

# Zonne-energie in woningen

Evaluatie van transitie op basis van systeemopties

J.A. Montfoort

J.P.M. Ros

© Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), Bilthoven, 2008

MNP-publicatienummer 500083009

*Contact*

johanna.montfoort@mnp.nl

U kunt de publicatie downloaden van de website [www.mnp.nl](http://www.mnp.nl) of bestellen via [reports@mnp.nl](mailto:reports@mnp.nl) onder vermelding van het MNP-publicatienummer.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Milieu- en Natuurplanbureau, de titel van de publicatie en het jaartal.'

Het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) voorziet de Nederlandse regering van onafhankelijke evaluaties en verkenningen over de kwaliteit van de fysieke leefomgeving en de invloed daarvan op mens, plant en dier. Het MNP vormt hiermee de brug tussen wetenschap en beleid.

Milieu- en Natuurplanbureau

Postbus 303

3720 AH Bilthoven

T: 030 274 274 5

F: 030 274 4479

E: [info@mnp.nl](mailto:info@mnp.nl)

[www.mnp.nl](http://www.mnp.nl)

---

# Abstract

## Solar energy in the living environment

### Evaluating transitions based on system options

One of the options for supplying energy in the built environment is solar energy. Photovoltaic solar energy and solar thermal heating in combination with new concepts for living will indeed not contribute much to the government targets for the year 2020 for energy savings, renewable energy and reduction of greenhouse gases. However, they form potential energy options for homes, which in the long term can even lead to a situation without electricity or gas connections. Of course, solar heating and solar power systems are not a recent innovations, having been on the market for many years. However, very few systems were installed in the Netherlands after 2003 when subsidies for consumers of solar energy were abolished. In spite of the quiet market, solarhouses and innovative passive building practices are, in principle, ready for use in the Netherlands. More efforts to implement the new developments into the not very innovative Dutch building practice at the moment are essential for further progress of this transition process, while realizing the necessary improvement in the cost-effectiveness.

These conclusions are taken from a report constituting part of a series of evaluations on transition management of Dutch governmental policy, with a focus on the long-term system innovation relevant for persistent environmental problems.

#### Keywords:

Solar energy; photovoltaic solar energy; PV; solar heating; passive housing.



# Inhoud

Samenvatting 9

1 Inleiding 13

- 1.1 Evaluatie van transitiebeleid 13
- 1.2 De systeemoptie zonne-energie in woningen 14
- 1.3 Werkwijze en leeswijzer 14

2 Beschrijving van de systeemoptie 17

- 2.1 Korte schets van het basisidee 17
- 2.2 Veranderingen in de productiestructuur 18
- 2.3 Aanpassingen in de consumptie 20
- 2.4 Institutionele vernieuwingen 21
- 2.5 Ruimtelijke aspecten 22
- 2.6 Belangrijke spelers 22

3 Beoordeling van de potentiële effecten van zonne-energie 25

- 3.1 Potentiële bijdrage aan energiebesparing 25
- 3.2 Potentiële bijdrage aan emissiereducties 27
- 3.3 Potentieel effect op de voorzieningszekerheid, leveringszekerheid en investeringen in elektriciteitsopwekking 28
- 3.4 Potentieel effect op werkgelegenheid 28

4 Resultaten van de activiteiten in de voorontwikkelingsfase 31

- 4.1 Ontwikkeling van probleemperceptie / sense of urgency 31
- 4.2 Toekomstvisie / sense of opportunity 31
- 4.3 Research & Development 36
- 4.4 Experimenten in de praktijk 39
- 4.5 Leercurven 41
- 4.6 Samenhang tussen de activiteiten 44

5 Motivatie voor systeemverandering 47

- 5.1 Stappen op weg naar inrichting van de systeemoptie 47
- 5.2 Motivatie voor toepassing van zonnestroom 49
- 5.3 Motivatie voor toepassing van zonnecollectoren in woningen 55
- 5.4 Motivatie voor de bouw van en renovatie van huizen met woonconcepten met zonne-energie 59

6 Conclusies 63

Referenties 67

Bijlage – Interviewronde 69



## Samenvatting

Met het Nationaal Milieubeleidsplan 4 hebben transitieprocessen in het milieubeleid meer aandacht gekregen. Het gaat bij transitieprocessen om ingrijpende en onderling samenhangende veranderingen op de lange termijn in een of meerdere domeinen in de samenleving met onder andere grote milieuwinst als doel. Het Milieu- en Natuurplanbureau evalueert de voortgang van de transitieprocessen en de rol van het Nederlandse beleid daarin. Dit rapport gaat in op een van de opties voor het toekomstige energiesysteem in de gebouwde omgeving: zonne-energie. Meer specifiek gaat het in op de productie van zonnestroom en zonnewarmte op woningniveau en op woonconcepten die gebruik maken van zonne-energie.

### Betekenis van zonne-energie voor de lange termijn

- Zonne-energie en nieuwe woningconcepten zullen in beperkte mate bij kunnen bijdragen aan de nieuwe, middellange termijn doelen van de overheid voor 2020 (2% energiebesparing per jaar, 20% duurzame energie en 30% CO<sub>2</sub>-reductie) maar hebben voor de lange termijn een groot potentieel.
- De jaarlijkse productie van zonnestroom in de gebouwde omgeving zou bij volledige benutting van het dakoppervlak en realisatie van de mogelijk geachte verbeteringen in het rendement op de lange termijn een niveau van 68-108 TWh elektriciteit kunnen hebben. Dit is vergelijkbaar met 60-95% van het huidige elektriciteitsgebruik in Nederland. Het is een technisch potentieel; of er geen andere barrières bestaan om dit potentieel volledig te benutten en op welke termijn dit zou kunnen worden gerealiseerd is hier buiten beschouwing gelaten.
- Het technische potentieel voor zonnewarmte in de woningbouw wordt voor de lange termijn ingeschat op 65 PJ/jaar. Dit is circa 20% van het huidige aardgasgebruik in huishoudens. Daarbij moet worden bedacht dat de vraag van huishoudens naar elektriciteit toeneemt en naar ruimteverwarming afneemt. Dat laatste heeft ook te maken met de verbeterde isolatie. Zo kan met het concept van passiefbouw (een geavanceerd isolatieconcept) een theoretische energiebesparing voor ruimteverwarming tot 80% worden bereikt ten opzichte van een gemiddelde nieuwbouwwoning van de laatste jaren.
- Van belang is de vertaalslag van deze energiecijfers naar de potentiële vermindering van CO<sub>2</sub>-emissies. Deze is echter lastig te maken, omdat de referentiesituatie onduidelijk is. Afgezet tegen het gemiddelde van de huidige elektriciteitsproductie in Nederland kan 47-75 Mton CO<sub>2</sub>-emissie worden vermeden. Wanneer in de toekomst het aandeel van schoon fossiel (elektriciteitsopwekking met CO<sub>2</sub>-opslag) en duurzame elektriciteitsopwekking groter is dan zijn de vermeden emissies lager. Met zonnewarmte zou ten opzichte van de huidige gasgestookte ketels zo'n 6 Mton CO<sub>2</sub>-emissie kunnen worden bespaard. De combinatie van passiefbouw en zonne-energie, aangevuld met andere vormen van duurzame energie, kan leiden tot energieneutrale bouw.

### Beoordeling van het proces en de rol van het Nederlands beleid

- Sinds 2000 heeft zonne-energie geen prominente plaats in het Nederlandse beleid. Specifieke doelen voor zonne-energie ontbreken, evenals een breed onderschreven visie voor de lange termijn over zonne-energie en subsidiemogelijkheden voor zonne-energie werden beperkt of zelfs na 2003 door de nationale overheid stopgezet. Er werd duidelijk gekozen voor andere opties die op de korte en middellange termijn kosteneffectiever kunnen bijdragen aan de realisatie van de Kyoto-doelen.
- Systemen voor de opwekking van zonnestroom worden door veel partijen op de markt gebracht. Er heeft echter nog geen take-off plaatsgevonden in de Nederlandse markt. Een

belangrijke hindernis zijn de hoge aanschaffkosten van zonnestroomsystemen voor de consument. Zonder een marktintroductiesubsidie blijkt er nauwelijks vermogen te worden bijgeplaatst. Het totale vermogen is sinds 2003 met nog geen 15% toegenomen. Een marktintroductiesysteem met een voor langere tijd gegarandeerde terugleververgoeding voor aan het net geleverde elektriciteit heeft in andere landen zoals Duitsland tot een grotere toepassing in de praktijk geleid.

- De Nederlandse inbreng in de mondiale ontwikkeling van Research and Development is relatief groot geweest, al is het aandeel voor zonne-energie in het totale onderzoeksbudget voor duurzame energie in Nederland afgenomen.
- De leercurve voor zonnestroom heeft de laatste decennia een voortgaande verbetering van de prijs-prestatieverhouding laten zien met een 'progress ratio PR' (factor voor de kostenverhouding bij verdubbeling van de cumulatieve productie) van rond de 0,87. Dit geldt voor de panelen. Als deze wordt doorgetrokken voor het gehele systeem en de productieomvang blijft eveneens flink groeien, dan is het waarschijnlijk dat rond 2020 het niveau van de consumentenprijs voor elektriciteit wordt bereikt. In het werkprogramma Schoon en Zuinig schetst het kabinet een nog iets optimistischer beeld (over tien jaar). Dat vraagt meer toepassing in de praktijk en marktpartijen pleiten voor overheidsondersteuning om hen daarbij meer kansen te bieden. De aangekondigde beleidsimpulsen bieden echter nog onzekerheden over de Nederlandse bijdrage aan dit leerproces. Het leerproces speelt zich af in een internationale context, maar voor de combinatie met alle randapparatuur en overige onderdelen zijn leerervaringen in Nederland essentieel om ook hier tot dezelfde kostenreductie te kunnen komen.
- Systemen voor de opwekking van zonnewarmte worden door verschillende partijen in een commerciële versie op de Nederlandse markt gebracht. Het totale geplaatste vermogen neemt echter ook hier slechts beperkt toe en van een take-off is geen sprake.
- De techniek waarbij de opwekking van zonnestroom en zonnewarmte in een systeem wordt gecombineerd (PVT) bevindt zich in de fase waarin experimenten worden ingezet, commerciële introductie laat nog op zich wachten.
- Ook bij zonnewarmtesystemen liggen de inspanningen vooral in het kosteneffectiever maken van het systeem. Door het ontbreken van een Nederlandse markt na het afschaffen van de marktintroductiesubsidie is er de laatste jaren weinig onderzoek en ontwikkeling ingezet en is de opgebouwde kennis en motivatie van installateurs rond zonnewarmte ingezakt. De ontwikkeling van warmteopslagsystemen en systemen voor de inzet van zonnewarmte voor koeling zouden voor een tweede generatie zonnewarmtesystemen voor een grote kostenverlaging zorgen.
- De sterk op technologie en minder op systeemintegratie gerichte ontwikkeling heeft er ook mede toe geleid dat onderzoek naar warmteopslag bij woningen (anders dan onder de grond) pas kort geleden van de grond is gekomen. Het kan een belangrijk onderdeel zijn voor kostenreductie bij zonnecollectoren, mede door huizen daarmee onafhankelijk te maken van gasinfrastructuur.
- In de periode 2000-2006 zijn in Nederland verschillende concepten uitgewerkt voor woningen die gebruik maken van zonne-energie. De zonnewoning en passiefwoning springen daarvan het meest in het oog. Bij passiefbouw is verregaande isolatie het kernelement. Deze woningconcepten zijn in principe gereed om in de praktijk te worden toegepast maar dat gebeurt slechts op beperkte schaal. In de ons omringende landen, met name in Duitsland en Oostenrijk, zijn op grond van het passief bouwen concept al wel veel projecten gerealiseerd maar in Nederland is passief bouwen nog niet doorgedrongen in de alledaagse praktijk.
- De grootste knelpunten voor het introduceren van nieuwe woonconcepten lijken momenteel bij de 'koudwatervrees' van de bouwwereld en consumenten te liggen. Over het algemeen is er nog te weinig kennis over duurzaam bouwen in de gehele bouwketen. Esthetiek en bouw-



traditie lijken het voornamelijk te winnen van energiebesparing, ook bij stedenbouwkundigen, architecten, projectontwikkelaars en gemeenten. Om de koudwatervrees te overwinnen is kennisontwikkeling bij al deze partijen van groot belang.

