, de eenvoudige verwerking en het gebruik van kwaliteitsmaterialen.

## **Gegevens**

Daklab bv  
Stephensonweg 2  
4207 HB Gorinchem

Postbus 850  
4200 AW Gorinchem

0183 64 37 15  
[info@dakcollector.nl](mailto:info@dakcollector.nl)  
[www.dakcollector.nl](http://www.dakcollector.nl)





# Appartementen Justus van Effen complex (154 appartementen), Rotterdam



**Fabrikant** Oranjedak B.V.

**Product** Energydak

#### **Project**

Opgeleverd in mei 2012 met in totaal ca. 600m<sup>2</sup> Energydak / zonthermisch daksysteem ter regeneratie van de wko-installatie alsmede de voorverwarming van het warm tapwater. Naast het Energydak is er een witte dakbedekking aangebracht om tevens opwarming van de daken voor de bewoners te voorkomen. De keuze voor een zonthermisch daksysteem was mede bepalend vanwege de complete integratiemogelijkheden in het dakpakket. Zodoende ontstaat er een totaal dakpakket met een verzekerde dakgarantie die kon worden afgegeven door Oranjedak.

#### **Gegevens**

Oranjedak B.V.  
Gildenweg 4  
3334 KC Zwijndrecht

Postbus 380  
3330 AJ Zwijndrecht

078-610 00 66  
[info@oranjedak.nl](mailto:info@oranjedak.nl)  
[www.oranjedak.nl](http://www.oranjedak.nl)



# Christiaan Huygens College, Eindhoven



**Fabrikant** Solartech International B.V.

**Product** Energiedak®

## **Project**

De Energiecentrale Botenlaan omvat het Christiaan Huygens College (de eerste CO<sub>2</sub>-neutrale school van Nederland) en de naastliggende sporthal. Mede dankzij de toepassing van ruim 1.100 m<sup>2</sup> Energiedak®-Plus levert het schoolgebouw meer warmte-energie op dan voor eigen gebruik nodig is. De benodigde elektriciteit voor gebouwgebonden installaties wordt met amorfe PV opgewekt; deze ligt op het Energiedak® en vormt de “Plus”. Directeur Martin van den Berg hierover: “leerlingen ook het verantwoordelijkheidsbesef meegeven voor volgende generaties”

Ook op de sporthal ligt een omvangrijk Energiedak® waardoor de aangesloten partijen (school, sporthal, handbalvereniging en woonwijk) als zgn. energieprosumenten zo'n € 130.000,- per jaar besparen.

## **Gegevens**

SolarTech International B.V.  
Fellenoord 25, 5612 AA Eindhoven  
Postbus 576, 5600 AN Eindhoven  
Nederland

31(0)40 - 888 2992  
[info@solartech-int.nl](mailto:info@solartech-int.nl)  
[www.solartech-int.nl](http://www.solartech-int.nl)



# MFC multifunctioneel complex “De Bloesemgaerde”, Wognum



**Fabrikant** Triple Solar B.V.

**Product** Triple Solar energiedak

## **Project**

Triple Solar heeft in opdracht van Dijkstra Draisma in Bolsward op het complex De Bloesemgaerde in Wognum een zonthermische dak geplaatst van 360 m<sup>2</sup>. De toepassing is voor het regenereren van de WKO.

De aannemer en de installateur hebben gekozen voor het Triple Solar concept vanwege de flexibele aanpak. Er was op het beslissingsmoment nog niet bekend hoeveel energie de WKO gaat leveren en hoeveel er gegenereerd moet worden. Met Triple Solar heeft de gebruiker de mogelijkheid om in een later stadium collector oppervlak bij te plaatsen voor meer vermogen.

Tevens vond de aannemer het relevant dat de collector geïntegreerd, maar boven de waterdichte laag, aangebracht wordt vanwege de veiligheid.

Het adviesbureau adviseerde Triple Solar te nemen vanwege de door TNO gemeten hoge opbrengst per m<sup>2</sup>. Hierdoor is het zonthermische dakoppervlak kleiner en is er meer ruimte over voor latere uitbreiding met een PV installatie.

