

**TNO-rapport**

**2003-DEG-R008**

**Toekomstmogelijkheden voor zonthermische  
systemen in de woningbouw**

Datum	14 maart 2003
Auteur(s)	ir. T. Ploeger ir. D.J. Naron ir. J. Oldengarm
m.m.v.	ir. H. Visser

Aantal pagina's	31
Aantal bijlagen	-

Opdrachtgever	Novem
Contractnummer	143.710-933.2

Projectleider	ir. J. Oldengarm
Projectnummer	006.06555/01.01

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

## Samenvatting

In dit rapport wordt verslag gedaan van een vervolgonderzoek naar de integratie van nieuwe concepten in zonthermische systemen voor de woningbouw. Deze concepten zijn beschreven en beoordeeld op hun haalbaarheid op korte en middellange termijn en voor de lange termijn. Van de kansrijke concepten is een aanzet gegeven tot strategievorming. Naar aanleiding van deze aanzet tot strategievorming en de beoordeling van de verschillende concepten op aspecten als besparingspotentieel, marktpotentieel, status techniekontwikkeling, kostenaspect, zijn een aantal conclusies getrokken.

Seizoensopslag gevoed door thermische zonne-energie is een veelbelovend concept om te komen tot grootschalige toepassing van zonthermische energie in de woningbouw. Opslag in aquifers wordt gezien als een van de meest kansrijke opties, mede omdat hiermee reeds ervaring is opgedaan in de utiliteitsbouw.

Op de lange termijn kan geavanceerde energieopslag in de vorm van thermochemische en fotochemische opslagstechnieken een belangrijke rol gaan spelen als toepassing voor zonthermische energie in de woningbouw

In geval zonne-energie gecombineerd wordt met andere duurzame energieopties, zoals warmtepompsystemen, kan dit in bepaalde gevallen leiden tot een redelijk besparingspotentieel.

Bouwkundige integratie van zonthermische producten in de gebouwschil heeft mogelijkheden, echter een knelpunt is de afstemmingsproblematiek tussen bouwtechniek en installatietechniek.

Tenslotte zijn aanbevelingen voor strategisch onderzoek geformuleerd die de ontwikkeling van kansrijke concepten moet stimuleren.

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Thermische actieve zonne-energie</b>	<b>5</b>
2.1	Vacuümbuiscollectoren (VAC)	5
2.2	Zwarte vlakke-plaat collector (ZWE)	5
2.3	Spectraal selectieve vlakke-plaat collector, afgedekt (SSE)	5
2.4	Onafgedekte collectoren (OAC)	5
2.5	Luchtcollector	5
2.6	Vergelijking van collectoren	6
2.7	Huidige systemen	6
<b>3</b>	<b>Strategieën en concepten</b>	<b>7</b>
3.1	Randvoorwaarden	7
3.2	De relatie tussen concepten en strategieën	8
3.3	Lange termijn (seizoen) opslag in de bodem	9
3.3.1	Lange termijn opslag in aquifers	9
3.3.2	Mogelijkheden voor toepassing van aquifers in de woningbouw	10
3.3.3	Lange termijn warmteopslag in de bodem	11
3.3.4	Lange termijn warmteopslag in een waterbassin	12
3.4	Energieopslag in geavanceerde materialen	13
3.4.1	Fase overgangsmaterialen (PCM's)	13
3.4.2	Thermochemische opslag	14
3.4.3	Fotochemische opslag	15
3.5	Combinatie met andere duurzame energie systemen	15
3.5.1	Thermische zonne-energie en de warmtepomp	16
3.5.2	Thermische zonne-energie en photovoltaïsche zonne-energie (PV)	18
3.5.3	Thermische zonne-energie en warmtekracht koppeling	18
3.6	Bouwkundige integratie met thermische zonne-energie	18
<b>4</b>	<b>Kwalitatieve analyse</b>	<b>20</b>
4.1	Kwalitatieve analyse	20
4.2	Vaststellen kansrijke concepten	24
4.3	Basis voor strategievorming	26
4.3.1	Seizoensopslag in aquifers	26
4.3.2	Seizoensopslag in bodem/ in waterbassins	26
4.3.3	Geavanceerde energieopslag	26
4.3.4	Zon-thermisch in combinatie met andere duurzame energietoepassingen	27
4.3.5	Bouwkundige integratie	27
4.4	Aanbeveling voor uitwerkingsstrategie op korte en middellange termijn	28
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>29</b>
5.1	Conclusies	29
5.2	Aanbevelingen	30

# 1 Inleiding

In het kader van de BSE regeling en het onderzoekprogramma 'Thermische Zonne-energie' van de Novem, is door TNO Bouw, afdeling DEG, een onderzoek uitgevoerd naar de integratie van zon-thermische systemen in de functionaliteit van het woonhuis.

Het project is uitgevoerd in twee stappen.

De eerste stap betreft een globale verkenning naar de wijze waarop thermische zonne-energie een rol kan spelen in een verdere verlaging van het energiegebruik in de woning. De resultaten van deze stap zijn vastgelegd in een deelrapport [1]. Hieronder volgen de conclusies uit dit rapport.

1. De huidige producten zijn naar verwachting onvoldoende ingericht voor een kansrijke marktpositie in de toekomst; productvernieuwing is nu actueel. De voornaamste keuze ligt tussen het ontwikkelen van een compleet functioneel, gespecialiseerd product of het ontwikkelen van breed toepasbare componenten.
2. Het complete product kan zodanig worden ontwikkeld dat het past in de nieuwe bouwpraktijk. Aansluiting kan worden gezocht bij zowel fabrikanten van bouwkundige als installatietechnische bouwdelen. In gewijzigde vorm kan het product ook worden toegepast in de bestaande bouw.
3. De breed toepasbare componenten vereisen de ontwikkeling van wezenlijk nieuwe technieken. Bij succes is de toepasbaarheid van de componenten echter groot. Door de componenten aan te sluiten op een nog te ontwikkelen standaard intelligente 'interface' voor alle installatieonderdelen wordt een duidelijke versterking van alle installatietechnische bouwdelen voorzien; ontwikkelingen op installatietechnisch gebied kunnen van elkaar profiteren. Deze benadering biedt kansen om zowel tot integratie van bouwkundige als installatietechnische bouwdelen te komen.

De tweede stap bestaat uit het beschrijven en definiëren van verschillende strategieën die gericht zijn op de inzet van thermische zonne-energie op korte en middellange- of lange termijn in de woningbouw. Met behulp van een kwalitatieve analyse is daarna aangegeven wat de meest kansrijke strategieën zijn. In het voorliggende rapport wordt de hier beschreven tweede stap gerapporteerd.

## 2 Thermische actieve zonne-energie

In de – in het volgende hoofdstuk – beschreven strategieën zal gebruik gemaakt moeten worden van een van de verschillende types zonnecollectoren die op de markt zijn. Een zonnecollector [6] heeft als doel zoveel mogelijk van de opvallende zonnestraling om te zetten in warmte en deze warmte af te staan aan het transportmedium. De volgende typen zonnecollectoren kunnen worden onderscheiden.

### 2.1 Vacuümbuiscollectoren (VAC)

Kenmerkend voor dit type collector [7] is de lage warmteverliesfactor. Hierdoor is het temperatuurbereik van de collector hoog. Daardoor is de collector bij uitstek geschikt voor hoge temperatuurtoepassingen, tot 200°C. Dit hoge werkgebied maakt het mogelijk een grote energieopbrengst te bereiken.

### 2.2 Zwarte vlakke-plaat collector (ZWE)

Dit type collector heeft een relatief hoge warmteverliesfactor, waardoor het werkgebied van de collector beperkt wordt tot 70°C. Dit type collector wordt in Nederland nauwelijks meer toegepast.

### 2.3 Spectraal selectieve vlakke-plaat collector, afgedekt (SSE)

Dit type collector, waarvan de absorber voorzien is van een spectraal selectieve coating, is het meest gangbare in Nederland. Het spectraal selectieve oppervlak heeft een hoge absorptie van de opvallende zonnestraling en een laag warmteverlies voor infrarode uitstraling. Het temperatuurbereik (100°C) van de collector komt goed overeen met de toepassing in een zonneboiler voor warm tapwater voorzieningen.

### 2.4 Onafgedekte collectoren (OAC)

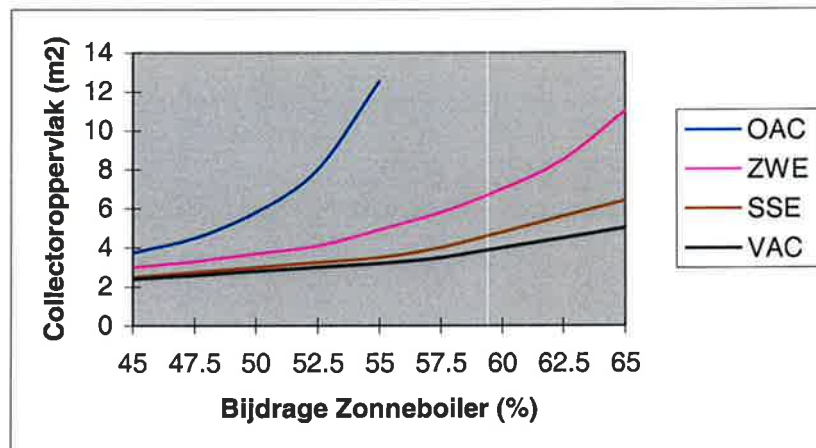
Deze collectoren hebben een hoog rendement bij een koel warmtetransportmedium. Maar door zijn hoge warmteverliesfactor is het temperatuurbereik van de collector laag (tot 40°C) en zonder warmtepomp ongeschikt voor hoge(re) temperatuurtoepassingen. Deze collectoren functioneren daarom het beste in geval de warmtetransportvloeistof laag in temperatuur blijft. Door dit lage temperatuurbereik is het alleen mogelijk een grote energiebijdrage te bereiken door een beperkte opwarming van relatief veel koud water.

### 2.5 Luchtcollector

Een luchtcollector werkt niet met een vloeibaar transportmedium. Bij deze collector wordt lucht verwarmd door de zon in een spouw van het dak of de gevel. Echter lucht heeft een lage warmtecapaciteit. Luchtcollectoren worden daarom nauwelijks toegepast voor directe ruimteverwarming in de woningbouw, daar de energieopbrengst gelimiteerd is. In dit rapport wordt verder niet ingegaan op dit type collector.