- Omdat bouwkundige maatregelen op basis van de rekenmethodiek van de Energieprestatiecoëfficiënt (EPC) tot nu toe minder rendabel zijn bij het halen van een betere EPC-waarde dan verbeterde installaties, zijn ze ondanks hun veel langere levensduur en beperkte onderhoudsgevoeligheid niet gestimuleerd met de Nederlandse regelgeving. Het in het werkprogramma Schoon en Zuinig aangekondigde streven naar energieneutrale nieuwbouw kan een prikkel betekenen voor zowel passiefbouw als zonnwoningen.



# I Inleiding

## I.1 Evaluatie van transitiebeleid

In 2001 heeft het vierde Nationaal Milieubeleidsplan (NMP4) een beleidsimpuls gegeven aan het denken in termen van systeemverandering op de lange termijn om hardnekkige milieuproblemen de baas te kunnen. Het heeft ook diverse beleidsacties in gang gezet, die invulling hebben gegeven aan het begrip transitie management in de context van duurzame ontwikkeling. Inmiddels is een interdepartementale directie voor de energietransitie in het leven geroepen, waardoor beleid dat voorwaarden scheppend dan wel interfererend werkt voor het transitieproces over de departementen heen beter kan worden aangestuurd. In overleg met alle betrokken ministeries heeft het Milieu- en Natuurplanbureau in 2006 een eerste evaluatie uitgebracht van de voortgang van het transitieproces en de rol van het beleid daarin op basis van een analyse van zes systeemopties. In dit rapport wordt de analyse van een zevende systeemoptie gepresenteerd.

Het werken aan een beter systeem op de lange termijn heeft met het NMP4 weliswaar extra aandacht gekregen, maar het is er niet mee begonnen. Er liepen al tal van onderzoeksprogramma's en experimenten, er waren vele ideeën over nieuwe institutionele vormgeving en er was al veel beleid dat daar direct of indirect invloed op had. Het heeft geen zin de ontwikkelingen van de laatste jaren te beschouwen zonder deze context. Bovendien zijn er tal van relevante internationale ontwikkelingen. Uitgangspunt voor de evaluaties was dan ook de voortgang van de processen in de praktijk. Daarbij is aangegeven welke prikkels er vanuit het Nederlandse beleid zijn gegeven en hoe effectief die zijn geweest.

In de voorontwikkelingsfase zijn transities doelzoekende processen. Zonder duidelijke doelen is het lastig evalueren, tenzij de evaluator een participerende en faciliterende rol neemt in een leerproces. Deze rol past niet bij het MNP als onafhankelijk planbureau. Er is gezocht naar een aanpak waarbij de evaluatie kan worden toegespitst op concrete onderdelen van het transitieproces. Dat heeft geleid tot de keuze om systeemopties als uitgangspunt voor de evaluatie te nemen. Een systeemoptie schetst een deel van het toekomstige systeem, zoals dat zou kunnen worden. Het vormt een potentieel doel. De evaluatie richt zich op het proces om deze systeemoptie te realiseren en dus op de voorwaarden die moeten worden vervuld om de potenties van de systeemoptie te verzilveren. Bij de formulering van de eindconclusies dient te worden bedacht dat in het brede transitieproces ook mogelijke, soms aanvullende, soms concurrerende alternatieven worden ontwikkeld.

Hoewel het proces en de rol van het beleid daarin centraal staan, wordt ook een eerste beoordeling van de mogelijke effecten bij realisatie van de systeemoptie gegeven, ook al omdat deze mogelijke effecten van invloed zijn op de houding van diverse actoren ten opzichte van de systeemoptie en daarom niet los kunnen worden gezien van het proces. Bovendien legt dit de basis voor de vergelijking van het potentieel van verschillende systeemopties.

Zoals aangegeven is in 2006 een reeks van een zestal systeemopties geanalyseerd en zijn daarover zes rapporten en een samenvattend evaluatierapport gepubliceerd:

- Vloeibare biobrandstoffen (Ros en Montfoort, 2006);
- Groene diensten in de landbouw (Reudink et al., 2006);
- Groene grondstoffen (Van den Born en Ros, 2006);
- Visvoer voor viskweek (Rood et al., 2006);

- Brandstofcelauto op waterstof verkregen uit zonthermische krachtcentrales (Nagelhout en Ros, 2006);
- Micro warmtekracht en de virtuele centrale (Elzenga et al., 2006);
- Transitieprocessen en de rol van het beleid in samenhang bekeken (Ros et al. 2006b).

In de tweede fase wordt in dit project gefocust op de gebouwde omgeving. In de eerste systeemoptie die hierbij geanalyseerd wordt staat de toepassing van zonne-energie in woningen centraal.

## 1.2 De systeemoptie zonne-energie in woningen

In dit rapport worden de activiteiten rondom de systeemoptie ‘zonne-energie in woningen’ beschreven en het beleid rondom deze systeemoptie beoordeeld. Zonne-energie in de brede definitie omvat zowel passieve als actieve benutting van zonnestraling. Passief, door oriëntatie en inrichting van gebouwen op de zon. Actief door toepassing van zonnepanelen, die zonlicht omzetten in elektriciteit en zonnecollectoren, die zonlicht omzetten in warmte. Daarbij zijn enkele woningconcepten meegenomen, zoals zonnewoningen en passiefhuizen. De gegevens in dit rapport zijn gebaseerd op literatuuronderzoek en interviews met actoren die bezig zijn met zonne-energie vanuit de functies onderzoek en ontwikkeling, van een verkooporganisatie en een intermediaire/ondersteunende organisatie.

## 1.3 Werkwijze en leeswijzer

Er is gebruik gemaakt van de door het MNP opgestelde evaluatiemethodiek voor transitieprocessen en de daarin aangegeven bouwstenen (Ros et al., 2006a).

In de eerste plaats is een beschrijving en vooral de afbakening van de beschouwde systeemoptie van belang. Dit gebeurt in *hoofdstuk 2*. Het gaat om een samenhangend geheel van technieken, processen, instituties en structuren. De mogelijke effecten van de systeemoptie bepalen mede de houding van diverse actoren. Daarom wordt in *hoofdstuk 3* ingegaan op de effecten, met speciale aandacht voor de effecten op energiebesparing, CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies.

Milieubeleidsevaluaties worden veelal gebaseerd op de monitoring van emissies, milieukwaliteit en zo mogelijk van effecten op natuur en volksgezondheid. In het geval van de lopende transitieprocessen is dit niet zo zinvol. De beoogde veranderingen in deze grootheden worden pas op de lange termijn bereikt. Beleid dient zich eerst te richten op de voorontwikkeling van dat verandingsproces. Daarin zijn vier typen activiteiten verondersteld:

- het ontwikkelen van een gevoel van urgentie op basis van een probleemperceptie;
- het ontwikkelen van een gezamenlijke toekomstvisie;
- onderzoek naar en ontwikkeling van nieuwe technologie en nieuwe instituties;
- experimenten in de praktijk met onderdelen van het nieuwe systeem of het inrichten van niches.

In *hoofdstuk 4* worden de feitelijke ontwikkelingen in de voorontwikkelingsfase van de transitie van de afgelopen jaren op een rij gezet. Nagegaan wordt wat er op die punten de afgelopen jaren is gebeurd en welke beleidsacties daarop gericht zijn geweest. Speciale aandacht wordt gericht op de leercurven. In dit hoofdstuk wordt ook ingegaan op de samenhang tussen deze

ontwikkelingen. Hierbij wordt vooral beschouwd in hoeverre de cyclus van visievorming → Research&Development → experimenten, die gericht is op de lange termijn, spoort met de cyclus van actiegerichtheid → creëren van markten en niches, die gericht is op de korte termijn.

In *hoofdstuk 5* wordt nagegaan in hoeverre de activiteiten in de voorontwikkelingsfase en het gevoerde overheidsbeleid de motivatie vergroten en de benodigde randvoorwaarden invullen om tot daadwerkelijke systeemverandering over te gaan. Daartoe worden cruciale acties geïdentificeerd die zouden kunnen leiden tot de beslissing om te investeren in productiecapaciteit. In krachtenveldanalyses worden alle factoren samengebracht.

In *hoofdstuk 6* worden conclusies getrokken over de mogelijke effecten, de voortgang van het proces en de invloed van het Nederlandse beleid daarop.



## 2 Beschrijving van de systeemoptie

### 2.1 Korte schets van het basisidee

De systeemoptie gaat over de toepassing van zonne-energie op het niveau van individuele woningen. Zonne-energie in de brede definitie omvat zowel passieve als actieve benutting van zonnestraling. Passief, waarbij de zon zonder tussenkomst van installaties voorziet in een deel van de behoefte aan warmte en licht. Actief door het gebruik van installaties die zonnestroom en zonnewarmte kunnen opwekken. Daarbij worden enkele woningconcepten zoals zonnewoningen en passiefhuizen belicht in relatie tot zonne-energie. Bovendien wordt de betekenis ervan voor de aansluiting op de energie-infrastructuur meegenomen.

Passieve zonne-energie gaat uit van een zongericht bouwkundig ontwerp, dat zodanig is ontworpen dat zonlicht en zonnewarmte optimaal worden ingevangen, opgeslagen en gedistribueerd. De oriëntatie van gebouwen vormt de basis voor toepassing van passieve zonne-energie. De meeste mogelijkheden zijn er bij huizen met een voor- of achtergevel op het zuiden.

Opwekking van zonnestroom wordt ook wel pv of Photo-Voltaïsche elektriciteitsopwekking genoemd. De term ‘photo’ duidt op licht, ‘voltaïsch’ op elektriciteit: in een pv-systeem wordt dan ook zonlicht omgezet in elektrische stroom. De elektriciteit, die niet direct kan worden gebruikt, kan worden opgeslagen. Mogelijkheden zijn: opslag in accu’s of batterijen (ook plug-in auto’s) of het terugleveren van stroom aan het elektriciteitsnet (virtuele opslag). Deze ontwikkelingen worden in dit rapport niet verder beschouwd (zie voor de koppeling aan het elektriciteitsnet de rapportage over micro-warmtekracht, Elzenga et al., 2006). Zonnestroom-systemen kunnen op vele manieren in de gebouwde omgeving worden toegepast. In deze systeemoptie beschouwen we de toepassing op daken en muren van woningen.

Systemen voor de opwekking van zonnewarmte bestaan op dit moment vaak uit een dakpaneel en een goed geïsoleerd voorraadvat, ook wel boiler genoemd. Het dakpaneel wordt ook wel zonne-collector genoemd en bestaat uit dunne leidingen achter een glasplaat, waarin water circuleert. Door de warmte van de zon wordt het koude water in het systeem opgewarmd. Na eventuele bijverwarming is het geschikt voor direct gebruik als warm tapwater. Het kan ook naar een warmtewisselaar worden geleid, waar het de warmte afgeeft aan water van bijvoorbeeld de centrale verwarming. Met verbeterde systemen van warmteopslag kan vraag en aanbod zelfs over de seizoenen heen beter op elkaar worden afgestemd. Ontwikkeling van (dakvullende) zonnewarmtesystemen in combinatie met compacte warmteopslag en zonaangedreven koelsystemen maken het mogelijk om voor een groot deel in de warmte- en koudevraag van woningen te voorzien.

Een installatie die de opwekking van zonnestroom en zonnewarmte combineert is ook mogelijk. Deze zogenaamde pv-Thermische systemen (PVT-systemen) zijn gebaseerd op zonnepanelen waarbij ook de vrijkomende warmte van het zonlicht gebruikt wordt.

Zowel passieve als actieve zonne-energie kan deel uitmaken van meer duurzame nieuwe woonconcepten. In deze systeemoptie wordt gefocust op de zonnewoning en de passiefwoning, twee concepten die in de beschouwde periode in beeld kwamen. De zonnewoning kent één of enkele elementen van zonne-energie. Passiefwoningen hebben vooral een veel lagere warmtevraag voor ruimteverwarming door verregaande isolatie. In combinatie met zonne-energie en warmteopslag wordt voor passiefwoningen loskoppeling van het aardgasnet mogelijk.