## **Gegevens**

Triple Solar BV  
Nijverheidslaan 1e  
1382 LE Weesp  
Nederland

0294 - 457 693  
[info@triplesolar.eu](mailto:info@triplesolar.eu)  
[www.triplesolar.eu](http://www.triplesolar.eu)



# Referenties

## Websites

**Oversloot, 2009** <http://www.dakcollector.nl/Files/TNO-rapport%20Dakcollector.pdf>,  
bezoekt november 2012

<http://www.triplesolar.eu/pdf/TripleSolarTNOrapport.pdf>,  
bezoekt november 2012

**WKO, 2012** [http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/infoblad\\_besluit\\_bodemenergiesystemen\\_in\\_kort\\_bestek\\_april\\_2011.pdf](http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/infoblad_besluit_bodemenergiesystemen_in_kort_bestek_april_2011.pdf),  
bezoekt november 2012

## Normen

**NEN 5060** Winkel, ir. K. de; Hygrothermische eigenschappen van gebouwen – Referentieklimaatgegevens; 2008; <http://www.nen.nl/>

**NEN-EN 12975** Wan, S.K.; Thermische zonne-energiesystemen en componenten - Zonne-collectoren - Deel 2: Beproevingmethoden; 2006;  
<http://www.nen.nl/>

**ISSO 73, 2005** Stichting ISSO; Publicatie 73 - Ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars; maart 2005

**ISSO 39, 1997** Stichting ISSO; Publicatie 39 - Langetermijnkoudeopslag in de bodem; 1997

## Colofon

### Tekst

Jorik van de Waerd  
DWA installatie- en energieadvies

### In opdracht van

Agentschap NL  
Croeselaan 15  
3521 BJ Utrecht

2NECW1201, november 2012

Hoewel deze publicatie met de grootst mogelijke zorg is samengesteld kan Agentschap NL geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele fouten.

# 1 Wat is een “zonthermisch dak”?

*Daken zorgen tegenwoordig niet alleen voor het opwarmen van de ruimte, maar kunnen ook worden gebruikt om zonne-energie te genereren door middel van zonne-energiesystemen.*

Zonne-energiesystemen kunnen gesplitst worden in systemen die zonne-energie omzetten in elektriciteit of systemen die zonne-energie omzetten in warmte. Systemen die zonne-energie omzetten in elektriciteit worden ook wel (pv) zonnepanelen genoemd. Systemen die zonne-energie omzetten in warmte kunnen op hun beurt weer gesplitst worden in afgedekte systemen zoals zonnecollectoren en onafgedekte systemen. Afgedekte systemen worden op het dak geplaatst of in het dak geïntegreerd. Bij geïntegreerde systemen spreekt men van “zonthermische zonne-energiesystemen”.

Deze brochure richt zich op deze zonthermische daken. Het doel is het vergroten van de effectieve toepassing van zonthermische daken. De groep behoren installatieadviseurs, installateurs, architecten en de bouw.

Een zonthermisch dak kan vergeleken worden met een onafgedekt dak. Het absorberend element van het dak neemt zonne-energie op en geeft die door aan het onderliggende leidingennet. De leidingen in of op het isolatiemateriaal van het dak zijn geïntegreerd. Het systeem brengt de thermische energie op zijn beurt weer om te zetten in een stromend medium (water met vorstbeschermer). Deze energie kan weer op een andere plaats gebruikt worden.

Omdat het absorberend element onafgedekt is, is deze direct blootgesteld aan de buitenlucht. Dit zorgt voor warmteverliezen wat resulteert in een lage temperatuur van het medium dat uit het dak komt. De gemiddelde uittrede temperatuur is 25°C. In dit geval spreekt men van laagwaardige warmte.

## 1 Opwekking elektriciteit

In de dakbedekking kunnen ook pv-modules worden geïntegreerd of op de dakbedekking worden aangebracht. Deze modules zetten zonne-energie om in elektriciteit en bestaan meestal uit dunne flexibele zonnecellen. Doordat de warmte door het zonthermische dak wordt opgenomen blijft de temperatuur van de pv-module laag, wat resulteert in een hogere efficiëntie van de pv-module. Echter zal het thermische rendement lager worden.

gezegd dat een zonthermisch dak drie functies kan

## Leveranciers zonthermische daken

‘Zonthermisch dak’ is een algemene naam die niet gerelateerd is aan een specifiek product. Deze benaming is gekozen in overleg met de leveranciers, die elk hun eigen benaming voeren. De volgende leveranciers hebben aan de totstandkoming van deze brochure meegewerkt:

- Daklab B.V. ([www.dakcollector.nl](http://www.dakcollector.nl)) dakcollector
- Oranjedak B.V. ([www.oranjedak.nl](http://www.oranjedak.nl)) energydak
- SolarTech International B.V. ([www.energiesdak.nl](http://www.energiesdak.nl)) energiesdak
- Triple Solar B.V. ([www.triplesolar.eu](http://www.triplesolar.eu)) triplesolar

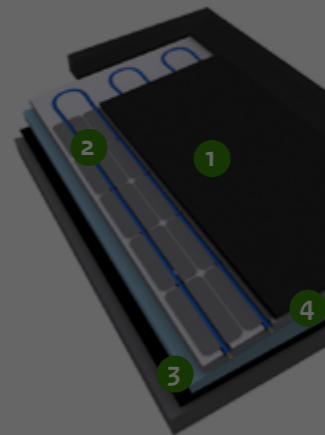
### 1 Opwekking elektriciteit

In de dakbedekking kunnen ook pv-modules worden geïntegreerd of op de dakbedekking worden aangebracht. Deze modules zetten zonne-energie om in elektriciteit en bestaan meestal uit dunne flexibele zonnecellen. Doordat de warmte door het zonthermische dak wordt opgenomen blijft de temperatuur van de pv-module laag, wat resulteert in een hogere efficiëntie van de pv-module. Echter zal het thermische rendement lager worden.