## 2.6 Vergelijking van collectoren

Figuur 2.1 geeft een indruk van de prestaties van de verschillende collectortypen.



**Figuur 2.1** De relatie [5] tussen het benodigde collectoroppervlak en de energiebijdrage van de zonneboiler voor verschillende collectortypen, bij een warmtapwatervraag van een standaard woonhuis.

## 2.7 Huidige systemen

Er zijn op de markt drie typen systemen te onderscheiden:

- *Kleine zonneboiler*

De kleine zonneboiler heeft een collectoroppervlakte kleiner dan 6 m<sup>2</sup> en veelal een opslagvat met een inhoud niet groter dan ±300 liter. De kleine zonneboiler wordt gebruikt voor (voor-)verwarming van tapwater, veelal in woningen.

- *Grote zonneboiler*

De grote zonneboiler heeft een collectoroppervlakte groter dan 6 m<sup>2</sup> en een opslagvat veelal met een inhoud van 40-50 liter per m<sup>2</sup> collectoroppervlakte (zie ook [8]). De grote zonneboiler wordt eveneens gebruikt voor (voor-) verwarming van tapwater. Meestal wordt de grote zonneboiler toegepast in collectieve installaties in bijvoorbeeld campings, hotels, verzorgingstehuizen, sportcomplexen, e.a.

- *Zonneverwarmingsinstallatie*

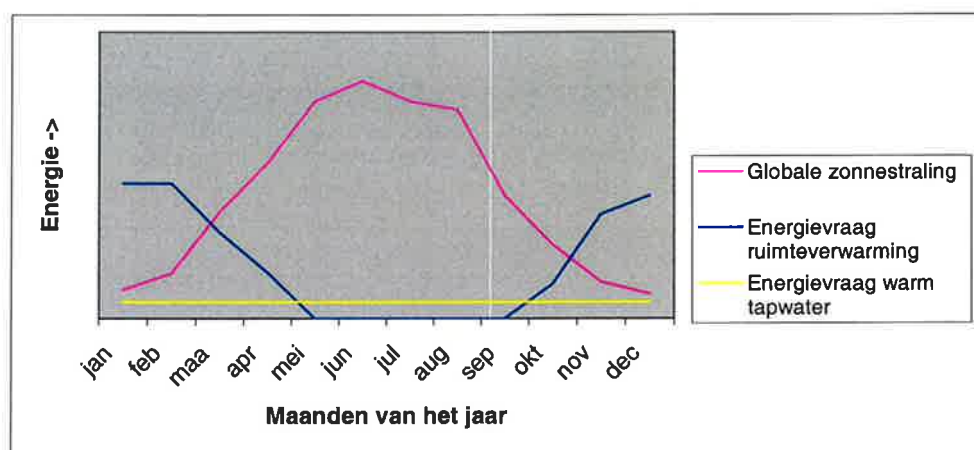
De zonneverwarmingsinstallatie of zonnecombisysteem is een installatie dat energie levert voor zowel warmtapwaterbereiding alsmede warmte voor ruimteverwarming. De huidige zonneverwarmingsinstallaties voor individuele woningen hebben een collectoroppervlakte variërend tussen 5 en 20 m<sup>2</sup>. Het opslagvat is veelal groot (tot 2000 liter) en bevat veel intelligentie teneinde zoveel mogelijk zonne-energie voor beide toepassingen te kunnen benutten.

### 3 Strategieën en concepten

In dit hoofdstuk is de tweede stap van het project nader uitgewerkt: het beschrijven en definiëren van de verschillende strategieën, die de inzet van thermische zonne-energie kunnen vergroten door het gebruik van nieuwe technieken die op korte of langere termijn beschikbaar zullen zijn. Daarbij is rekening gehouden met randvoorwaarden, zoals de toepassing van lage temperatuursverwarming, alsmede een optimale inzet van passieve zonne-energie.

#### 3.1 Randvoorwaarden

De mogelijkheden voor thermisch actieve zonne-energie worden vergroot door toepassing van lage temperatuursruimteverwarming. De zonbijdrage aan de warmtevraag voor ruimteverwarming zal beperkt zijn, omdat vraag en aanbod niet met elkaar overeen stemmen (zie figuur 3.1).



**Figuur 3.1** Energievraag en -aanbod per maand van een standaard woonhuis.

Lage temperatuur systemen (LTS) worden onderverdeeld in [14]:

- zeer lage temperatuursystemen (ZLTS);
- lage temperatuursystemen (LTS);
- middel hoge temperatuursystemen (MTS) en
- hoge temperatuur systemen (HTS).

Tabel 3.1 geeft een overzicht van deze systemen met zijn toepassingen.

**Tabel 3.1** Overzicht warmteafgifte systemen.

Type	Ontwerp aanvoer-temperatuur (°C)	Warmteafgifte systeem begane grond	warmte afgifte systeem eerste verdieping
ZLTS	< 30	vloer en wand	vloer en wand
LTS	55	vloer, wand en radiatoren	vloer, wand en radiatoren
MTS	65	vloer radiatoren	radiatoren
HTS	90	radiatoren	radiatoren

Vooraf de toepassing van ZLTS zal de potentie van thermische zonne-energie kunnen vergroten. Daarnaast bieden deze systemen bijkomende voordelen, zoals

- efficiëntere warmteopwekking;
- minder warmteverlies door lagere luchttemperaturen;
- hoger thermisch comfort;
- beter binnenmilieu.

De tweede randvoorwaarde is, dat naast actieve zonne-energie, ook gebruik gemaakt dient te worden van passieve zonne-energie (PZE) toepassingen.

Passieve zonne-energie is een term die wordt gebruikt om verschillende maatregelen te omschrijven die het energiegebruik in de woning terugdringt. Voorbeelden van die maatregelen zijn:

1. Meer glas op het zuiden om meer zonnewarmte binnen in de woning te krijgen, voor vermindering van de verwarmingsbehoefte.
2. Compartimentering en zonering van vertrekken teneinde warmtevraag terug te dringen.
3. Gebruik van (geavanceerde) isolatiematerialen.
4. Gebruik van een serre als een temperatuurbuffer.

Voor ruimteverwarming kan passieve zonne-energie zowel concurrerend als aanvullend zijn met actieve zonne-energie.

### 3.2 De relatie tussen concepten en strategieën

Ten behoeve van de beschrijving van strategieën, welke gericht zijn op grootschalige inzet van thermische zonne-energie op korte of langere termijn in de woningbouw, worden in dit hoofdstuk een reeks (technische) concepten beschreven. Deze concepten hebben alle tot doel vergroting van het aandeel van zonthermische energie in de woning. De huidige kennis wordt hierbij als uitgangspunt gehanteerd. De volgende concepten worden beschreven.

- 1 *Integratie met lange termijn opslag*
  - a. warmteopslag in aquifer;
  - b. warmteopslag in de grond;
  - c. warmteopslag in waterbassins.
- 2 *Energieopslag in geavanceerde materialen*
  - a. fase overgangsmaterialen (PCM's);
  - b. thermochemische opslag;
  - c. fotochemische opslag.
- 3 *Integratie met andere duurzame energie technieken*
  - a. warmtepompen
  - b. fotovoltaïsche zonne-energie
  - c. warmte kracht koppeling
- 4 *Bouwkundige integratie*

In §4.4 en §4.5 wordt van de kansrijke concepten een (de) strategie beschreven hoe het desbetreffend concept in de (nabije of verre) toekomst ingevuld kan gaan worden.



### 3.3 Lange termijn (seizoen) opslag in de bodem

Een lange termijn opslag heeft als doel het opslaan van warmte in de grond in de zomer, om deze in de winter te kunnen toepassen. Om het energieverlies van de opgeslagen warmte zo klein mogelijk te houden, moet de opslag zo groot mogelijk gedimensioneerd worden. Daarom is lange termijn opslag alleen uitvoerbaar voor minimaal 100 woningen.

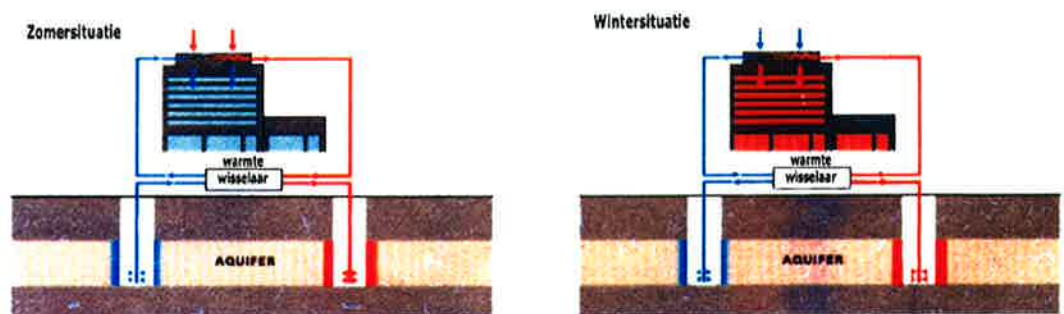
#### 3.3.1 Lange termijn opslag in aquifers

Bij energieopslag in aquifers zijn globaal twee principes te onderscheiden [3]:

1. opslagsysteem;
2. recirculatiesysteem.

##### 3.3.1.1 Opslagsysteem

Bij het opslagsysteem wordt er 's zomers warmte in de warme bron geïnjecteerd en koude uit de koude bron onttrokken. In de winter wordt er koude in de koude bron geïnjecteerd en warmte uit de warme bron onttrokken. Het grondwater kan zowel voor koeling als verwarming gebruikt worden.



*Figuur 3.2 Aquifer principe voor de zomer- en wintersituatie.*

Bij het opslagsysteem is een combinatie met zonne-energie mogelijk.

Dit kan op twee manieren:

- via een direct systeem of
- via een indirect systeem

Direct verwarmen van woningen met de opgeslagen zonne-energie zonder hulp van een warmtepomp:

Bij dit systeem wordt in de zomer water uit de koude bron onttrokken en langs de zonnecollector gevoerd. Het opgewarmde water wordt in de warme bron geïnjecteerd. Deze warmte wordt in de winter gebruikt om het gebouw op te warmen. Daarna wordt het afgekoelde water weer geïnjecteerd in de koude bron.