## 2.2 Veranderingen in de productiestructuur

### Grondstoffen

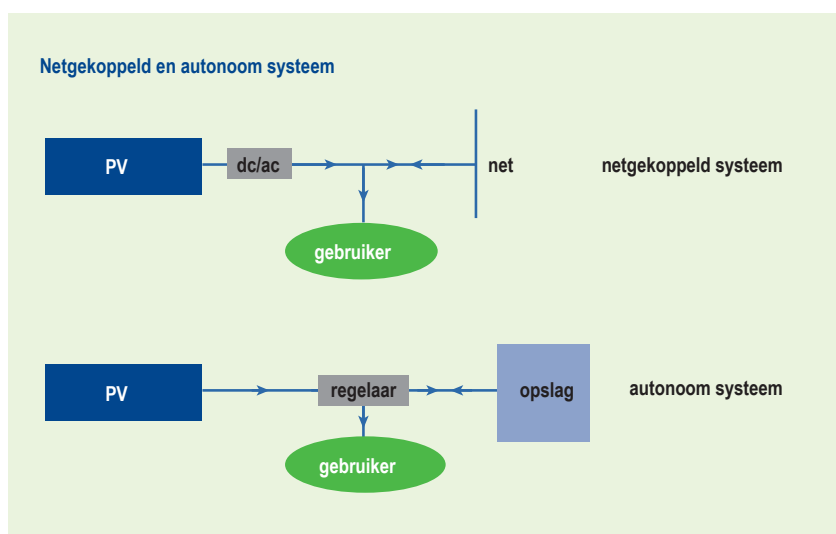
De productieketen begint met de grondstofwinning. In het geval van grootschalige toepassing zijn voor de zonnepanelen en de zonnecollectoren materialen en chemische elementen nodig, die een aanzienlijke uitbreiding van de huidige productie noodzakelijk maken. De bekende voorraden, waaruit voor de huidige productie wordt geput, zullen niet in alle gevallen volstaan. Bij schaarste zullen alternatieven worden gezocht, hetgeen al speelt bij de keuze voor indium in zonnecellen of voor koperen platen in zonnecollectoren.

De grondstof voor de zonnepanelen die wereldwijd momenteel het grootste marktaandeel heeft (meer dan 90%) is silicium, dat overvloedig op aarde aanwezig is in wit zand (kwartzsand) en kwartssteen. Voor de zonnestroomindustrie werd oorspronkelijk het restmateriaal van de halfgeleiderindustrie hergebruikt. Het werd opnieuw gesmolten en gekristalliseerd, en dan in dunne schijfjes van ongeveer 0,2 mm gezaagd. Op die manier kon het opnieuw gebruikt worden voor de aanmaak van kristallijn-siliciumzonnecellen. De zonnestroomindustrie gebruikt inmiddels meer silicium dan de halfgeleiderindustrie. Omdat er een tekort is ontstaan aan productiecapaciteit voor silicium, wordt er gewerkt aan speciaal voor zonnecellen geproduceerd 'solar grade' silicium.

### Zonnestroom

Zonnestroom wordt opgewekt doordat de op een zonnecel vallende energie uit licht direct wordt omgezet in elektriciteit, zonder tussenkomst van thermische of mechanische processen. In de huidige zonnestroomsystemen worden meestal tussen de 30 en 100 zonnecellen in serie geschakeld. Dat levert in de meeste gevallen een spanning tussen de 10 en 100 volt. Bij lichtdoorlatende panelen is ruimte tussen de cellen opengelaten. Zo'n paneel levert per vierkante meter wel minder stroom dan een 'gewoon' zonnepaneel, waarin de cellen zo dicht mogelijk tegen elkaar geplaatst zijn.

Als de module aan het net wordt gekoppeld, dan is er een inverter of omvormer nodig die de gelijkstroom uit de modules omzet in wisselstroom. Bij autonome systemen hoeft de stroom niet omgezet te worden naar wisselstroom maar is er voor de opslag van de stroom wel een accu en laadstroomregelaar nodig. Voor levering van stroom aan het net zal ook de bemetering hiervoor geschikt moeten zijn.



Figuur 2.1 Schema netgekoppeld en autonoom systeem (Wyers, 2007).



De teveel geproduceerde zonnestroom kan ook opgeslagen worden in accu's, eventueel in combinatie met het gebruik van een plug-in hybride.

Er zijn verschillende basisconcepten voor de pv-technologie. Welke het daarvan op de lange termijn voor welke toepassing zal winnen, is uiteraard nog onzeker. De volgende technologische concepten zijn in beeld.

Multikristallijn siliciumzonnecellen met hun 15% rendement zullen naar verwachting tot ongeveer 2010 steeds verder geoptimaliseerd worden. Deze verwerkingsmethode van silicium, blijft echter duur. Daarom zullen waarschijnlijk, ondanks de lagere rendementen, dunne-filmtechnieken tot ongeveer 2020 meer het beeld gaan bepalen. Dat geldt zowel voor dunne-filmsiliciumtechnieken als andere dunne films. De ontwikkeling van Koper Indium Selenide (of Sulfide – beide CIS) als foto-actieve laag in zonnecellen houdt een grote belofte in. CIS lijkt op termijn de goedkope productiewijze van amorf silicium met het rendement van het multikristallijne materiaal te kunnen combineren maar kan misschien wel te maken krijgen met een beperkte beschikbaarheid van het metaal indium, wat ook gebruikt wordt in de wereldwijde fabricage van LCD-schermen. Cadmiumtelluride (CdTe) zonnecellen hebben de laagste kosten maar vragen vanwege de toxiciteit van het metaal cadmium wel een gesloten kringloop (zie hoofdstuk 3). Organische en polymere cellen zijn nu alleen nog in het onderzoekslaboratorium te vinden maar houden een grote belofte in.

Door het aanbrengen van verschillende lagen cellen over elkaar heen kan het rendement van zonnecellen worden verhoogd, het overgebleven licht wordt dan door onderliggende cellen gebruikt. Bij twee lagen spreken we van een tandem, bij drie lagen van een drievoudige tandem (triple junction). Ook het belichten van zonnecellen met geconcentreerd zonlicht door een lens of spiegels verbeterd het theoretische rendement. De combinatie met het gebruik van een drievoudige tandem en het concentreren van zonlicht zou een theoretisch maximaal rendement van ongeveer 50% opleveren.

Naar schatting kan 10-30% van het totaal opgesteld elektriciteitsproductievermogen als piekvermogen worden ingevoerd zonder bijzondere maatregelen te hoeven treffen aan de elektriciteitsinfrastructuur. Bij het huidige elektriciteitsproductievermogen zou de ondergrens van dit niveau bereikt worden bij ongeveer 2 GWp aan opgesteld zonnestroomvermogen. Daarboven is een verdere groei van zonnestroom slechts dan mogelijk, wanneer maatregelen worden getroffen als grootschalige opslag van elektriciteit en het op elkaar afstemmen van vraag en aanbod van elektriciteit door inpassing in virtuele centrales. Virtuele centrales zijn ook voor andere duurzame energie opties van belang, bijvoorbeeld voor windenergie en micro-warmtekracht (Elzenga et al., 2006). Het voordeel van een zonnestroomsysteem boven bijvoorbeeld windenergie, is dat de eerste iets beter voorspelbaar is in zijn opbrengst.

### Zonnewarmte

Een standaardzonneboiler bestaat uit een collector en een los voorraadvat. Als naverwarmer wordt meestal een combiketel toegepast. Een compacte zonneboiler is een zonneboiler waarbij het leidingwater direct in een goed geïsoleerde collector wordt verwarmd. De collector en het voorraadvat zijn geïntegreerd, waardoor er dus geen apart vat nodig is. Omdat de watervoorraad in de collector zit, is deze dikker en zwaarder dan de collector van een standaardzonneboiler. Dit is echter voor de gangbare daken geen probleem.

Varianten op een zonneboiler zijn bijvoorbeeld een cv-zonneboiler of een zonneboilercombi. Een cv-zonneboiler is een zonneboiler met een extra warmtewisselaar in het voorraadvat. De extra warmtewisselaar is aangesloten op de cv-ketel en houdt het bovenste gedeelte van het

boilervat op minimaal 60° C. Een zonneboilercombi is een zonneboiler die warmte levert voor warm tapwater en ruimteverwarming. Naverwarming gebeurt door een in de zonneboiler geïntegreerde cv-brander. Vanwege de relatief lage temperaturen in het boilervat is een zonneboilercombi geschikt voor lage temperatuurverwarming.

De meeste zonneboilers die in Nederland verkocht worden, gebruiken het teruglooppincipe. Dit betekent dat er alleen water in de collector zit als er genoeg zon is en het collectorvat nog warmte op kan nemen. Er hoeft daarom geen vorstbeschermingsmiddel aan het water te worden toegevoegd en er is ook geen beveiliging tegen oververhitting nodig. Het water moet wel vrij kunnen teruglopen in het voorraadvat als de pomp stopt en daarvoor is het noodzakelijk dat vanaf de collector de leidingen in een continue helling naar beneden lopen. In de grote markten in Noord-Europa, zoals Duitsland en Oostenrijk, staat het voorraadvat meestal in de kelder en is de meest toegepaste zonneboiler daarom een systeem met vorstbeschermingsmiddel. De markt in Nederland wijkt hierin af van de rest van Noord-Europa.

Voor de toekomstige mogelijkheden van zonnewarmte is een betere afstemming van vraag en aanbod over de tijd, zelfs over de seizoenen cruciaal. Daartoe worden nieuwe warmteopslag-systemen ontwikkeld met fase-overgang of chemische vastlegging als basis. Ontwikkeling van (dakvullende) zonnewarmtesystemen in combinatie met compacte warmteopslag en zonaangedreven koelsystemen moeten het mogelijk maken om op de lange termijn voor een groot deel de warmte- (en koude) behoefte voor tapwater en ruimtes van woningen te dekken.

Een PVT-paneel is een combinatie van een zon-thermische absorber met fotovoltaïsche cellen, ofwel één paneel dat zowel warmte als elektriciteit produceert. De rendementen van PVT-panelen zijn lager dan voor afzonderlijke zonnestroom en zonthermische systemen maar gerekend per m<sup>2</sup> oppervlak heeft PVT juist een hoger energierendement dan een combinatie van de separate systemen en is daarmee ruimtebesparend.

### Woonconcepten

Er zijn vele woonconcepten die gebruik maken van de energie van de zon. Twee concepten die in de periode na het uitkomen van het NMP4 in het oog springen zijn de zonnewoning en de passiefwoning. In de tekstbox hiernaast worden de belangrijkste kenmerken van deze twee woonconcepten beschreven.

## 2.3 Aanpassingen in de consumptie

Implementatie van zonne-energie levert voor de consument energiebesparing bij hetzelfde comfort. Toch zijn er wel enkele veranderingen voor de consument. Die spitsen zich vooral toe op de benodigde ruimte en gezondheidsaspecten. Toepassing van zonne-energie vraagt ruimte, niet alleen buitenshuis (meestal op het dak) maar ook in huis. Zonnewarmtesystemen stellen daarbij wat meer eisen aan plaats en ruimte dan de huidige cv-ketels, zeker in combinaties met een aanvullende brander en warmteopslagssystemen.

Binnen in huis heeft de zonnestroominstallatie een stukje muur nodig om de inverter te plaatsen en een stopcontact om de stroom aan het net te kunnen leveren. Ook de renovatie van een huis tot passiefhuis kost (leef)ruimte, onder andere door een dikker isolatiepakket.

Gezondheidsaspecten spelen vooral bij de angst voor een mogelijke legionellabesmetting bij zonneboilers en voor oververhitting van de woning. Ook de perceptie van een ongezond binnenklimaat bij woonconcepten met een goede isolatie en mechanische ventilatie met warmteterugwinning speelt een rol. Goed onderhoud van technische installaties en het correct toepassen van ventilatiemogelijkheden en zonwering zullen daarom voor consumenten belangrijk zijn.

## 2.4 Institutionele vernieuwingen

Huishoudens zijn bij toepassing van actieve zonne-energie niet alleen energieconsument maar ook energieproducent. Voor zonnestroom geldt dat ze toestemming en een redelijke prijs moeten krijgen om de geproduceerde elektriciteit op het net te zetten. In het geval dat hun apparatuur centraal aangestuurd gaat worden met een virtuele centrale zullen consumenten de nieuwe afhankelijkheid, het niet meer zelf beslissen over hun energievoorziening, moeten accepteren. Elektriciteitsbedrijven krijgen er taken bij zoals de inpassing van decentraal vermogen in het elektriciteitsnet en de virtuele afstemming van vraag en aanbod van elektriciteit.