In figuur 1 zijn verschillende beschreven. In veel gevallen aangebracht. Deze vorm van daken. Voor hellende daken constructie geïntegreerd zijn waarbij de absorberende dak gemaakt van aluminium.

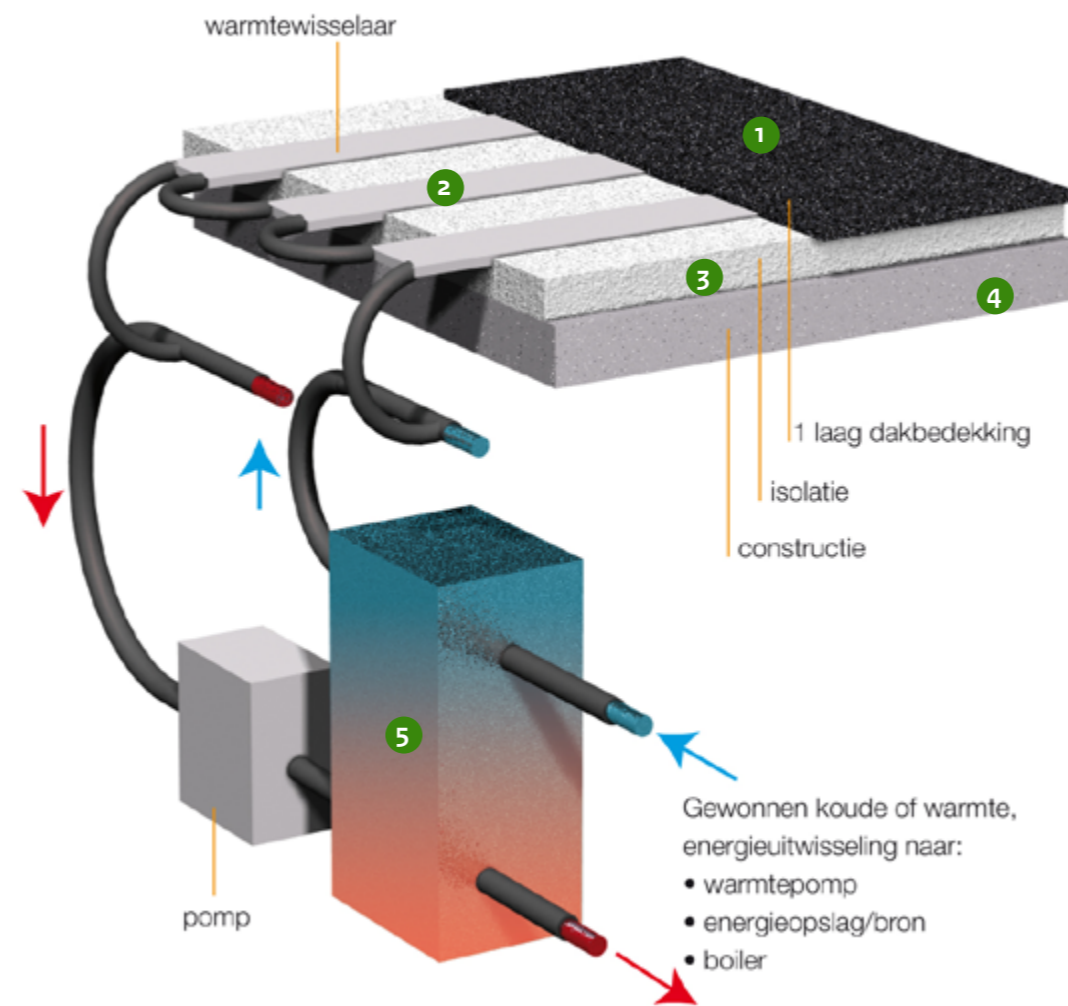
Figuur 1: Verschillende zonthermische d

### Energiedak



- 1 absorberende dakbedekking
- 2 leidingsysteem
- 3 dak isolatiemateriaal
- 4 dampremmende afdichting
- 5 dakconstructie

### Energydak



- 1 absorberende dakbedekking
- 2 leidingsysteem
- 3 dak isolatiemateriaal
- 4 dakconstructie
- 5 warmtewisselaar

### tor



nde dakbedekking  
teem geïntegreerd met  
iemateriaal