Indirect verwarmen van woningen met de opgeslagen zonne-energie met behulp van een warmtepomp:

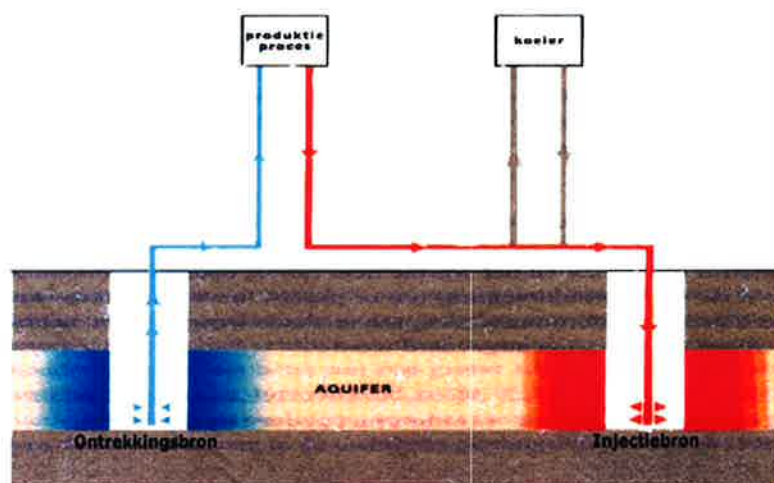
In de zomer wordt het water uit de koude bron gebruikt voor koeling van het gebouw. De warmte uit het gebouw wordt samen met de zonnewarmte uit de collectoren in de warme bron van de aquifer opgeslagen. In de winter wordt het water uit de warme bron onttrokken en via een warmtepomp naar een hoger temperatuurniveau gebracht.

Dit principe is minder interessant voor woningen, omdat woningen geen gebruik maken van koeling.

### 3.3.1.2 *Recirculatiesysteem*

Bij het recirculatiesysteem wordt het gehele jaar door, uit dezelfde bron (onttrekkingsbron) grondwater onttrokken met een natuurlijke bodemtemperatuur van circa 12°C. Dit grondwater wordt gebruikt voor koeling, waarna het opgewarmde grondwater via een injectiebron weer in de aquifer wordt geïnjecteerd.

Omdat dit systeem hoofdzakelijk wordt gebruikt om te koelen is het minder geschikt voor toepassing bij woningen.



**Figuur 3.3** *Recirculatiesysteem.*

Het systeem moet zodanig gedimensioneerd worden, dat de jaarlijks gemiddelde injectietemperatuur gelijk is aan de onttrekkingstemperatuur.

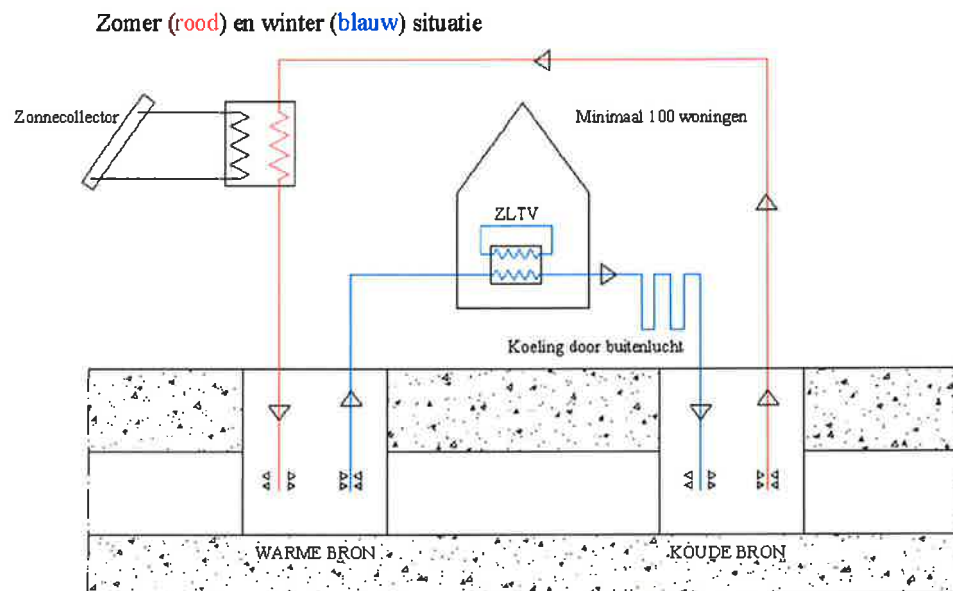
Bij dit systeem is gebruik van een zonnecollector niet mogelijk. Gemiddeld over een jaar mag er geen netto warmte in de bodem opgeslagen worden, omdat er dan sprake is van een ongeoorloofde structurele opwarming van de bodem. Aangezien in de zomer grondwater geïnjecteerd is met een temperatuur hoger dan de natuurlijke bodemtemperatuur, zal in de winter grondwater moeten worden geïnjecteerd met een lagere temperatuur, dan de natuurlijke bodemtemperatuur. Dit kan door het grondwater na gebruik voor te koelen met bijvoorbeeld de koude buitenlucht.

### 3.3.2 *Mogelijkheden voor toepassing van aquifers in de woningbouw*

Een aquifer is in Nederland op veel plaatsen aanwezig in de bodem. Een speciaal gecreëerde of reeds aanwezige bron kan gebruikt worden om grondwater te koelen of op te warmen. Meestal worden twee bronnen toegepast: een koude en een warme.

Door in de zomer grondwater uit de koude bron langs een zonnecollector in de warme bron te injecteren, wordt deze bron opgewarmd. Dit opgewarmde grondwater kan in de winter worden gebruikt om de woning te verwarmen.

Aquifers worden reeds toegepast in de utiliteitsbouw en heeft daarbij als voordeel, dat het ook gebruikt kan worden voor vrije koeling.



**Figuur 3.4** Mogelijke configuratie van LT aquifer opslag met thermische zonne-energie.

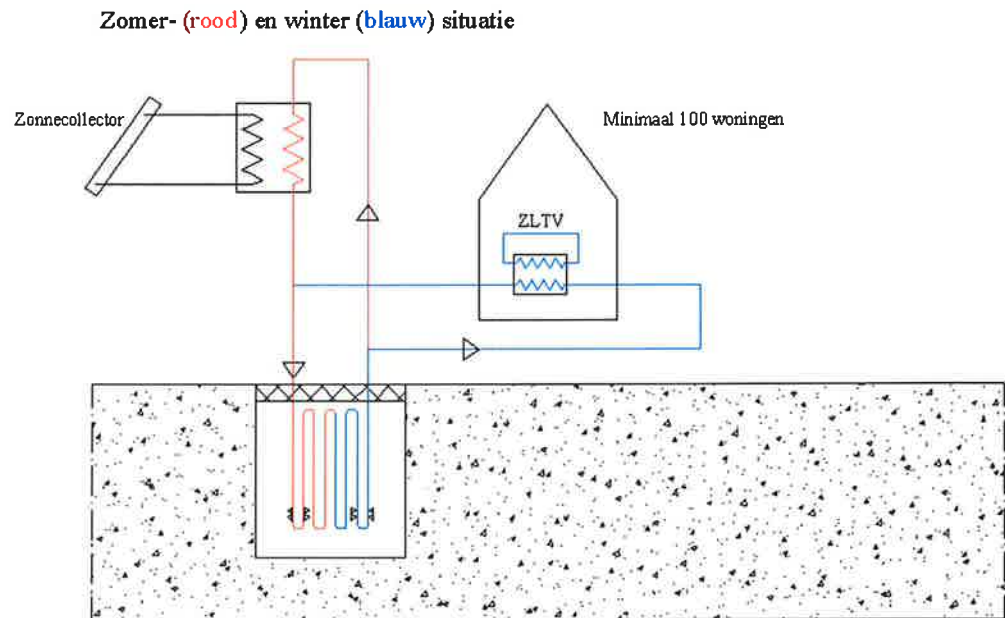
Bij lange termijn warmteopslag in een aquifer, kunnen bij hogere temperaturen (evt. ongewenste) chemische reacties optreden. Bij opslag van koude (tot ongeveer 15-20°C) is de kans hierop zeer klein. Vanzelfsprekend zullen schadelijke reacties moeten worden vermeden.

Verder moet er over het jaar genomen een evenwicht zijn tussen de twee bronnen. Iedere bron zal thermisch en hydrologisch neutraal moeten zijn. Dit betekent dat over het jaar genomen de onttrokken en toegevoerde hoeveelheid grondwater alsmede de onttrokken en toegevoerde hoeveelheid energie in evenwicht zal moeten zijn.

Voor het toepassen van aquifer opslag bij woningbouw zijn er minimaal 100 woningen nodig bij dit systeem, wil het concept kostentechnisch acceptabel en energetisch rendabel zijn.

### 3.3.3 Lange termijn warmteopslag in de bodem

Bij deze vorm van opslag wordt de grond als opslagmedium gebruikt en wordt gebruik gemaakt van kunststof buizen [4]. Deze worden meestal verticaal in de grond geplaatst en als warmtewisselaar gebruikt. De grond dient als opslagmedium en isolator. Alleen aan de bovenzijde van de opslag wordt isolatie toegevoegd. Hiermee worden de warmteverliezen aan de bovenzijde beperkt en wordt mede daardoor het biologische klimaat in de bovenste laag slechts weinig verstoord [13].