De Nederlandse bouwtraditie zal moeten veranderen, de bouwsector zal daarvoor een grote omslag moeten ondergaan. Andere manieren van bouwen moeten worden aangeleerd en een regelmatige (bij)scholing van specialisten in de bouwketen (van architect tot installateur) is daarbij noodzakelijk. Stedenbouwkundigen en consumenten zullen hun weerstand tegen een nieuwe manier van verkaveling opzij moeten zetten.

Al bij het ontwerp van woningen dient rekening te worden gehouden met de energiehuishouding van de woning naast de meer traditionele aspecten als esthetiek en bouwtraditie. Dit vereist een aanpassing in de gehele ontwikkelingsketen. Stedenbouwkundigen zullen zongericht moeten verkavelen. Architecten moeten zonnepanelen en zonnecollectoren voor dak en muurtoepassing

### Woonconcepten

Een **Zonnewoning** voldoet aan kwaliteitseisen die werkbaar en toetsbaar zijn gemaakt. De basis voor het keurmerk Zonnewoning is het volgende programma van eisen:

- De woning is goed geïsoleerd en de energieprestatiecoëfficiënt is maximaal gelijk aan 0,68.
- Toepassing van minimaal twee van de vier volgende vormen van duurzame energie: zonneboiler, netgekoppeld PV, passieve zonne-energie, warmtepomp.
- Toepassing van het Nationaal Dubo-pakket.
- Voldoende bouwkundige maatregelen om oververhitting in de zomerperiode te voorkomen.
- Optimaal gebruik van daglicht.
- Gebruik van FSC-gecertificeerd hout.
- Opstellen van een bewonersinstructie.

Het definitief ontwerp en het uitvoeringswerk worden getoetst, de uitgebreide beschrijvingen van het programma van eisen staat in de 'Nationale beoordelingsrichtlijn voor het komo-inspectiecertificaat Zonnewoning' (BRL Zonnewoning).

Bij **Passief Bouwen** is energiebesparing het uitgangspunt. De uitdaging is om zó te ontwerpen dat een woning of gebouw niet of nauwelijks toevoeging van extra energie in de vorm van gas of stroom nodig heeft.

Dit wordt bereikt door een combinatie van stedenbouwkundige, architectonische en bouwkundige maatregelen en ontwerpseisen. Oriëntatie op de zon (zuidzijde laat warmte binnen waarbij oververhitting in de zomer moet worden voorkomen, noordzijde isoleert) en inzet van duurzame energiebronnen als zonnestroom en/of warmte zijn daarbij gebruikte maatregelen. Speerpunt zijn de vergaande isolatie van ramen, muren, daken, vloeren en deuren, eliminatie van koudebruggen en een goede kierdichting en de aanvoer van gefilterde verse lucht door balansventilatie met warmteterugwinning.

De energievraag voor verwarming kan door deze maatregelen beperkt blijven tot maximaal 15 kWh/m<sup>2</sup> gebruiksoppervlak. De totale primaire energiebehoefte voor alle apparaten, warm tapwater, ruimteverwarming en -koeling blijft begrensd tot maximaal 120 kWh/m<sup>2</sup>. Een conventioneel verwarmingssysteem zoals radiatoren of vloerverwarming is door deze lage energievraag in principe overbodig.

gen meenemen in hun ontwerp. De bouwsector zal de inpassing in de constructie moeten implementeren. Dit vereist een andere en ook meer nauwkeurige manier van bouwen en installeren.

Ook bij de bestaande woningvoorraad zijn mogelijkheden voor zonnestroom en zonnewarmte. Hier spelen installatiebedrijven als directe aanspreekpunten voor consumenten een belangrijke rol.

## 2.5 Ruimtelijke aspecten

De ruimtelijke aspecten spelen een belangrijke rol bij het ontwerp van huizen die gebruik willen maken van zonne-energie. Oriëntatie op de zon is daarbij het belangrijkste, zowel voor actieve als passieve zonne-energie. Er zijn daarin echter vele vrijheidsgraden, een rigide noord-zuidoriëntatie is zeker niet noodzakelijk. Het potentieel voor actieve zonne-energie wordt niet alleen bepaald door het beschikbare dak- en geveloppervlak in Nederland. Zonnestroom en -warmtesystemen leveren alleen de beoogde bijdrage als deze op de zon worden gericht. Dit vereist plaatsing op een plat dak of een op voldoende gunstig georiënteerd (tussen zuid-west en zuidoost) hellend dak. Ook de hellingshoek speelt daarbij mee. Zo is het rendement van een zonneboiler maximaal als de zonnecollector op het zuiden onder een hoek van 42 graden is gericht. Toepassing bij een andere oriëntatie en hellingshoek is zeker mogelijk maar levert een (beperkt) opbrengstverlies op. Invallende schaduw geeft een sterk rendementsverlies. Het is dan ook zaak om schaduw veroorzakende beplanting of andere schaduw veroorzakende objecten te vermijden.

Bij de ontwikkeling van nieuwbouwwijken is het belangrijk dat er wordt uitgegaan van een zonvriendelijke verkaveling.

## 2.6 Belangrijke spelers

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste partijen die betrokken zijn bij implementatie van zonne-energie. Van elke partij wordt kort weergegeven op welke punten zij een bijdrage kunnen leveren aan het implementatieproces.

### Architecten

Architecten kunnen optimaal gebruik maken van energiebesparingsmogelijkheden bij het ontwerp van het huis, daarbij standaard gebruikmakend van nieuwe technieken en woonconcepten.

### Bouwbedrijven

Bouwbedrijven kunnen bijdragen aan een goede uitvoering van het ontwerp op papier en daarmee het behalen van de theoretische energiebesparing.

### Dakdekkers

Dakdekkers kunnen hun ervaring met het wind- en waterdicht maken van daken aanwenden bij de implementatie van actieve zonne-energiesystemen.

### Energiebedrijven

Energiebedrijven kunnen een rol spelen bij het aanbieden van informatie en mogelijkheden voor (vergaande) energiebesparing en huur of koop van zonnepanelen en zonneboilers. Zij spelen een

grote rol bij de inpassing van decentrale bronnen in het elektriciteitsnet, het matchen van vraag en aanbod van elektriciteit.

### **Installatiebureau's**

Installatiebureau's zijn het traditionele afzetkanaal voor energietechnieken naar de klant en kunnen daarmee bijdragen aan een goede consumentenvoorlichting voor zonne-energie. Bovendien kunnen ze bijdragen aan een goede uitvoering en onderhoud van technieken waardoor een optimaal rendement behaald wordt en blijft.

### **Gemeenten**

Gemeenten kunnen sturen op een goed stedenbouwkundig ontwerp met een gunstige verkaveling en optimale benutting van passieve zonne-energie en duurzame energietechnieken. Zij zijn de grootste klant van projectontwikkelaars en hebben daardoor grote invloed op de woningontwikkeling in Nederland. Met een verplichting van zonne-energie bij nieuwbouw kunnen zij grote invloed uitoefenen op de markt.

### **Projectontwikkelaars**

Veel grote projecten worden door projectontwikkelaars gebouwd. Zij hebben in Nederland een groot percentage van de nieuwbouw in handen. Ze kunnen daarmee ook een belangrijke bijdrage leveren aan het in de praktijk opdoen van ervaring met zonne-energie maar ook aan het verbeteren van de bekendheid met en acceptatie van zonne-energie bij consumenten.

### **Nederlandse onderzoekers van zonnewarmte**

TNO-bouw heeft een afdeling gehad met een goede reputatie op het gebied van thermische zonne-energie. Voor actieve systemen hebben ze veel werk gedaan aan de testmethoden. Dit heeft bijgedragen aan de Europese normen en een testcentrum opgeleverd (het Zonnehuis in Delft) waar veel zonneboilers zijn ontwikkeld en getest. De testactiviteiten zijn overgenomen door Gastec. Het onderzoek is vrijwel verdwenen bij TNO. Het passieve zonne-energie onderzoek is opgegaan in het algemene bouwonderzoek. Naast de onderzoeksinstellingen zijn de leveranciers actief met het ontwikkelen van nieuwe typen zonneboilers. Ontwikkelingen die innovatief zijn ten opzichte van de ontwikkelingen in andere landen zijn de zonnegascombi, het terugloopsysteem, de low-flow zonneboiler, diverse ICS-systemen en de compacte uitvoering van de zonneboiler.

### **Nederlandse onderzoekers van zonnestroom**

Nederland speelt in Europa een belangrijke rol in research rondom zonnestroom. In *tabel 2.1* worden de spelers per techniek benoemd.

### **Woningbouwcorporaties**

Woningbouwcorporaties kunnen grote aantallen zonnepanelen of zonneboilers plaatsen om daarmee ervaring in de praktijk op te doen en bovendien meewerken aan bekendheid met en acceptatie van zonne-energie door huurders.

### **Samenwerkingsverbanden**

Branchevereniging Holland Solar vertegenwoordigt de belangen van vrijwel alle spelers op het gebied van actieve zonne-energie.

**Tabel 2.1 Nederlandse onderzoekers van zonnestroom.** Schropp, 2006; Wyers, 2007.

Techniek	Kennis en research	Industriële research
Kristallijn Silicium	Universiteit Utrecht Technische Universiteit Delft Technische Universiteit Eindhoven Energieonderzoek Centrum Nederland FEST	Solland Solar, Sunergy
Dunne film Silicium	Universiteit Utrecht Technische Universiteit Delft Technische Universiteit Eindhoven Energieonderzoek Centrum Nederland	Helianthos/Nuon
Dunne film CIGS	Technische Universiteit Delft Energie Onderzoek Centrum Nederland TNO Industrie&Techniek	Scheuten Solar, AST, Shell
Organische basis	Technische Universiteit Eindhoven Rijks Universiteit Groningen Energieonderzoek Centrum Nederland Technische Universiteit Delft TNO Industrie&Techniek	Shell
Nieuwe concepten	FOM-Instituut AMOLF Technische Universiteit Delft Technische Universiteit Eindhoven Universiteit Utrecht Rijks Universiteit Groningen Rijks Universiteit Nijmegen	
PV systemen en milieuaspecten van PV	Universiteit Utrecht Energieonderzoek Centrum Nederland	

De onder het platform Duurzame elektriciteitsvoorziening hangende werkgroep pv bestaat uit de spelers op het gebied van zonnestroom en werkt mee aan het ontwikkelen van een toekomstvisie.

ECN en TNO hebben een samenwerkingsverband op het gebied van onderzoek voor de gebouwde omgeving getiteld: building future ([www.buildingfuture.org](http://www.buildingfuture.org))

De onder het platform Platform Energie in de Gebouwde Omgeving (PEGO) hangende groepen.

In de projectgroep Duurzame Energie Projectontwikkeling Woningbouw (DEPW) werken projectontwikkelaars, bouwers, woningcorporaties, gemeenten, energiebedrijven en SenterNovem samen om de implementatie van duurzame energie in de woningbouw verder in een stroomversnelling te brengen.

De Stichting PassiefHuis Holland (PHH) is een samenwerkingsverband van verschillende bedrijven uit de bouwwereld die een fundamentele bijdrage willen leveren aan het terugdringen van de energievraag in de gebouwde omgeving. Daarnaast is de stichting [passiefbouwen.nl](http://passiefbouwen.nl) actief om het passiefhuis te promoten.

Een consortium van Europese partners, gesteund door het Directoraat Generaal voor Energie en Transport van de Europese Commissie werkt aan de promotie van passiefhuizen in het Promotion of European Passive Houses (PEP) project.

## 3 Beoordeling van de potentiële effecten van zonne-energie

De effecten bij realisatie van de systeemoptie zonne-energie in woningen op de lange termijn en dus bij benutting van het potentieel zijn bijeengezet in *tabel 3.1*. Daarbij is de huidige situatie de referentie. De invulling wordt in de rest van het hoofdstuk toegelicht en – zo mogelijk – gekwantificeerd. Zelfs de kwalitatieve invulling laat nog ranges zien. Hiermee worden enerzijds de onzekerheden in beeld gebracht. Anderzijds weerspiegelt het ook de vrijheidsgraden voor de precieze invulling van de systeemoptie.

### 3.1 Potentiële bijdrage aan energiebesparing

De effecten van de systeemoptie op de lange termijn hangen uiteraard samen met de omvang, die deze systeeminnovatie zou kunnen krijgen. Die is afhankelijk van het beschikbare oppervlak en het omzettingsrendement. De potentiële omvang wordt gekwantificeerd in de vorm van de energieproductie, dan wel energiebesparing, die ermee kan worden bereikt.








#### Zonnestroom

In De Noord et al. (2004) wordt uitgegaan van een beschikbaar oppervlak van 400 km<sup>2</sup> in de gebouwde omgeving en van 200 km<sup>2</sup> voor specifieke zonnestroomcentrales op grote grondstukken verspreid over het land. Uitgaande van een vermogen van 200 tot 300 Wp/m<sup>2</sup> voor de lange termijn wordt het technisch potentieel in Nederland ingeschat van 80 tot 120 GWp voor pv in de gebouwde omgeving, en van 40 tot 60 GWp voor zonnestroomsystemen op land.

Bovenstaande potentiëlen zijn technische potentiëlen. Of er geen andere barrières bestaan om dit potentieel volledig te benutten en op welke termijn dit zou kunnen worden gerealiseerd wordt hierbij buiten beschouwing gelaten.

In een achtergronddocument van de Milieuverkenning 5 zijn in 2000 de schattingen van diverse studies verzameld door ECN en RIVM. Deze liggen in de range van 20 tot 120 GWp voor het gezamenlijke technisch potentieel in de gebouwde omgeving en op land (ECN/RIVM, 2000). Het verschil met de ramingen in De Noord et al. (2004) wordt voornamelijk bepaald door een lagere inschatting van het rendement per m<sup>2</sup>.

Tabel 3.1 Duurzaamheidstoets zonne-energie in woningen.

	Sociaal	Economisch	Ecologisch
In Nederland	Leveringszekerheid 	Werkgelegenheid 	Verzurende emissies 
	Koopkracht 	Gasvoorraad 	
		Investerings in elektriciteit 	
Elders	Leveringszekerheid 	Werkgelegenheid 	Broeikasgasemissies 
			Biodiversiteit 

■ slechter   
 ■ iets slechter   
 ■ neutraal   
 ■ iets beter   
 ■ beter



Op dit moment geldt een waarde van 850 tot 900 kWh/kWp/jaar als de specifieke opbrengst van een aan het net gekoppeld zonnestroomsysteem onder ideale hellingshoek en oriëntatie, geen beschaduwingsverliezen en de best beschikbare inverter. Er van uitgaand dat in potentie 80-120 GWp zonnestroomvermogen in Nederland kan worden gerealiseerd zou dat circa 68-108 TWh elektriciteit kunnen opleveren, wat vergelijkbaar is met 60-95% van het huidige elektriciteitsgebruik in Nederland.

De productie van zonnepanelen en alle andere onderdelen vraagt ook energie. Daarom zijn bovenstaande potentiëlen voor vermeden hoeveelheden energie voor zonnestroom een overschatting. Als alle energiegebruik van de gehele levensduur van de zonnepanelen, bijvoorbeeld tijdens de productie van de panelen, wordt meegenomen, dan blijkt dat nu nog rond de 10% van de opbrengst, maar op termijn verwaarloosbaar. Op basis van recent LCA-onderzoek (levenscyclusanalyse) blijkt de energierugverdiertijd voor Si-zonnepanelen te zijn afgenomen tot circa 1,7-3,5 jaar voor Midden Europese landen bij een verwachte levensduur van 30 jaar voor het systeem en 15 jaar voor de inverter (Alsema et al., 2006). Dunne film technieken zitten daarbij meer aan de ondergrens van deze waarden. Op de lange termijn wordt verwacht dat de energierugverdiertijd kan afnemen tot circa 0,5 jaar (Werkgroep PV, 2006).

### Zonnewarmte

Het technische potentieel voor zonnewarmte in Nederland wordt voor de lange termijn ingeschat op 81 PJ/jaar waarvan ongeveer 65 PJ/jaar voor de woningbouw. Thermische zonne-energie zou daarmee op de lange termijn in ongeveer de helft van de warmte en koude kunnen voorzien. (Holland Solar, 2007). De kanttekening, die hierbij moet worden gemaakt, is onduidelijkheid over de mate van overlap in de potentiëlen voor zonnestroom en zonnewarmte ofwel in hoeverre ze gebruik maken van dezelfde oppervlakken.

### Woonconcepten

Het gecertificeerde concept van zonnewoningen kan minimaal 15% energie besparen ten opzichte van een gewone nieuwbouwwoning die voldoet aan de EPC van 0,8 (Van de Bree, 2007). Passiefwoningen kunnen met een warmtevraag van 15 kWh/m<sup>2</sup> tot 80% energie voor ruimteverwarming besparen ten opzichte van een gewone nieuwbouwwoning (Passiefbouwen.nl, 2007).

De energievraag in de productieketen van de extra materialen, die nodig zijn voor passiefbouw, is hierin niet verwerkt.

Het maximum aantal passiefwoningen in een bepaald toekomstjaar is afhankelijk van de omvang van nieuwbouw en renovatie en van het jaar, waarin met de bouw van passiefwoningen wordt gestart. Ter illustratie kunnen enkele scenarioresultaten worden gebruikt (Janssen et al., 2006). In het scenario met de sterkste groei van de woningvoorraad zou in 2040 ruim 40% van de bijna 10 miljoen woningen nog nieuw worden gebouwd. In het scenario met de minste groei is dit bijna 15% van de ongeveer 7 miljoen woningen.

Daarnaast is er extra potentieel vanuit renovatie. Het resultaat is gemiddeld iets minder effectief dan voor nieuwbouw met een verwachte warmtevraag van 25-50 kWh/m<sup>2</sup> (websites SenterNovem en Stichting Passiefbouw). Het aantal renovaties, dat zo ingrijpend is dat realisatie van een passiefwoning mogelijk is, lijkt echter beperkt (grootteorde van 10.000 woningen per jaar).



## 3.2 Potentiële bijdrage aan emissiereducties

### Zonnestroom

Er van uitgaand dat in potentie 68-108 TWh elektriciteit zou kunnen worden geleverd, zou er bij vervanging van een gasgestookte STEG-centrale (met een emissiefactor van 337 kg CO<sub>2</sub>/MWh) jaarlijks circa 23-36 Mton CO<sub>2</sub> bespaard kunnen worden. Afgezet tegen het gemiddelde park (met een emissiefactor van 698 kg CO<sub>2</sub>/MWh) zou dat jaarlijks een reductie van circa 47-75 Mton CO<sub>2</sub> kunnen betekenen. De gebruikte emissiefactoren sluiten aan bij het Global Economy scenario dat in Van Dril en Elzenga (2005) en CPB/MNP/RPB (2006) is beschreven en uitgewerkt. Hierbij moet wel worden aangetekend dat er wordt uitgegaan van een referentiesituatie waarin geen CO<sub>2</sub>-opslag bij de centrales is gerealiseerd en het aandeel duurzame elektriciteitsopwekking beperkt is. Wanneer in de toekomst het aandeel van schoon fossiel (centrale elektriciteitsopwekking met CO<sub>2</sub>-opslag) en duurzame elektriciteitsopwekking groter is, dan zijn de vermeden emissies lager. In de transitie naar een nieuw energiesysteem is de afweging tussen centrale en decentrale elektriciteitsopwekking belangrijk.

Voor de NO<sub>x</sub>-emissiefactoren van de elektriciteitsopwekking wordt uitgegaan van de prestatienorm die voor alle deelnemers aan NO<sub>x</sub>-emissiehandel zal gelden. Voor het jaar 2010 is deze vastgesteld op 40 g per GJ ingezette brandstof. Een arbitraire maar waarschijnlijk conservatieve schatting voor 2030 is dat deze is aangescherpt tot 30 g/GJ. Uitgaande van deze waarde en een rendement van 58% elektriciteitsproductie voor een gasgestookte STEG-centrale zou zonnestroom een bijdrage kunnen leveren aan de reductie van verzurende emissies met circa 17-27 kton NO<sub>x</sub>. Afgezet tegen het gemiddelde Nederlandse park met een gemiddeld rendement van 44% zou dat jaarlijks een vermeden emissie tot circa 36 kton NO<sub>x</sub> kunnen betekenen.

De nieuwe dunne-laag technieken voor zonnestroom maken soms gebruik van cadmium. De milieueffecten van het gebruik van cadmium worden echter minimaal ingeschat, mits cadmium goed is ingekapseld (dubbel glas) en kan worden gerecycled (Alsema et al., 2006)

### Zonnewarmte

Met zonnewarmte zou volgens Holland Solar in potentie tot bijna 7 Mton aan CO<sub>2</sub>-emissie kunnen worden vermeden, enkele procenten van de totale jaarlijkse Nederlandse CO<sub>2</sub>-emissie (Holland Solar, 2007). Daarbij gaat men er voor de woningbouw van uit dat er uiteindelijk zo'n 10 m<sup>2</sup> zonnecollector per wooneenheid kan worden geplaatst. Bij 8,3 miljoen wooneenheden waarvan 60% geschikt is voor de plaatsing van zonnecollectoren wordt een potentie van 50 km<sup>2</sup> verkregen. Een vierkante meter collector vertegenwoordigt een opbrengst van 0,7 kWth per jaar. Omgerekend is dat 1,3 GJ en levert dat een besparing van 110 kg CO<sub>2</sub> per jaar. Daarmee kan het aandeel van zonnewarmte in de woningbouw op 5,5 Mton vermeden CO<sub>2</sub>-emissies per jaar worden ingeschat.

Onderzoek naar de materiaalgebonden milieubelasting van woningen met zonneboilers toont aan dat deze hoger is dan van woningen zonder zonneboilers, doordat er extra materiaal aan een woning wordt toegevoegd. De milieubelasting van zonneboilers is terug te voeren op de metalen koper, aluminium, staal, soldeer en messing voor frame, collector en boiler/vat. Door een optimale recycling (bijvoorbeeld als gevolg van een terugnamegarantie) en een andere allocatiemethodiek bij de LCA-analyse zou grofweg 50% milieuwinst kunnen worden behaald (Intron/DHV, 2002). Ook de levensduur van de zonneboiler is een belangrijke parameter voor de uitkomsten, levensduurverlenging leidt tot een betere score. Het milieuvoordeel van zonneboilers ligt dus vooral in de energiebesparing in de gebruiksfase.

**Tabel 3.2 Potenties zonnewarmte.** Holland Solar, 2007.

	PJ/jr	GW thermisch	Vermeden CO <sub>2</sub> (Mton)
Woningbouw	65	35	5,5
Utiliteit	11	6	0,9
Industriële sector	5	3	0,4
Totaal	81	43	7

Door de verwachte emissiereductie is er een positief klimaateffect. Omdat zonne-energie in de woning geen extra ruimtebeslag vraagt, omdat het is geïntegreerd in de gebouwde omgeving, kan daarmee ook een positief effect op biodiversiteit worden verwacht.

### 3.3 Potentieel effect op de voorzieningszekerheid, leveringszekerheid en investeringen in elektriciteitsopwekking

Binnenlandse elektriciteitsopwekking met behulp van zonnestroomsystemen leidt tot minder afhankelijkheid van de import van fossiele brandstoffen en heeft daarmee een positief effect op de voorzieningszekerheid. Hetzelfde geldt voor de binnenlandse productie van zonnewarmte en energiebesparing door gebruik van zonne-energie in woonconcepten. Het intermitterende karakter van zonnestroom kan, afhankelijk van het aandeel ervan en de regelbaarheid van de rest van het elektriciteitspark wel tot problemen leiden ten aanzien van de leveringszekerheid. Dit gaat naar verwachting pas een rol spelen als 10-30% van het totaal opgesteld elektriciteitsproductievermogen als decentraal vermogen wordt ingevoed (vanaf ongeveer 2 GWp aan opgesteld zonnestroomvermogen). Daarboven is een verdere groei van zonnestroom slechts dan mogelijk, wanneer maatregelen worden getroffen als grootschalige opslag van elektriciteit en het op elkaar afstemmen van vraag en aanbod van elektriciteit. Dit geldt natuurlijk ook voor andere duurzame energie opties als windenergie en micro-wkk. Het voordeel van een zonnestroomstelsel boven bijvoorbeeld windenergie, is dat de eerste iets beter voorspelbaar is in zijn opbrengst.

Voor autonome zonnestroomstelsels geldt dat deze altijd in positieve zin bijdragen aan de voorzieningszekerheid en leveringszekerheid. De markt voor dit type systemen is in Nederland echter niet zo groot.

In principe geldt dat bij een grotere productie van decentrale elektriciteit de investeringen in centrale elektriciteitsopwekking zouden kunnen afnemen. Of dit ook werkelijk het geval is, hangt af van vele factoren, waarop ook in de rapportage over micro-wkk is ingegaan (Elzenga et al., 2006).