**Figuur 3.5** Mogelijke configuratie van LT-ductopslag met thermische zonne-energie.

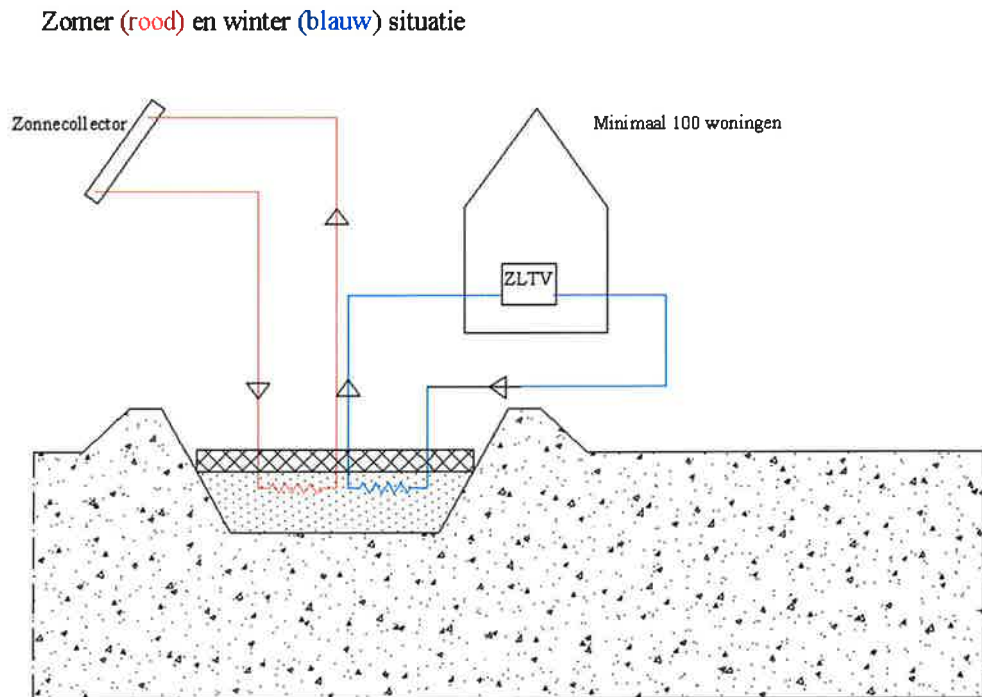
Een ductopslag is een gesloten systeem, waarin een warmtetransportmedium door de bodemwarmtewisselaar stroomt; hiermee wordt de omliggende grond gekoeld of opgewarmd. Voordeel is dat het breder toepasbaar, vanwege de minder strenge milieueisen. Een nadeel is dat deze wijze van opslag vrij kostbaar is.

#### **Praktijkvoorbeeld**

Een relatief duur aspect bij deze toepassing, is de aanschaf van de bodemwarmtewisselaar. Ten tijde van het schrijven van dit rapport wordt de integratie van deze bodemwarmtewisselaar in heipalen onderzocht (en in kleine schaal toegepast). Dit is dus een voorbeeld waarbij de functie-integratie reeds in ontwikkeling is.

#### **3.3.4 Lange termijn warmteopslag in een waterbassin**

Bij deze vorm van opslag wordt water uit een put gebruikt. De put kan bijvoorbeeld worden gegraven, maar meestal wordt er een natuurlijke put gebruikt, bijvoorbeeld een al bestaande afgraving of mijngangen. Deze manier van opslag wordt niet veel toegepast in Nederland. Een collector kan het water in de put direct opwarmen in de zomerperiode, zodat dit water later in de winter gebruikt kan worden om een woning te verwarmen.



**Figuur 3.6** Mogelijke configuratie van LT wateropslag met thermische zonne-energie.

### 3.4 Energieopslag in geavanceerde materialen

Bovengenoemde opslagmethoden beschrijven de opslag van voelbare warmte, in vloeibare vorm of vaste vorm. Een meer geavanceerde manier van het opslaan van warmte is het gebruik maken van de latente warmte van (bijvoorbeeld) zouten of het opslaan in een chemische vorm. Hieronder worden de verschillende vormen behandeld [16].

#### 3.4.1 Fase overgangsmaterialen (PCM's)

Een inmiddels in gebruik zijnde thermische opslagmethode is de opslag in fase-overgangsmaterialen (phase change materials – pcm's). De pcm's zijn veelal vochtvrije of gehydrateerde zouten, waarin de energie wordt opgeslagen in latente warmte van een fase overgang, meestal de vast-vloeibare overgang. Hierbij kan veelal op een compacte manier een grote energiehoeveelheid worden opgeslagen. De opgeslagen energie komt vrij op een constante temperatuur.

---

##### Voorbeeld

De hoogste opslagdichtheid voor gehydrateerde zouten is gevonden voor  $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  met een waarde van  $572 \text{ MJ m}^{-3}$  bij een smelttemperatuur van  $78^\circ\text{C}$ .

Ter vergelijking: water heeft een energiedichtheid van  $209 \text{ MJ m}^{-3}$  bij een temperatuurverhoging van  $50\text{K}$

---

##### Voordelen

- Opslag in pcm's neemt minder volume ( $\pm$  factor 2) in dan de opslag van voelbare warmte in water.
- De warmte komt vrij (is beschikbaar) op een constante temperatuur.

### Nadelen

- Pcm's verouderen of worden minder effectief na een aantal cycli (de zgn. hydratatie).
- Sommige pcm's hebben een beperkte thermische geleidbaarheid; hierdoor kan de terugwinning van de opgeslagen warmte een probleem zijn.

In de woningbouw kennen pcm's een tweetal toepassingen

1. zonneboilers/ zonnecombisystemen;
2. vloerverwarming/ gebouwmassa.

#### 3.4.1.1 Toepassing met zonneboilers

Bovengenoemd voorbeeld schetst de potentie van pcm's in dit toepassingsgebied. De energiedichtheid kan duidelijk worden vergroot, echter de genoemde factor 2 is onvoldoende groot voor een geschikte toepassing voor lange termijn opslag. Het potentieel ligt hier (ook) in de korte termijn opslag; pcm's ondervindt vanwege prijstechnische redenen een geduchte concurrent in de 'conventionele' zonneboiler. De energiezuinigheid (EPC-verlagingspotentie) zal voor deze toepassing beperkt zijn, omdat het hier korte termijn opslag betreft.

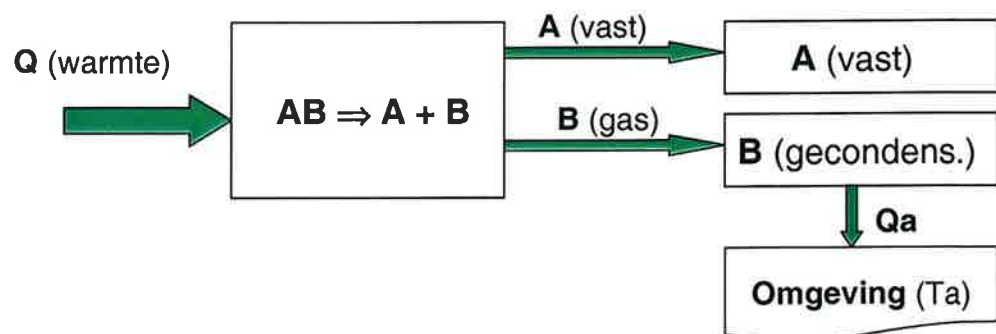
#### 3.4.1.2 Toepassing Vloerverwarming/ gebouwmassa

Door pcm's te integreren in vloerverwarming wordt de buffercapaciteit van de vloer vergroot. Dit type vloerverwarming kan op conventionele wijze worden voorzien van warmte (met een CV-ketel). Ook kan hij gevoed worden door zonne-energie; bijvoorbeeld door een pcm-geïntegreerde vloerverwarming te koppelen aan seizoensopslag van thermische zonne-energie in een aquifer.

#### 3.4.2 Thermochemische opslag

Bij chemische opslag van (zonne-)energie wordt de zonnewarmte gebruikt als drijvende kracht voor (nuttige) chemische reacties. Dit proces werkt als volgt:

Met behulp van thermische energie wordt bijvoorbeeld het reversibele proces tot ontbinding van de stof AB in gang gezet (zie figuur 3.7). De reactieproducten A en B kunnen worden opgeslagen bij kamertemperatuur. Hierbij is de opslagcapaciteit en de opslagduur niet beperkt, daar de energie is opgeslagen in een chemisch product en er dus geen warmteverlies is. Thermochemische opslag is daarom lange termijn opslag. De toegevoerde warmte (Q) blijft achter als potentiële energie in de twee reactieproducten om (later) weer een binding te kunnen vormen.



**Figuur 3.7** Indirecte opslag van warmte door chemische reacties; opslag van chemische potentiële energie.



**Uitleg bij figuur 3.7**

Input van warmte resulteert in een chemische reactie  $AB \rightarrow A + B$ . De reactieproducten A (in vaste vorm) en B (gasvormig) worden hierdoor gescheiden. Het gas wordt gecondenseerd. De condensatie-energie wordt geleverd aan de omgeving. Energie wordt nu opgeslagen als chemische energie van de producten A en B.

Voor de warmtelevering (ontladen) zal B eerst moeten worden verdampt (hiervoor is een lage temperatuur warmte-input nodig, teneinde de verdampingsenergie te leveren). Het verdampte product B bijeengebracht bij stof A brengt de reactie  $A + B \rightarrow AB$  op gang. Hierbij komt de reactiewarmte Q weer vrij.

**Voordelen**

- Geen energieverlies tijdens opslag.
- Aanzienlijke verhoging in de energie-opslagdichtheid [ $\text{MJ}/\text{m}^3$ ].
- Onbeperkte opslagduur (lange termijn opslag).

**Nadelen**

- Moeilijke engineering.
- Vaak lage thermische geleiding van de stof AB.
- De chemische stoffen zijn vaak corrosief.

**3.4.3 Fotochemische opslag**

Een andere vorm van chemische energieopslag is fotochemische energieopslag. Hierbij is niet de warmte de drijvende kracht, echter de energie van de zonlichtfotonen.

Zonlicht vallend op een lichtgevoelige stof kan een fotochemische reactie op gang brengen, waarin de opvallende straling wordt opgeslagen in de toegenomen vrije energie van de reactieproducten. Het weer bijeenbrengen van de reactieproducten (evt. met een katalysator) brengt het systeem weer terug in originele staat. Hierbij komt de opgeslagen energie weer vrij (dit kan in de vorm van warmte of elektriciteit).

**Voorbeeld fotochemische energieopslag**

Deze 'fotochemische opslag' wordt al miljoenen jaren door de natuur geïllustreerd. De productie van koolwaterstoffen en vetten bij planten (fotosynthese) is een complex chemisch proces. Hoewel fotosynthese de primaire energiebron voor leven is, slechts 3% van de opvallende energie wordt wezenlijk opgeslagen als chemische brandstof. Een lichtend voorbeeld van fotochemische opslag is fossiele brandstof.