### 3.4 Potentieel effect op werkgelegenheid

De markt voor zonnestroom biedt goede kansen voor de werkgelegenheid. In Europa gaat het in 2005 al om circa 25.000 arbeidsplaatsen. Dit komt neer op 30 arbeidsplaatsen per geïnstalleerde MWp en 20 arbeidsplaatsen per geproduceerde MWp (Werkgroep pv op basis van de European Strategic Research Agenda). De ontwikkelingen in de werkgelegenheid zijn de laatste 20 jaar wereldwijd gestegen met 25% per jaar. Door succesvolle marktontwikkeling in diverse Europese lidstaten (met name Duitsland) is dit percentage over de laatste 5 jaar zelfs gestegen tot 50%

per jaar. De arbeidsplaatsen per MWp zullen in de toekomst afnemen maar zullen door de grote marktgroei in absolute zin blijven groeien.

De werkgelegenheid in de Nederlandse zonnestroomsector kan volgens de brancheorganisatie voor zonne-energie Holland Solar oplopen tot circa 10.000 arbeidsplaatsen in 2030 en 60.000 in 2050 (Holland Solar, 2005). Voor de thermische zonne-energiesector wordt de werkgelegenheid ingeschat op circa 13.000 banen in 2030, oplopend naar 47.000 banen in 2050 (Holland Solar, 2007).

Bovenstaande getallen geven niet weer in hoeverre de verwachte arbeidsplaatsen gezien moeten worden als extra werkgelegenheid ten opzichte van de huidige arbeidsplaatsen in de elektriciteitsopwekking en/of gasector. Gezien de verwachte krapte op de arbeidsmarkt rijst bovendien de vraag of voldaan kan worden aan de vraag naar specifiek voor deze onderwerpen geschoold personeel. In Duitsland zijn er momenteel al vele honderden vacatures die niet vervuld kunnen worden. Aandacht voor opleiding en scholing lijkt dus zeker nodig. Recente initiatieven als de oprichting van een 'Solar Academy' spelen daarop in. Initiatiefnemer ECN werkt daarbij nauw samen met Solland, LIOF en The Institute of Semiconductor Electronics (RWTH Aachen University). De Solar Academy biedt praktijkgerichte en theoretische opleidingen aan voor operators, ingenieurs en managers die werken in de zonnecelindustrie.



## 4 Resultaten van de activiteiten in de voorontwikkelingsfase

### 4.1 Ontwikkeling van probleemperceptie / sense of urgency

De problematiek van de klimaatverandering en de energiezekerheid zijn de laatste jaren sterk gestegen op de maatschappelijke agenda. Juist met de hier beschouwde systeemoptie zonne-energie is op beide punten veel winst te boeken. In dit rapport wordt verder niet ingegaan op de verklaring achter de toegenomen probleemperceptie en de beleidsrol daarin, al was de recente toekenning van de Nobelprijs voor de vrede aan het VN-klimaatpanel (IPCC) en Al Gore natuurlijk een belangrijk signaal van een toegenomen gevoel van urgentie. Het heeft de roep om duurzame energie zeker vergroot.

Binnen het scala aan mogelijkheden voor duurzame energie kleven er nadelen aan enkele alternatieven zoals biomassa (mogelijk verlies biodiversiteit, invloed op voedselprijzen) en wind (landschap, geluid). Vooral de problemen bij de toepassing van biomassa krijgen recent meer aandacht (MNP, 2007). Dit kan zonne-energie meer in beeld brengen.

### 4.2 Toekomstvisie / sense of opportunity

Duurzame energie moet uiteindelijk komen van de zon. Vrijwel alle toegepaste vormen zijn daarvan een afgeleide. Velen zien een zo direct mogelijke benutting van de instralende zonne-energie dan ook als dé optie voor de lange termijn. Maar lang is in deze vaak heel erg lang. Het is dan ook de vraag, in hoeverre die algemene visie betekenis heeft voor de ontwikkelingsprocessen in het heden.

Toepassingen zijn er al lange tijd. Zonne-energie, met name zonnestroom, speelde al in de jaren vijftig een rol: het werd oorspronkelijk ontworpen voor ruimtevaartapplicaties. De Europese Unie heeft R&D voor zonnestroom al sinds de jaren zeventig gestimuleerd. Ook zonnewarmte heeft al historie die ver terugvoert. Het IEA solar heating and cooling programme loopt al sinds 1977. Er is een maatschappelijk draagvlak voor zonne-energie. Het imago van zonnestroom en zonnewarmte is positief. Voor een nadere beschouwing worden de verschillende technologieën apart belicht.

#### **Zonnestroom**

Er zijn door de jaren heen pogingen ondernomen om voor de korte termijn meer concreetheid in het proces te brengen. Zo werd voor de jaren 1997-2000 tussen de rijksoverheid en het bedrijfsleven een convenant gesloten met het oog op de introductie op de markt van fotovoltaïsche zonne-energie (zonnestroom). Het PV-convenant kende een doelstelling van 8 MegaWatt in 2000. In het kader van dat convenant is in 1997 een stuurgroep opgericht, waarin personen zitting hadden die door het bedrijfsleven en door onderzoeksinstituten waren aangewezen. In augustus 2001 heeft het ministerie van EZ echter aan de partijen in het convenant laten weten dat het ministerie wilde stoppen met de onderhandelingen over een nieuw convenant. Na een beleidsevaluatie (Herbezinning duurzaam energiegebruik), was het ministerie tot de overtuiging

Technologie							
NMP4: zonne-energie een te kostbare optie. Wel subsidie		Subsidie Energieprestatie-regeling ingetrokken, nog wel inzet R&D			Subsidie Milieukwaliteit Elektriciteits-productie stopt		Nieuwe ambitie met <i>Schoon en zuinig</i> . Aankondiging nieuwe subsidieregeling, marktintroductieregeling en streven naar energie-neutrale bouw in 2020
Bijdrage zonne-energie							
NMP4: zonne-energie is geen belangrijke optie korte en middellange termijn		Zonne-energie kan op lange termijn bijdragen aan duurzame energievoorziening					
Rol Nederlandse zonnesector							
				Brancheorganisatie Holland Solar presenteert haar visie voor zonnestroom		Brancheorganisatie Holland Solar presenteert haar visie voor thermische zonne-energie	
Reductie broeikasgasemissies							
NMP4: 60-70% zou op de lange termijn nodig zijn, zonne-energie heeft geen betekenis voor middel- lange termijn doelen		Nieuwe reductiedoelen voor energie en broeikasgassen in 2020, geen specifieke doelen zonne-energie					
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Visie-ontwikkeling gericht op de lange termijn →							

**Figuur 4.1** Visieontwikkeling rondom zonne-energie in Nederland

gekomen dat zonnestroom geen substantiële bijdrage kon leveren aan de realisatie van de toen geldende 10% duurzameenergie doelstelling in 2020. Het voeren van een specifiek overheidsbeleid voor zonnestroom werd daarom door dit ministerie onvoldoende zinvol geacht. (Nationale ombudsman, 2002). Een visie op een alternatief ontwikkelingstraject kwam er niet.

Particulieren zijn wel doorgegaan. Dit heeft geleid tot enkele belangrijke documenten, die bijdragen aan de visievorming. Specifiek voor Nederland heeft branchevereniging Holland Solar de *Roadmap Zonnestroom* opgesteld (Holland Solar, 2005) waarin zij haar toekomstbeeld voor de opwekking van zonnestroom presenteert. De toekomstverwachtingen zijn samengevat in *tabel 4.1*.

In de tussentijd heeft de overheid initiatieven genomen in het kader van transitie management. Het Energietransitieplatform Duurzame Elektriciteitsvoorziening (TP-DEV) is opgericht. De onder dit platform hangende werkgroep PV heeft in 2006 een document over de stand van zaken uitgebracht (Werkgroep PV, 2006). Op Europees niveau is door de EU in 2005 een visierapport (EU, 2005) uitgebracht en een platform opgericht. De onderliggende visie van dit rapport is door de Nederlandse Werkgroep PV overgenomen. Het Transitieplatform Gebouwde Omgeving heeft geen specifieke aandacht geschonken aan zonne-energie.

De focus van het beleid was de afgelopen jaren in Nederland vooral gericht op het behalen van de Kyotodoelen. Het recent aangescherpte doel van 20% duurzame energie in 2020 legt de nadruk op de korte en middellange termijn. Op deze termijnen denkt men met zonne-energie nog relatief weinig te kunnen bijdragen aan de doelen ten opzichte van bijvoorbeeld windenergie of inzet van biomassa, onderwerpen waar veel zwaarder op wordt ingezet.

In het werkprogramma *Schoon en Zuinig* zijn wel elementen te herkennen van een hernieuwde aandacht voor de lange termijn. Er wordt gesproken over het doorlopen van een leercurve. Daarbij wordt de verwachting neergezet, dat over tien jaar de productiekosten van zonnestroom

Tabel 4.1 De ontwikkeling van zonnestroom in Nederland volgens Holland Solar Holland Solar, 2005.

Systemen en prijsontwikkeling	Situatie 2004	Toekomstbeeld 2015	Toekomstbeeld 2030	Toekomstbeeld 2050
Prijs zonnestroom (in 2004 €/kWh)	0,50	0,25	0,10	0,06
Turn-key systeemprijs (in 2004 €/Wp)	5,00	2,50	1,00	0,60
Netto rendement zonnepanelen (dakvlak)	12%	15%	18%	25%
Jaaropbrengst systeem bij optimale oriëntatie (kWh/Wp)	0,75 van 0,7-0,8	0,80 van 0,75-0,85	0,85 van 0,7-1,0	0,90
Typische gemiddelde jaaropbrengst systeem (kWh/m <sup>2</sup> )	90	120	154	200
<b>Volume van de marktsegmenten</b>				
Nieuwbouw en renovatie in gebouwde omgeving (daken per jaar)	< 5.000	15.000	100.000	200.000
Andere momenten in de gebouwde omgeving	Zeër weinig	Groeiend	Volwassen markt	Grote schaal
In infrastructuur	Zeër weinig	Groeiend	Volwassen markt	Grote schaal
Zonnecentrales	–	Incidenteel	In ontwikkeling	Grote schaal
Vervangingsmarkt	–	Weinig	Groeiend	In opkomst 2-5 GWp per jaar
<b>Zonnestroom sector</b>				
Werkgelegenheid in Nederland (equivalente voltijdsarbeidsplaatsen)	800	3.000	10.000	60.000
Concurrentiepositie	Nederland / Europees	Europees	Mondiaal	Mondiaal
<b>Inpassing in de energie infrastructuur</b>				
Totaal geïnstalleerd vermogen	0,05 GWp	0,50 GWp	6 GWp	75 GWp
Aandeel zonnestroom in elektriciteitsvraag	10.000 huishoudens	100.000 huishoudens	3%	25%
Regelsystemen voor inpassing zonnestroom	Onderzoek	Eerste pilots om onderzoeksresultaten te testen	Geavanceerde lokale energiemangement systemen voor optimale benutting geproduceerde zonnestroom	Intelligente communicatie- en regelsystemen om verschillende energiebronnen en opslag af te stemmen
<b>Ruimtelijke inpassing</b>				
Zonnepaneel als bouwelement in de gebouwde omgeving	Ontwikkeling demonstratie	Marktrijp	Standaard	Standaard
Zonnepaneel als element in en aan infrastructuur	Veldtesten	Meerdere demo's/ marktintroductie	Standaard	Standaard

het niveau van de elektriciteitsprijs voor consumenten zal bereiken. Er wordt een groei van duurzame energie in woningen vastgelegd en met financiële middelen ondersteund, maar niet specifiek voor zonnestroom gekwantificeerd.

### Zonnewarmte

In het verhaal over zonnewarmte zijn parallellen te vinden met de zonnestroom, al liggen de accenten anders. De technologie is eenvoudiger en relatief goedkoper. In het volgende schema is beknopt de ontwikkeling van de markt voor zonnewarmte en de overheidsbemoedienis weergegeven.