**3.5 Combinatie met andere duurzame energie systemen**

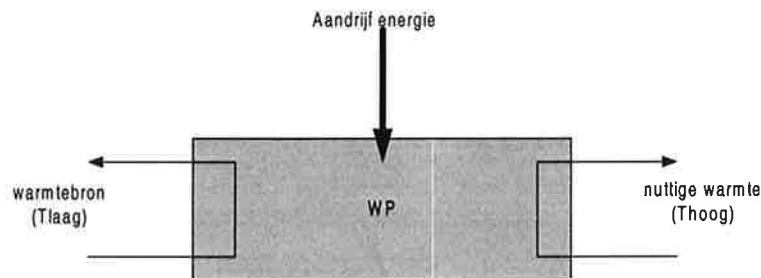
Thermische zonne-energie zal over het algemeen moeten concurreren met andere duurzame energie (DE) opties. Echter, er dienen zich ook mogelijkheden aan om thermische zonne-energie te combineren met andere DE systemen. Tabel 3.2 geeft enkele voorbeelden. Deze zijn in de volgende paragrafen nader toegelicht.

**Tabel 3.2** Combinaties thermische zonne-energie met andere DE opties.

<b>1</b>	Actieve thermische zonne-energie met warmtepompen (WP)
<b>2</b>	Actieve thermische zonne-energie met fotovoltaïsche zonne-energie (PV)
<b>3</b>	Actieve thermische zonne-energie met warmte kracht koppeling (WKK)

### 3.5.1 Thermische zonne-energie en de warmtepomp

Een warmtepomp is een systeem, waarmee laagwaardige warmte (uit een warmtebron met een lage temperatuur) kan worden getransformeerd naar hoogwaardige warmte (nuttige warmte met een hoge temperatuur), zie figuur 3.8.



**Figuur 3.8** Principe van de warmtepomp.

Voor dit proces is aandrijfenergie nodig en de energetische efficiëntie van de warmtepomp is beter naarmate temperatuur van de warmtebron en die van de nuttige warmte dicht bij elkaar liggen. Wat de aandrijving betreft kan men twee principes onderscheiden:

- de compressiewarmtepomp, met mechanische aandrijving (elektromotor of gasmotor).
- de absorptiewarmtepomp, met thermische aandrijving.

Er zijn verder nog andere aandrijfconcepten doch deze verkeren nog in een pril ontwikkelingsstadium.

Als warmtebron komen in aanmerking:

- ventilatielucht;
- buitenlucht;
- bodemwarmte;
- oppervlaktewater;
- grondwater;
- aquifers;
- zonnewarmte;
- afvalwarmte; etc.

Elke warmtebron heeft zijn voor- en nadelen. Een tekortkoming van bijna elke warmtebron is, dat er te weinig warmte geleverd worden op momenten dat de warmtevraag hoog is. Dit is alleen te overkomen door overdimensionering of door het toepassen van een hulpstookinstallatie. Een andere oplossing is de toepassing van een kleine warmtepomp voor de warmtapwatervoorziening alleen (warmtepompboiler).

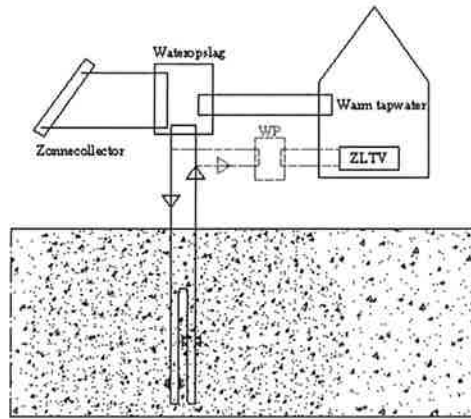
Thermische zonne-energie kan op verschillende manieren worden ingezet om de prestaties van een warmtepomp te verbeteren:

- thermische zonne-energie als directe warmtebron; de toepassing van een onafgedekte warmtecollector is dan het meest interessant.
- thermische zonne-energie voor het regenereren van de warmtebron (bijvoorbeeld de bodem).
- de warmtepomp gebruiken voor het opwaarderen van de warmte van de zonnecollector als de opbrengsttemperatuur te laag wordt.
- thermische zonne-energie als aandrijving van de (absorptie)warmtepomp; dit is interessant voor koeling in zomer en dus minder relevant voor woningen.

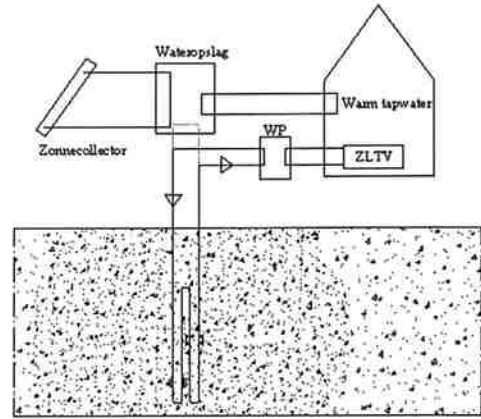


Daarnaast is het natuurlijk nog altijd mogelijk om thermische zonne-energie als een extra warmte-opwekker toe te passen in aanvulling op de warmtepomp (bijv. warmtepompbedrijf in de winter en zonneboilerbedrijf in de zomer).

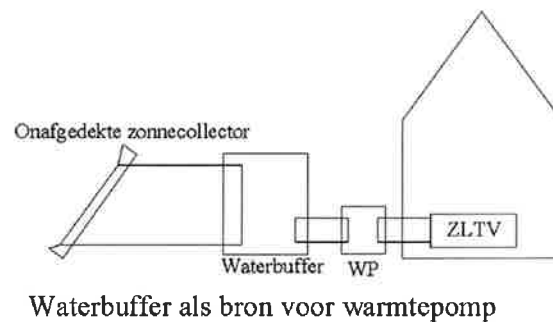
Zomersituatie; zonneboilersysteem



Wintersituatie; zonneboilersysteem en warmtepompsysteem



**Figuur 3.9** Mogelijke configuratie thermische zonne-energie met een warmtepomp.



Waterbuffer als bron voor warmtepomp

**Figuur 3.10** Warmtepomp met onafgedekte collector

In bovenstaande figuren zijn twee mogelijkheden geïllustreerd van een combinatie van de warmtepomp met thermische zonne-energie

1. Zonne-energie regenereert in de zomer de bodem die door de toepassing van een warmtepomp afgekoeld wordt in de winter.
2. De (onafgedekte) zonnecollector is de warmtebron voor de warmtepomp.

#### Systeem 1:

De zonnecollector heeft primair de functie van een zonneboiler en kan daarnaast ingezet worden voor het regenereren van de bodemtemperatuur. De warmtepomp, met grondcollectoren als warmtewisselaar, wordt toegepast voor de zeer lage temperatuursverwarming. Als de grond te koud wordt, waardoor het rendement van de warmtepomp daalt, wordt het water uit de boiler gebruikt om de grond op te warmen. Hiertoe moet de zonneboiler worden overgedimensioneerd.

### Systeem 2:

Ook hier wordt de warmtepomp gebruikt voor ruimteverwarming (en mogelijk ook de tapwaterverwarming). De warmtecollectoren moeten een groot oppervlak hebben en kunnen bijvoorbeeld als een voldaks energiedak worden uitgevoerd.

#### 3.5.2 *Thermische zonne-energie en fotovoltaïsche zonne-energie (PV)*

Photovoltaïsche zonne-energie is een energievorm, waarbij zonlicht omgezet wordt in elektriciteit. Zonne-energiesystemen [10] waarbij een thermische en photovoltaïsche functie is gecombineerd, worden ook hybride zonne-energiesystemen genoemd. Hierbij kan de PV-(elektrische) laag tevens als absorber fungeren voor een afgedekte collector. Dergelijke systemen kunnen in de toekomst voordelen bieden, wanneer grootschalige invoer van zonneboilers en PV-systemen hand in hand gaan in de woningbouw.

#### 3.5.3 *Thermische zonne-energie en warmtekracht koppeling*

De opwekking van warmte en kracht (elektriciteit) tegelijk (warmtekrachtkoppeling, wkk) heeft in Nederland een grote vlucht genomen. De meeste installaties hebben echter een zeer groot vermogen en de toepassing bij woningbouw is beperkt gebleven tot relatief kleine wkk-installaties voor collectieve verwarmingssystemen (blokverwarming bij flatgebouwen, bejaardencentra, etc). Er is echter een trend waarneembaar in de ontwikkeling van steeds kleinere wkk-installaties. De Gasunie werkt aan een micro-wkk concept, dat in de toekomst de huidige CV-ketel kan vervangen. Micro-wkk is toepasbaar zowel in nieuwbouw als in de vervangingsmarkt (150.000 ketels per jaar).

In feite is de functie van (micro) wkk dezelfde als die van een conventionele CV-(ketel), met het verschil dat de wkk-installatie elektriciteit als bijproduct levert. De beschreven micro-wkk wordt bedreven op warmtevraag<sup>1</sup>; het totaal rendement is beter dan die van een HR-ketel. De komst van micro-wkk zal geen bedreiging vormen voor de toepassing van thermische zonne-energie. De Gasunie geeft zelfs aan dat micro-wkk eenvoudig met een zonneboilersysteem is te integreren (namelijk op dezelfde wijze als bij conventionele combiketels). Daar staat tegenover, dat bij toepassen van het micro-wkk geen noodzaak aanwezig is voor het gebruik van 'Lage Temperatuur Verwarming' en daardoor zal de potentie voor het gebruik van thermische zonne-energie minder evident zijn. Het is nu nog niet duidelijk wat op termijn de kansen zijn voor micro-wkk in de woningbouw.

### 3.6 **Bouwkundige integratie met thermische zonne-energie**

In de huidige praktijk wordt de zonnecollector als een afzonderlijk bouwproduct behandeld. Bij plaatsing op een plat dak wordt de zonnecollector op een frameopstelling geplaatst en is er eigenlijk geen sprake van enige bouwkundige integratie.

Bij plaatsing op een hellend dak wordt de zonnecollector meestal ingebouwd in het dakvlak, waarbij de collector de plaats inneemt van de pannen. De collector vormt dan een integraal onderdeel van het dak. De zonnecollector vormt echter nog steeds een afzonderlijk product die tijdens de bouw of achteraf in het dak wordt verwerkt.

Een volgende stap zou kunnen zijn een collector in het prefabricage proces van het dakelement onder te brengen. Mogelijk kan dit de installatiekosten verminderen in seriematige bouw.