Na de start van de eerste subsidieregeling is de markt heel voorzichtig gegroeid. Het aanbod was beperkt en er was nog niet veel vraag naar zonneboilers. Pas na de start van de zonneboilercampagne ging de markt in omvang toenemen. De energiebedrijven begonnen met zonneboilerprojecten. In de Meerjarenafpraak werkten de leveranciers, installateurs en de energiebedrijven samen met de overheid voor het vergroten van de markt. Het gaf stabiliteit in beleid en de markt groeide een aantal jaren voorspoedig. De aanpak vanuit de meerjarenafpraak werd voortgezet

**Tabel 4.2 De ontwikkeling van zonnewarmte in Nederland.** Vrij naar Bosselaar, 2007.

Jaar	Gebeurtenis
1988	Start van de eerste subsidieregeling voor zonneboilers
1991	Start van de zonneboilercampagne
1994	Meerjarenafpraak zonneboilers ondertekend
1999	Meerjarenafpraak wordt convenant zonneboilers
2000	EPC-eis voor nieuwbouw gaat naar 1,0
2002	Einde convenant Zonneboilers
2003	Einde EPR subsidie
2007	Nieuwe ambitie in <i>Schoon en Zuinig</i> , aankondiging nieuwe subsidieregeling duurzame energietechnieken

in het convenant zonneboilers. De subsidie ging over van een speciale zonneboilersubsidie in de Energieprestatierегeling (EPR). Het effect voor de zonneboilermarkt was beperkt, omdat de nieuwbouw geen gebruik kon maken van de EPR en dat was het belangrijkste segment voor de zonneboilermarkt. Van de in 1999 doorgevoerde verlaging van de Energieprestatiecoëfficiënt (EPC) voor nieuwbouw werd een enorme impuls verwacht, maar deze is uitgebleven. Projectontwikkelaars bleken een voorkeur te hebben voor andere technieken.

Het convenantsdoel met betrekking tot groei van de markt is niet gehaald en de aanpak van de overheid veranderde. In 2002 kwam er daarom een einde aan het convenant zonneboilers, het convenant werd niet verlengd of vernieuwd.

Nadat ook de EPR-subsidie was stopgezet liep de markt terug. Nederland is het enige land in Europa met een dalende markt voor zonneboilers. De tijdelijke regeling CO<sub>2</sub>-reductie gebouwde omgeving heeft maar beperkt effect gehad op de markt. Ook de verdere aanscherping van de EPC naar 0,8 heeft nog weinig effect op de markt. De belangrijkste reden hiervoor was dat deze waarde te halen was met goedkopere technieken. De leveranciers van zonneboilers hebben mogelijk ook te weinig reclame gemaakt voor hun product (Bosselaar, 2007).

In 2006 is er een Europees technologieplatform opgericht. Het European Solar Thermal Technology Platform (ESTTP) heeft een visiedocument opgesteld waarin de visie en de bijbehorende R&D-onderwerpen worden beschreven. De onderwerpen uit dit visiedocument spelen ook een belangrijke rol in de recent uitgebrachte roadmap voor thermische zonne-energie van branchevereniging Holland Solar (Holland Solar, 2007). De toekomstverwachtingen uit deze roadmap zijn samengevat in *tabel 4.3*.

In het werkprogramma *Schoon en Zuinig* wordt wel de verwachting uitgesproken dat deze technologie binnen vier jaar een voor toepassing aantrekkelijke prijs-prestatieverhouding kan bereiken, maar een duidelijke en specifieke visie op zonnewarmte ontbreekt.

**Tabel 4.3 De ontwikkeling van zonthermisch in Nederland volgens Holland Solar** Holland Solar, 2007.

	Totaal geplaatst			Werkgelegenheid aantal banen	Afzet MW/jr	Omzet MEuro/jr
	Collectoroppervlak km <sup>2</sup>	Opgewekte warmte PJ/jr	Besparing CO <sub>2</sub> Mton/jr			
2015	1	2	0,1	2.000	100	100
2030	10	13	1,1	13.000	700	700
2050	57	74	6,3	47.000	2.500	2.500



## Woonconcepten

Noch de consumenten, die weinig bekend zijn met het gebruik van actieve en passieve zonne-energie in nieuwe woonconcepten, noch de partijen in de bouwketen hebben een heldere visie in de richting van woonconcepten als zonnewoningen en passiefbouw. Non-governmental organisations (NGO's) zijn wel actief op dit front en zij werken samen met nichespelers. Zo is het Wereld Natuur Fonds betrokken bij het opzetten en certificeren van de Zonnewoning en is de Stichting Natuur en Milieu in het project Economie Light bezig met bouwers (Passiefhuis, BAM, Panagro) een duurzaam aanbod te presenteren aan corporaties. De nadruk ligt daarbij op het aanspreken van bouwers en corporaties die nog traditioneel (niet duurzaam) bouwen, terwijl voldoende voorbeelden aantonen dat het anders kan. In de klimaatcampagne HIER zijn meer dan 40 maatschappelijke organisaties betrokken bij voorlichting over het klimaat. Zij geven energiebesparing en zonne-energie daarbij duidelijk een rol.

Tot voor kort was het beleid gericht op geleidelijke verbetering van nieuwbouw en aanvullende maatregelen voor energiebesparing in de bestaande bouw. Het Platform Gebouwde Omgeving heeft haar pijlen ook vooral op dat laatste gericht. In het recent door het kabinet gepubliceerde werkprogramma *Schoon en Zuinig* wordt een aantal maatregelen voor de gebouwde omgeving aangekondigd:

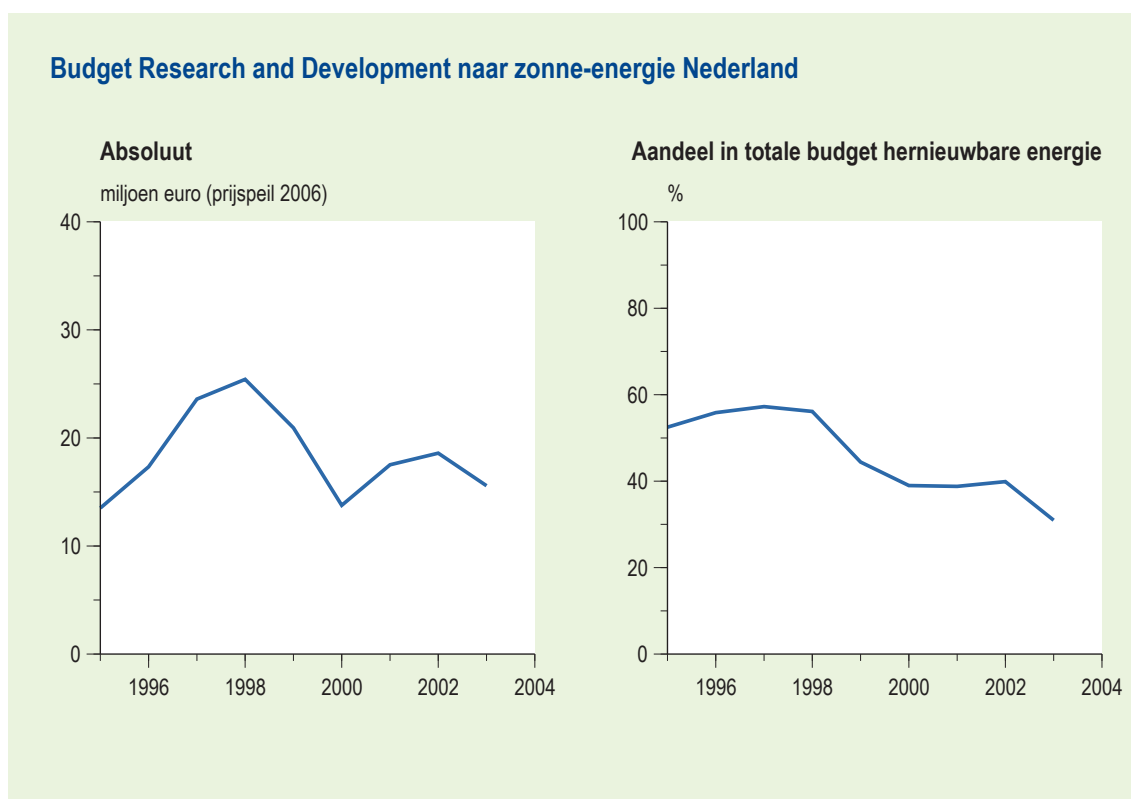
- Het energiebesparingsplan *Meer met minder* wordt uitgevoerd. Dat betekent onder andere dat 500.000 woningen in 2011 energiezuiniger moeten zijn en daarna 300.000 per jaar.
- De nieuwbouw wordt steeds energiezuiniger, het uiteindelijke doel is energieneutrale nieuwbouw in 2020. Dit kan een impuls vormen voor passiefbouw.
- Er wordt ingezet op een nieuwe stimuleringsregeling voor burgers waar ook zonne-energie onder valt en waarvoor jaarlijks 40 miljoen euro beschikbaar is. De regeling heeft een beperkte looptijd waarin het subsidiebedrag per installatie ieder jaar wordt aangepast om rekening te houden met leereffecten en schaalvoordelen. Doel is dat er in 2011 100.000 woningen met duurzame energietechnieken, zoals zonneboilers, warmtepompen en zon-PV zijn gerealiseerd. Daarmee vormt het een stimulans voor zonnewoningen.

De plannen laten de nieuwe ambitie van de overheid en een visie op de lange termijn zien, ook op het gebied van woonconcepten en zonne-energie. De weg naar een transitie met betrekking tot duurzame energie krijgt meer aandacht.

### Klimaatcampagne HIER

NGO's hebben aan het nieuwe kabinet gevraagd om beleid voor systeemverandering en nieuwe instituties, die daarbij passen:

- Aanscherping van de energieprestatienorm voor nieuwe woningen naar 0,6 in 2010 en 0,4 in 2015.
- 30% minder energiegebruik in bestaande huizen en kantoren in 2015. Dit vereist een combinatie van harde regelgeving, stimulerende instrumenten, het wegnemen van blokkades en voorlichting. De invoering van harde regelgeving, zoals absolute grenzen aan het gasgebruik in deze sectoren, vergt zorgvuldige voorbereiding en maatschappelijk debat. Vooruitlopend hierop komt er een nationaal energiebesparingsbedrijf, vergelijkbaar met de Engelse Energy Savings Trust of verplichte energiebesparing via de energiebedrijven (witte certificaten).
- Overname van het Duitse stimuleringsbeleid voor duurzame elektriciteit. Dit is met name gericht op zon, wind en kleinschalige biomassa. De financiering loopt via de elektriciteitsbedrijven.



**Figuur 4.2** Ontwikkeling van het R&D-budget voor zonne-energie in Nederland

Bron: [www.iea.org/RDD](http://www.iea.org/RDD).

### 4.3 Research & Development

De onderzoeksinspanningen voor zonne-energie kunnen worden afgemeten aan het daarvoor in Nederland beschikbare budget (zie *figuur 4.2*). Het aandeel in het totale onderzoek naar vernieuwbare energie is afgenomen volgens IEA-gegevens (recentere cijfers dan 2003 voor Nederland ontbreken in dat bestand). Dat neemt niet weg dat in Nederland de onderzoeksinspanningen ten opzichte van andere ontwikkelde landen aanzienlijk zijn.

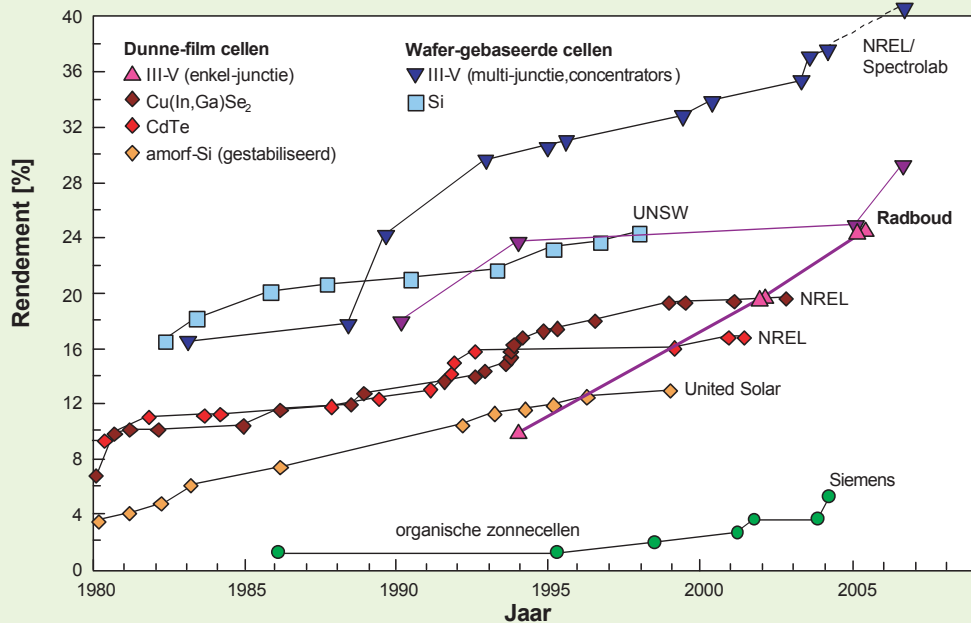
#### Zonnestroom

De verbetering van de zonnestroomtechnologie is een wereldwijde ontwikkeling. *Figuur 4.3* laat de ontwikkeling van de rendementen voor verschillende technologieën zien.