---

<sup>1</sup> Dit in tegenstelling tot grotere wkk-installaties, welke ook gedimensioneerd kunnen worden op de elektriciteitsvraag en warmte als bijproduct leveren.

Een nog verdere stap is een functionele integratie, waarbij bepaalde functies van de zonnecollector door bouwkundige delen wordt overgenomen. We denken dan daarbij aan dak of gevel met de volgende opbouw:

- transparante buitenbeplating (dubbelfunctie: a) waterdichting b) afdekking collector);
- luchtsponw;
- absorptieplaat (heeft verder geen bouwkundige functie);
- isolatie (dubbel functie: a) isolatie collector b) gebouwisolatie);
- onderconstructie.

We kunnen in dit geval spreken van een volledige bouwkundige integratie van thermische zonne-energie. Waarschijnlijk zijn op deze wijze kostenbesparingen te bereiken bij toepassing op grote schaal in seriebouw en bij grote projecten.

---

#### Voorbeeld



**Figuur 3.11** Voorbeeld van een geprefabriceerde gevelelement met zonnecollector voor een flatwoning (Foto: Werner Weiss, Gleisdorf, Oostenrijk).

---

## 4 Kwalitatieve analyse

In dit hoofdstuk worden de mogelijkheden en potenties van de hiervoor beschreven strategieën op een rij gezet, met als doel te kunnen aangeven welke strategie het meest kansrijk is op de korte of langere termijn. De volgende aspecten zijn daarbij meegenomen:

*Energiebesparingspotentieel:*

De te behalen energiebesparing op woningniveau door de inzet van zon-thermisch in het besproken concept.

*Toepasbaarheid en marktpotentieel:*

De potentiële markt (nieuwbouw/ bestaande bouw) en marktomvang.

*Technologie ontwikkeling:*

Het stadium van de technologie ontwikkeling.

*Kostenindicatie:*

Een kwalitatieve indicatie van de kosten.

*Milieueffecten:*

Een indicatie van de milieueffecten.

### 4.1 Kwalitatieve analyse

*Tabel 4.1 Seizoenopslag in aquifer (concept 1a).*

<b>E-besparingspotentieel</b>	Het energiebesparingspotentieel is hoog. Afhankelijk van dimensionering en het back-up systeem kan tot 100 % worden bespaard op de totale warmtebehoefte (warm tapwater- en ruimteverwarming)
<b>Marktpotentieel/toepasbaarheid</b>	Het marktpotentieel hangt af van beschikbaarheid van aquifers. Is alleen toepasbaar bij collectieve warmtesystemen (> 100 woningen). Niet geschikt voor bestaande woningbouw, tenzij het warmtesysteem collectief wordt gerenoveerd.
<b>Technologie ontwikkeling</b>	Het gebruik van aquifers wordt in de U-bouw reeds veel toegepast. Het concept is nog niet uitontwikkeld voor opslag van zonnewarmte in de woningbouw.
<b>Kostenindicatie</b>	De kosten zijn relatief hoog. Naast het slaan van putten moet ook een back-up systeem toegepast worden; wordt bij voorkeur toegepast in combinatie met een warmtepompsysteem.
<b>Milieueffecten</b>	Het gebruik van aquifers is onderhevig aan milieuregelgeving.

Tabel 4.2 Seizoenopslag in de bodem (concept 1b).

<b>E-besparingspotentieel</b>	Het energiebesparingspotentieel is hoog. Afhankelijk van dimensionering en het back-up systeem kan tot 100 % worden bespaard op de totale warmtebehoefte (warm tapwater- en ruimteverwarming)
<b>Marktpotentieel/toepasbaarheid</b>	Is alleen toepasbaar bij collectieve warmtesystemen (> 100 woningen). Dit concept is niet geschikt voor bestaande woningbouw, tenzij het warmtesysteem collectief wordt gerenoveerd.
<b>Technologie ontwikkeling</b>	Een dergelijk systeem is begin jaren '80 reeds toegepast in een demonstratieproject (Beijum-Groningen) en heeft vooralsnog in deze omvang geen navolging gevonden.
<b>Kostenindicatie</b>	De kosten zijn relatief hoog. Naast een omvangrijk leidingstelsel moet ook een geschikt back-up systeem voorhanden zijn.
<b>Milieueffecten</b>	Mogelijke invloed hoog temperatuurniveau.

Tabel 4.3 Seizoenopslag in waterbassins (concept 1c).

<b>E-besparingspotentieel</b>	Het energiebesparingspotentieel is hoog (vergelijkbaar met de concepten 1a en 1b).
<b>Marktpotentieel/toepasbaarheid</b>	Het marktpotentieel hangt af van beschikbaarheid van goedkope (natuurlijke) opslagruimten (mijnschachten, grotten). Is daarom in Nederland nauwelijks toepasbaar.
<b>Technologie ontwikkeling</b>	Relatief eenvoudig
<b>Kostenindicatie</b>	De kosten hangen geheel af van de beschikbaarheid van een goedkoop te realiseren bassin.
<b>Milieueffecten</b>	gering

Tabel 4.4 Geavanceerde energieopslag met PCM's (concept 2a).

<b>E- besparingspotentieel</b>	Het energiebesparingspotentieel is vergelijkbaar met die van de huidige zonneboilers.
<b>Marktpotentieel/toepasbaarheid</b>	De aantrekkelijkheid van het gebruik van PCM's heeft betrekking op een meer compacte warmteopslag in vergelijking met huidige zonneboilers.
<b>Technologie ontwikkeling</b>	Dit is bestaande technologie. Wordt reeds toegepast, echter (nog) niet in ruimtelijke mate.
<b>Kostenindicatie</b>	De meerkosten ten opzichte van huidige zonneboilers zijn beperkt.
<b>Milieueffecten</b>	De toe te passen zouten in PCM's kunnen milieuvriendelijk zijn

*Tabel 4.5 Geavanceerde energieopslag: thermochemische principes (concept 2b).*

<b>E-besparingspotentieel</b>	Het energiebesparingspotentieel is in principe groot. Bij een voldoende rendement is een nul-energie optie op thermisch niveau haalbaar voor woningen.
<b>Marktpotentieel/toepasbaarheid</b>	Afhankelijk van uitvoering. Thans zijn nog geen werkende systemen beschikbaar.
<b>Technologie ontwikkeling</b>	De technologie verkeert nog in een pril ontwikkelingsstadium.
<b>Kostenindicatie</b>	De kosten zijn sterk afhankelijk van de technische oplossingen (die nog gevonden moeten worden).
<b>Milieueffecten</b>	De op dit moment meest kansrijke stoffen blijken chemisch giftig en corroderend te zijn.

*Tabel 4.6 Geavanceerde energieopslag: fotochemische principes (concept 2c).*

<b>E- besparingspotentieel</b>	Vooralsnog beperkt omdat het rendement per m <sup>2</sup> -collectoroppervlakte van bekende principes nog zeer laag is.
<b>Marktpotentieel/toepasbaarheid</b>	Zal afhankelijk zijn van de technologische ontwikkelingen. Individuele systemen zijn wellicht mogelijk; collectieve systemen hebben mogelijk een beter perspectief.
<b>Technologie ontwikkeling</b>	Afhankelijk van uitvoering. Thans zijn nog geen werkende systemen beschikbaar.
<b>Kostenindicatie</b>	De technologie verkeert nog in een pril ontwikkelingsstadium.
<b>Milieueffecten</b>	De toe te passen katalysatoren kunnen milieubelastend zijn.
<b>Opmerking</b>	In principe is fotochemische opslag geen zonnethermische toepassing.

*Tabel 4.7 Combinatie met andere duurzame energie opties: zonne-energie + warmtepomp (concept 3a).*

<b>E-besparingspotentieel</b>	Het energie-besparingspotentieel hangt sterk af van de toegepaste configuratie. In principe levert zonne-energie extra bijdragen aan de warmtebehoefte voor ruimteverwarming.
<b>Marktpotentieel/toepasbaarheid</b>	Dit is sterk gekoppeld aan het marktpotentieel en toepasbaarheid van de warmtepomp.
<b>Technologie ontwikkeling</b>	Dit is bestaande technologie. Het optimaal dimensioneren van de verschillende toepasbare configuraties vergt specialistische kennis.
<b>Kostenindicatie</b>	De meerkosten worden vooral bepaald door het warmtepompsysteem.
<b>Milieueffecten</b>	Deze liggen vooral bij het warmtepompsysteem.

*Tabel 4.8 Combinatie met andere duurzame energie opties: hybride zonne-energie + PV (concept 3b).*

<b>E-besparingspotentieel</b>	Het energiebesparingspotentieel is beperkt. De combinatie van PV met een zon-thermische collector zal het rendement van de afzonderlijke optie negatief beïnvloeden. Per m <sup>2</sup> -collectoroppervlakte kan wel meer energie ingevangen worden (warmte + elektriciteit).
<b>Marktpotentieel/toepasbaarheid</b>	Dit product kan de huidige zonneboiler vervangen; echter of dit gebeurt zal vooral worden bepaald of het voordeel van beschikbare ruimte op het dak bepalend is.
<b>Technologie ontwikkeling</b>	Verkeert in fase van het bouwen van prototypes.
<b>Kostenindicatie</b>	Bij een uitontwikkeld product kunnen de kosten minder zijn dan bij afzonderlijke PV systeem en zonnecollector.
<b>Milieueffecten</b>	Positief. Minder materiaalgebruik.

*Tabel 4.9 Combinatie met andere opties: zonne-energie + WKK (concept 3c).*

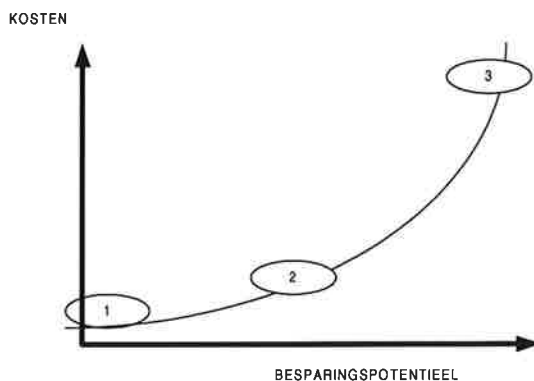
<b>E-besparingspotentieel</b>	De eventuele invoering van micro-wkk in de woningbouw zal weinig invloed hebben op het energiebesparingspotentieel van thermische zonne-energie systemen.
<b>Marktpotentieel/toepasbaarheid</b>	De huidige zonneboiler kan moeiteloos aansluiten op een wkk-verwarming in de woning.
<b>Technologie ontwikkeling</b>	De eerste praktijkexperimenten met micro-wkk in woningen worden opgezet.
<b>Kostenindicatie</b>	Aan de integratie met micro-wkk zullen waarschijnlijk dezelfde kosten verbonden zijn als bij de huidige zonneboilercombisystemen.
<b>Milieueffecten</b>	De milieueffecten worden bepaald door de micro-wkk.

*Tabel 4.10 Bouwkundige integratie van zonnecollectoren (concept 4).*

<b>E-besparingspotentieel</b>	Een goede bouwkundige integratie zal weinig invloed hebben op de opbrengst van een zonnecollector.
<b>Marktpotentieel/toepasbaarheid</b>	Het marktpotentieel van bouwkundige integratie hangt sterk af van de bereidheid van de producenten van dakelementen om zonnecollectoren geïntegreerd in hun product op te nemen.
<b>Technologie ontwikkeling</b>	Technisch is bouwintegratie haalbaar. Knelpunt: toeleveranciers van dakproducten moeten zich met installatietechniek bezig gaan houden.
<b>Kostenindicatie</b>	In principe moet met bouwintegratie een kostenvoordeel te halen zijn.
<b>Milieueffecten</b>	De milieueffecten zijn positief: minder materiaalgebruik.

## 4.2 Vaststellen kansrijke concepten

Het verband tussen het besparingspotentieel en de kosten van de diverse zon-thermische toepassingen zal globaal een curve laten zien volgens figuur 4.1.



**Figuur 4.1** Grafisch verband tussen de kosten van een besparingsstrategie en zijn besparingspotentieel.

Globaal zijn drie categorieën te onderscheiden:

1. Lage meerkosten; beperkt (energiebesparings- en/of markt-) potentieel.
2. Hogere meerkosten; echter nog betaalbaar voor de particulier; potentieel stijgt echter nog gelimiteerd.
3. Hoge meerkosten; groot potentieel.

Hierin kan met weinig additionele kosten een beperkt besparingspotentieel gedekt worden (bijvoorbeeld alleen een gedeeltelijke dekking van de jaarlijkse warmtevraag voor tapwater (dit is bijvoorbeeld de situatie 1). Indien ook een gedeelte van de ruimteverwarming gedekt dient te worden, worden de kosten al aanzienlijk hoger (situatie 2). In geval een nul-energie-woning (thermisch)<sup>2</sup> een vereiste is zullen de kosten meer dan lineair stijgen (situatie 3).

Ten overvloede kan gemeld worden, dat naar een optie linksboven in de bovenstaande figuur (weinig besparingspotentieel – hoge kosten) logischerwijs niet gezocht gaat worden en dat een optie rechtsonder in deze figuur (hoog besparingspotentieel voor lage kosten) de uitdaging is om te vinden. Vaak zal dit een doorbraak of een zogenaamde transitie naar een nieuw soort techniek zijn.

De strategieën beschreven in hoofdstuk 3 en 4.2 kunnen volgens deze methodiek in één van de gedefinieerde categorieën worden onderverdeeld. Deze staan vermeld in tabel 4.11. Tevens is in deze tabel een ranking gemaakt tussen de verschillende concepten, zowel op korte als op lange termijn. Voor het maken van deze ranking is in eerste instantie gelet op het besparingspotentieel; in tweede instantie op het marktpotentieel en de kosten.

<sup>2</sup> Onder een nul-energie-woning (thermisch) wordt verstaan een woning waarbij de warmtebehoefte (tapwater en ruimteverwarming) geheel gedekt kan worden door het gebruik van zonnewarmte.



**Tabel 4.11** Onderverdeling van de verschillende strategieën in potentieel-categorieën. Rangorde naar mate van kansrijkheid; 1 = hoog, 10 = laag.

Strategie	Categorie	Beargumentering	Ranking (korte termijn)	Ranking (lange termijn)
<u>Concept 1a:</u> Seizoenopslag in aquifer	3	Bij goede dimensionering is energie-nul optie mogelijk. Is afhankelijk van de beschikbaarheid van aquifers. Alleen mogelijk voor toepassing als collectieve verwarming.	1	3
<u>Concept 1b:</u> Seizoenopslag in bodem	3	Bij goede dimensionering is energie-nul optie mogelijk. Duurdere optie dan concept 1a. Alleen mogelijk voor toepassing als collectieve verwarming.	2	4
<u>Concept 1c:</u> Seizoenopslag in waterbassin	3	Bij goede dimensionering is energie-nul optie mogelijk. Relatief goedkope optie; wordt nauwelijks toegepast vanwege de beperkte beschikbaarheid waterbassins	3	5
<u>Concept 2a:</u> Geavanceerde opslag met PCM's	1	Bestaande technologie, echter het potentieel is beperkt.	6	9
<u>Concept 2b:</u> Geavanceerde opslag – Thermochemisch	3 op termijn	Moet nog heel veel onderzoek naar gedaan worden eer dit beschikbaar is in de vorm van een product. Qua potentieel moet het dan energie-nul kunnen halen.	9	2
<u>Concept 2c:</u> Geavanceerde opslag – Fotochemisch	3 op termijn	Moet nog heel veel onderzoek naar gedaan worden eer dit beschikbaar is in de vorm van een product. Qua potentieel moet het dan energie-nul kunnen halen. Dit is eigenlijk geen zonthermische optie.	10	1
<u>Concept 3a:</u> Combinatie met andere duurzame energie opties – zonne-energie + WP	2	Is sterk gekoppeld aan het marktpotentieel van de warmtepomp; energie-nul zal niet gehaald worden. Door de koppeling van 2 duurzame energie-opties vrij kostbaar.	4	8
<u>Concept 3b:</u> Combinatie met andere duurzame energie opties – Hybride zonne-energie + PV	1-2	de te behalen energiewinst is gelimiteerd – zal veelal toegepast worden uit oogpunt van kosten-reductie.	5	6
<u>Concept 3c:</u> Combinatie met andere duurzame energie opties – zonne-energie + WKK	1	In geval deze twee optie worden geïntegreerd, belemmerd noch versterken de twee opties elkaar	8	10
<u>Concept 4:</u> Bouwkundige integratie van zonne-energie	1-2	De hoeveelheid energie-besparing is beperkt, maar indien de bouwkundige integratie goed op gang komt kan het marktpotentieel heel hoog worden.	7	7

### 4.3 Basis voor strategievorming

De onderverdeling en de ranking van de verschillende concepten in tabel 4.11 kunnen als basis dienen voor de vorming van strategieën om uiteindelijk te komen tot grootschalige toepassing van thermische zonne-energie op korte of langere termijn in de woningbouw.

#### 4.3.1 *Seizoensopslag in aquifers*

Seizoensopslag in aquifers is een bestaand concept, die op dit moment voornamelijk wordt toegepast in de utiliteitsbouw. Op relatief eenvoudige manier is het mogelijk deze techniek al op korte tot middellange termijn toe te passen in de woningbouw. Deze techniek gecombineerd met zonthermische energie kan, indien voldaan aan onderstaande randvoorwaarden, veelbelovend zijn.

##### Randvoorwaarden:

- Er moet een geschikte aquifer aanwezig zijn.
- Dit concept is slechts rendabel indien het collectief wordt toegepast (dus meerdere woningen op de zongedreven aquiferopslag).
- De woningen moeten zongericht worden gebouwd.
- In de woningen zal (zeer) lage temperatuurverwarming moeten worden toegepast.

#### 4.3.2 *Seizoensopslag in bodem/ in waterbassins*

Ook seizoenopslag in de bodem en in waterbassins zijn veelbelovende concepten daar ook hierbij, in geval van een goede dimensionering van het zon-thermische deel alsmede het bodem/bassin-gedeelte, een nul-energie optie kan worden bereikt. Een aantal gelijke randvoorwaarden vergeleken met de optie beschreven in §4.3.1 kunnen worden gegeven.

##### Randvoorwaarden:

- De woningen moeten zongericht worden gebouwd.
- In de woningen zal (zeer) lage temperatuurverwarming moeten worden toegepast.
- Dit concept is slechts rendabel indien het collectief wordt toegepast (dus meerdere woningen op de zongedreven aquiferopslag).
- Het warmteopslag gebied in de bodem moet een bepaalde omvang en compactheid hebben om warmteverliezen te minimaliseren.

Om dit concept op de middellange termijn een hoog marktpotentieel te laten verkrijgen, zullen de volgende knelpunten moeten worden opgelost:

- De kosten van de bodemwarmtewisselaar is zeer aanzienlijk en zal omlaag moeten; een kans hierbij is de mogelijkheid tot integratie van de bodemwarmtewisselaar in heipalen.
- Er zullen voor grootschalige toepassingen van seizoenopslag in waterbassins geschikte (afzonderlijk te isoleren) waterbassins moeten worden gelokaliseerd.

#### 4.3.3 *Geavanceerde energieopslag*

Geavanceerde energieopslag in de vorm van thermochemische en fotochemische opslagstechnieken, is de sleutel voor grootschalige zonthermische toepassingen op de lange termijn. Op woningniveau wordt Energie-nul op de lange termijn haalbaar geacht, zelfs op niet collectieve (dus lokale) schaal.

Op moment van het schrijven van dit rapport wordt onderzoek naar dit onderwerp, zowel op nationaal niveau als op internationaal niveau, sterk gestimuleerd; hierbij is het draagvlak om te komen tot efficiencyverbetering en zoek naar juiste materialen om deze technieken tot een hoger plan te tillen, vooral bij de zon-thermische industrie.

Echter zullen voordat er toepassingen marktrijp zijn, nog vele technische problemen moeten worden opgelost.

Speerpunten van onderzoek zijn:

- Onderzoek naar stabiele materialen en chemische stoffen die een hoog energie-opslag-potentieel hebben.
- Onderzoek en ontwikkeling naar producten, die geavanceerde energie-opslag toepassen.

#### 4.3.4 *Zon-thermisch in combinatie met andere duurzame energietoepassingen*

Zonne-energie gecombineerd met andere duurzame energieopties, kan in sommige gevallen leiden tot een redelijk besparingspotentieel; duidelijk hoger dan die van bijvoorbeeld een zonneboiler in de woning. Echter zullen de diverse combinaties niet leiden tot een dekking van de totale energievraag in de woning.

Naar verwachting zullen deze toepassingen zich beperken tot een niche markt, welke door de volgende factoren wordt beïnvloedt:

- de kosten van de combinatie (deze blijven naar verwachting hoog);
- het besparingspotentieel van de combinatie;
- de high-tech uitstraling van de combinatie;
- het esthetische aspect (bijvoorbeeld zonneboiler in combinatie met PV);
- de regelgeving (EPN) in de toekomst aangaande energiebesparing.

#### 4.3.5 *Bouwkundige integratie*

Bij beschouwing van de tabel 4.11 lijkt de conclusie gerechtigd, dat 'bouwkundige integratie' van zon-thermische energie in de gebouwschil beperkte mogelijkheden heeft; het besparingspotentieel is inderdaad ook beperkt.

Echter indien producten op de markt komen, die de functies van de gebouwschil en bijvoorbeeld van een zonnecombisysteem optimaal integreren, is een groot marktpotentieel mogelijk.

De vraag naar dergelijke producten kan voortkomen uit:

- esthetisch oogpunt;
- oogpunt van kostenbesparing;
- comfort, bijvoorbeeld de combinatie met lagetemperatuurverwarming.

Echter *het* knelpunt om de bouwtechniek en de installatietechniek samen te laten gaan zal in dat geval *moeten* worden opgelost.

#### 4.4 Aanbeveling voor uitwerkingsstrategie op korte en middellange termijn

In voorgaande paragraaf is een basis gegeven voor de vorming van verschillende strategieën om te komen tot grootschalige toepassing van zonthermische energie in de woningbouw.

Ten behoeve van de strategievorming kan worden aangegeven welke partijen invloed kunnen uitoefenen op het proces tot uitvoer van de verschillende concepten. De tabel 4.12 laat dit zien.

De volgende partijen worden onderscheiden:

- Projectontwikkelaars;
- Woningbouwverenigingen;
- Onderzoeksinstellingen;
- Lokale overheden;
- Centrale overheid;
- Internationale overheden;
- Industrie (van duurzame energieproducten);
- Installatiebranche;
- Installatie adviseur;
- Bodemdeskundige (bodemadviseur);
- Energiebedrijven;
- Bouwbedrijven (gevelbouwers).

**Tabel 4.12** De verschillende partijen die invloed (kunnen) uitoefenen op het proces tot uitvoer van de verschillende concepten.

Concepten	Internationale Overheden	Centrale Overheid	Lokale Overheden	Onderzoeksinstellingen	Bodemdeskundige (adviseur)	Installatie adviseur	Energiebedrijven	Industrie (Duurzame energie)	Projectontwikkelaars	Woningbouwverenigingen	Bouwbedrijven	Installatiebranche
Seizoensopslag in aquifers		●	0		●	●	0	0	●		0	0
Seizoensopslag in bodem/ in waterbassins		●	0		●	●	0	0	●		0	0
Geavanceerde energieopslag	●	●		●		●		●	0			0
Zon-thermisch in combinatie met andere duurzame energietoepassingen				●		●	●	●	0	0	0	●
Bouwkundige integratie				●				●	0		●	●

● - Aanzienlijke invloed

0 - Beperkte invloed

## 5 Conclusies en aanbevelingen

Van de huidige zonthermische systemen welke in woningen kunnen worden toegepast is het bekend dat het besparingspotentieel begrensd is en waarvoor de energie-nul optie niet haalbaar is. In dit tweede deelonderzoek teneinde de integratie van zonthermische systemen in de woningbouw te bevorderen zijn verschillende concepten aan de orde gekomen. Deze concepten zijn allen beoordeeld op hun haalbaarheid op de korte en lange termijn. Van de kansrijke concepten is een aanzet gegeven tot strategievorming. Naar aanleiding van deze aanzet tot strategievorming en de beoordeling van de verschillende concepten op aspecten als besparingspotentieel, marktpotentieel, status techniekontwikkeling, kostenaspect, kunnen een aantal conclusies worden getrokken.

### 5.1 Conclusies


- Seizoensopslag in aquifers gevoed door thermische zonne-energie is voor de toepassing op korte termijn een veelbelovend concept om te komen tot grootschalige toepassing van zonthermische energie in de woningbouw. Beperkend voor het marktpotentieel is dat dit slechts rendabel kan zijn indien dit collectief wordt toegepast.
- Hoewel seizoensopslag in de bodem en in waterbassins, zoals beschreven in hoofdstuk 3, een hoog besparingspotentieel hebben, is het marktpotentieel beperkt vanwege de beperkte beschikbaarheid van de bassins en/of de hoge kosten (van de bodemwisselaar).
- Op de lange termijn kan geavanceerde energieopslag in de vorm van thermochemische en fotochemische opslagtechnieken een belangrijke rol gaan spelen als toepassing voor zonthermische energie in de woningbouw. Echter zullen voordat er toepassingen marktrijp zijn nog vele technische problemen moeten worden opgelost.
- In geval zonne-energie gecombineerd wordt met andere duurzame energieopties kan dit in sommige gevallen leiden tot een redelijk besparingspotentieel. Echter zal het marktpotentieel voor deze toepassingen sterk beïnvloed worden door de ontwikkeling van de kosten. Een prikkel voor deze strategieontwikkeling is de toekomstige regelgeving aangaande energiebesparing en de (high) tech uitstraling van de duurzame-energie-combinatie. Ook een verbetering van het comfort (door lagetemperatuurverwarming) zal een extra stimulans zijn.
- Bouwkundige integratie van zonthermische producten in de gebouwschil heeft ondanks een beperkt extra besparingspotentieel, toch mogelijkheden. Een hoog marktpotentieel kan worden verwacht indien voldaan is aan esthetisch, bouwkundige en kostenbesparende voorwaarden. Een van de knelpunten is dat de onderling branchevreemde activiteiten van bouwtechniek en installatietechniek op elkaar afgestemd moeten worden.

## 5.2 Aanbevelingen

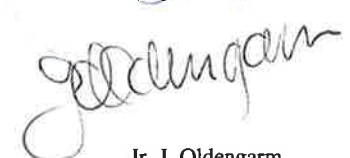
Uit deze deelstudie volgen de volgende aanbevelingen voor aanvullend onderzoek en aanvullende acties:

- Aanbevolen wordt een onderzoek te starten hoe de kennis die beschikbaar is voor de U-bouw op gebied van bodemopslag met aquifers te gebruiken voor de woningbouw.
- Aanbevolen wordt te onderzoeken hoe effectieve combinaties van zonthermische energie en warmtepompen zijn te realiseren.
- Onderzoek naar thermochemische en fotochemische technieken wordt aanbevolen een hoge prioriteit te geven in verband met het grote perspectief op lange termijn.
- Aanbevolen wordt het knelpunt dat bestaat om de bouwtechniek en de installatietechniek te integreren, te stroomlijnen om zo uiteindelijk een betere bouwkundige integratie van zonthermische producten in de gebouwschil te verkrijgen.
- Aanbevolen wordt marktpartijen en andere beïnvloedende partijen bij elkaar te brengen om zo de ontwikkeling van de verschillende strategieën in een stroomversnelling te brengen.
- Aanbevolen wordt onderzoek te stimuleren ter ontwikkeling van een standaard intelligente 'interface' voor alle (bij voorkeur duurzame) installatieonderdelen om uiteindelijk te komen tot een integratie van installatietechnische en bouwtechnische onderdelen.

Delft, 17 maart 2003  
OMJ008, NOV (slla)



Ir. B.J.M. van Kampen  
Hoofd afdeling  
Duurzame Energie en Gebouwen



Ir. J. Oldengarm  
Auteur

## Literatuurlijst

- [1] Deelrapportage: thermische zonne-energiesystemen in de woningbouw; nieuwbouw en vernieuwbouw, TNO Bouw, TNO Rapport 2002-DEG-R011, G.A.H. van Amerongen en. A.C. de Geus, Delft, 1 november 2000
- [2] Lage temperatuursystemen, meer comfort met minder energie. Novem
- [3] Novem brochure: Energiebesparende maatregelen in de bouw: Energie-opslag in aquifers, Novem, Utrecht.
- [4] Validation of 'duct-store' models with experimental data from the Groningen project. A.J.Th.M Wijsman, TNO Bouw, Delft
- [5] Zonneboilers, ontwerp, uitvoering en advisering. ISSO-publicatie 14, ISSO, Rotterdam, 1992.
- [6] Opportunities in Thermochemical and Photochemical Solar Energy Storage, Barend Schut, Vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving, Universiteit Utrecht, 1999.
- [7] Grote Zonneboilers, initiatief, ontwerp, uitvoering en beheer, ISSO-publicatie 59, ISSO, Rotterdam, 2001.
- [8] Warmtepompen, Duurzame energiesystemen, voor centrale verwarming en warm watervoorziening, Techneco, 1998.
- [9] Evaluatie zonne-energie en warmteopslag t.b.v. kantoorgebouwen, DWA, Bodegraven, 1994.
- [10] Haalbaarheid van gecombineerde toepassing van fotovoltaïsche en thermische zonne-energie - TNO rapport 93-BBI-R1198, B.G.C. van der Ree, TNO-Bouw, Delft, 1993.
- [11] Potentieelstudie hoogrendement zonnecollectoren in Nederland - TNO rapport 94-BBI-R1368, B. van der Ree, TNO Bouw, Delft, 1995.
- [12] Nieuwe ontwikkelingen rond natuurlijke ventilatie, R. Volbrengh, Bouwwereld nr. 11-2001 blz. 14.
- [13] Onderzoek naar de mogelijkheden van seizoenopslag van zonne-energie in de bodem, TNO-rapport 803.223, A.J.Th.M. Wijsman, TNO-TPD, Delft, 1980.
- [14] Lage temperatuurverwarming en bouwregelgeving, N.P.M. Scholten en H.A.L. van Dijk, TNO Bouw, Delft, 1999.
- [15] Novem - Rekenstudie warmtepompboiler, P.W. Bergmeijer, J. van der Linden, TNO-TPD, Delft, 1990.
- [16] Gasunie brochure: Micro-warmte-kracht staat voor de (huis)deur, Gasunie, Groningen.