In Nederland hebben activiteiten bij diverse onderzoeksgroepen en kennisinstellingen plaatsgevonden waarbij aan de ontwikkeling van zonnestroom is bijgedragen. De belangrijkste spelers in het Nederlandse onderzoekslandschap zijn in paragraaf 2.2 aan de orde gekomen, zij nemen ook internationaal een goede positie in.

Zonnestroom is steeds nadrukkelijk onderdeel van het nationale R&D-beleid geweest en is daarbij door verschillende subsidieregelingen ondersteund. Tot 2004 heeft het programma *Economie, Ecologie, Technologie* (EET) innovatieve instellingen en bedrijven ondersteund om samen te werken aan technologische innovatie. Specifiek voor zonnestroom zijn met EET een vijftiental (grote) projecten gesubsidieerd. Het programma is in 2004 in gewijzigde vorm voortgezet via het subsidieprogramma *Innovatiesubsidie Samenwerkingsprojecten* (IS), wat inmiddels

## Rendementen zonnestroom technologie



Overgenomen uit presentatie John Schermer; Nijmegen kiest voor zonnekracht, 21 maart 2007 (Bron: Thomas Surek)

**Figuur 4.3** Ontwikkeling rendementen zonnestroom technologie, onder andere bij het National Renewable Energy Laboratory in de VS.

voor projecten op het gebied van energie is opgegaan in *Energie Onderzoek Subsidie*, *Energie en Samenwerkingsprojecten* (EOS-ES).

In de periode 2001 tot en met 2006 zijn er circa 60-70 PV-projecten gesubsidieerd met het programma *Duurzame Energie Nederland* (BSE-DEN, tot eind 2003) en de diverse EOS- regelingen. Vanuit de DEN waren dat 28 onderzoeks- en ontwikkeling projecten, 16 kennisoverdrachtprojecten, 9 haalbaarheidsprojecten en 3 demonstratieprojecten. Vanuit EOS waren dat (ordegrootte) 12 *Lange Termijn*-projecten (LT), 3-4 ES-projecten en 1-2 *Nieuw Energie Onderzoek*-projecten (NEO). EOS kent op basis van haar doelstellingen ook jaarlijks het budget toe aan ECN (Swens, 2007).

Zonnestroom heeft in de totale EOS-tender steeds een aandeel gehad van circa 20-30%, wat neerkwam op circa 10-12 miljoen euro/jaar. Sinds 2001 heeft er geen intensivering plaatsgevonden.

Binnen het EOS-programma is zonnestroom een speerpunt met speciale aandacht voor:

- fabricagekosten cellen en modules
- prestaties van cellen en modules op het gebied van rendement, levensduur en stabiliteit
- milieukwaliteit met aspecten als materiaalgebruik, energie-inhoud en mogelijkheden voor recycling
- toepasbaarheid in de gebouwde omgeving.

Voor zonnestroom zijn ook technieken voor inpassing in de omgeving (Balance of System, BOS) in ontwikkeling. Hiertoe behoren onder andere ook de ontwikkeling van een betrouwbare opslagmogelijkheid voor elektriciteit en ontwikkelingen rondom netinpassing en de virtuele centrales. Tot nu toe was opslag erg duur en de levensduur van de opslagmedia voor elektriciteit beperkt. Dit is slechts in beeld voor systemen, waarbij netkoppeling onmogelijk is, en bij de combinatie met plug-in hybride auto's. Op deze laatste ontwikkeling wordt in dit rapport niet verder ingegaan.

Er ligt nog een grote onderzoekopgave om de productiekosten verder omlaag te brengen. Speerpunten en mogelijkheden om vanuit Nederland daaraan bij te dragen zijn op een rij gezet (KNAW, 2007):

- Geavanceerde kristallijn-silicium (cSi) celconcepten en processen voor een hoog modulerendement (18-24%).
- Nieuwe encapsulatiematerialen en -technieken bij de verschillende conversietechnologieën.
- Dunne-film celconcepten en processen voor een hoog en stabiel modulerendement van 12-18%.
- Alternatieven voor CIGS, op basis van ruim beschikbare elementen bijvoorbeeld op basis van Cu, Zn, Sn en S en transparante geleiders zonder indium (er bestaat onzekerheid of de voorraad indium voldoende is voor grootschalige toepassing; zonder indium zal er sprake zijn van een stap terug in het onderzoekstraject).
- Nieuwe conversieconcepten en -technologieën gericht op lage kosten (nano-gestructureerde materialen) met uitzicht op een modulerendement van meer dan 10% en een levensduur van meer dan 10 jaar.
- Verkenning van nieuwe conversieprincipes en concepten voor zeer hoge rendementen.

### Zonnewarmte

Zonneboilers worden door verschillende producenten aangeboden in een commerciële versie. Er vond in de afgelopen vijf jaar niet veel onderzoek en ontwikkeling plaats. In de EOS-regelingen *Lange Termijn en Nieuw Energie Onderzoek* werden enkele projecten gesubsidieerd, waarbij zonnewarmte een rol speelt, maar de overgrote meerderheid van de projecten was gericht op zonnestroom en de betrouwbare inpassing van decentrale elektriciteitsbronnen in het elektriciteitsnet. Voor de ontwikkeling van een nieuwe generatie zonnewarmtesystemen is er wel een aantal belangrijke ontwikkelpunten die de kostenefficiëntie belangrijk kunnen verbeteren (KNAW, 2007):

- Nieuwe materialen voor zeer grootschalige productie van zonnecollectoren (bijvoorbeeld kunststof, vanwege de relatief hoge kosten voor koper).
- De ontwikkeling van compacte en efficiënte warmteopslagsystemen op basis van thermochemische vastlegging en faseovergangsmaterialen.
- De ontwikkeling van koelsystemen die worden aangedreven met thermische zonne-energie.
- De ontwikkeling van efficiënte systemen voor de gecombineerde productie van elektriciteit en warmte (PVT).

Voor warmteopslagsystemen worden de mogelijkheden voor seizoensopslag onderzocht waarmee in de Nederlandse winter gebruik gemaakt kan worden van de in de zomer opgeslagen warmte. Met zo'n systeem zou het in principe mogelijk moeten worden om woningen geheel met thermische zonne-energie te verwarmen. Seizoensopslag bestaat al wel. Bij utiliteitsgebouwen wordt bijvoorbeeld vaak gebruik gemaakt van een aquifer. De technologische doorbraak richt zich voor woningen op compactere en meer effectieve opslagsystemen. Op dit moment lijken thermochemische systemen het meest kansrijk maar worden ook nog faseovergangs-

technieken en wateropslagsystemen onderzocht (Holland Solar, 2007; Visser et al., 2004). Het onderzoek naar deze specifieke toepassing bevindt zich nog in de beginfase, ook in Nederland.

Zonnekoeling wordt al sinds de jaren zeventig toegepast maar veel van deze systemen zijn nog te groot om op grote schaal te worden toegepast (vanaf 35 kW). Een complicerende factor is, dat ze verschillende aandrijftemperaturen nodig hebben. Er komen verschillende technieken in aanmerking waaronder absorptiekoelers (onder andere Lithium-Bromide systemen), adsorptiekoelers en desiccantkoelers (Holland Solar, 2007).

### Woonconcepten

De haalbaarheid voor zonnewoningen en passiefhuizen in Nederland is inmiddels uitgebreid onderzocht en gedocumenteerd (Van de Bree, 2007; Builddesk, 2006). In de EOS-regelingen zijn ook enkele projecten rondom duurzame woonconcepten gesubsidieerd. Zowel voor zonnewoningen als passiefhuizen gaat het grotendeels om bekende technologie, waarvoor in principe weinig onderzoek meer nodig is. Het gaat om toepassing van de concepten in de praktijk en mogelijk aanpassing van het concept op de Nederlandse bouwstijl. Belangrijk hulpmiddel daarbij is het Passivhaus Projektierung Paket (PHPP). Het PHPP is een ontwerp- en rekenmodel dat al sinds 10 jaar in ontwikkeling is bij het Passivhaus Institut (PHI) in Darmstadt. Het Europese CEPHEUS-project<sup>2</sup> heeft, op basis van praktijkervaringen uit vijf Europese landen, uitgewezen dat specifieke PHPP-rekenmethodes voor het berekenen van de warmtebehoefte een juiste voorspelling geven van de werkelijkheid.

## 4.4 Experimenten in de praktijk

Na het terugtrekken van de Energiepremieregeling zijn de onderwerpen die gesubsidieerd worden op het gebied van zonne-energie vooral demonstraties gericht op de toepassing van kosteneffectieve zonneboilers, de eerste toepassingen van PVT-systemen, opslagsystemen voor energie en het toepassen van nieuwe woonconcepten zoals passiefhuizen.

### Zonnestroom

Al sinds de jaren negentig werden er voor zonnestroom grootschalige projecten in onder andere 'De stad van de zon' Heerhugowaard en de wijk Nieuwland in Amersfoort uitgevoerd. In de demonstratieprojecten werd vooral aandacht besteed aan de integratie van zonnestroom. Er werden bevestigingssystemen ontwikkeld voor zonnestroommodules van verschillende typen en fabrikanten, zowel voor hellende als voor vlakke daken. Ook is er geëxperimenteerd met prefabmontage van zonnestroom op dak- of gevelelementen. Leerpunten waren vooral de bouwkundige risico's, zoals de waterdichtheid van het dak bij zonnepanelen op hellende daken, de in de praktijk tegenvallende levensduur van inverters en dunne film PV en brandveiligheidsaspecten.

Momenteel wordt in Nederland vooral veel aandacht besteed aan R&D. Experimenten met nieuwe zonnestroomsystemen blijven achter. In de DEN-regeling vonden wel enkele gesubsidieerde demonstraties plaats, maar tot dit jaar werd er in de EOS-Demonstratie-regeling nog geen enkele subsidiering aan een project met zonnestroomsystemen toegekend. Recent is daar verandering in gekomen. Helianthos is in 2007 de eerste die een EOS-Demo-subsidie kreeg toegekend. Ze gaan een demonstratieproject uitvoeren om de opbrengst en duurzaamheid van hun zonnecellaminaten te meten. Het demonstratieproject start met de productie van flexibele zonnecellaminaten in het nieuwe *roll-to-roll*-proces. Deze zonnecellaminaten worden vervolgens geïnstalleerd en gedurende één tot twee jaar gemonitord op gebruikaspecten en prestaties.

Een belangrijke vraag in dit geval is of bij stimuleringsbeleid voor zonnestroom in Nederland het accent moet liggen op de realisering van zonnestroomsystemen of op R&D. De prijzen van componenten van zonnestroomsystemen in Nederland, in het bijzonder de modules, worden in belangrijke mate bepaald door de ontwikkelingen op de wereldmarkt. Nederland is daarbij een te kleine speler om door flinke afname van systemen de markt te beïnvloeden. Voor de ontwikkeling van BOS ligt dat anders. Het is belangrijk dat binnen Nederland ervaring wordt opgedaan met de integratie van zonnestroom in de gebouwde omgeving. Nederland heeft een specifieke bouwtraditie en heeft daarom ook specifiek op Nederland gerichte standaardisatie, ontwikkeling van prefab toepassingen en de opbouw van kennis en ervaring met bouwkundige risico's nodig. Hierdoor is kostenreductie en kwaliteitsverbetering te bereiken (Menkveld et al., 2004).

### **Zonnewarmte**

Voor zonneboilers zijn er al sinds de jaren negentig veel demonstratieprojecten geweest. Daarmee konden de prestaties in de praktijk worden gevolgd. De laatste jaren is er een beperkt aantal projecten uitgevoerd. Deze waren vooral gericht op verbetering van kosteneffectiviteit in de praktijk. Het is momenteel nog steeds lastig om zonneboilers terug te verdienen met besparingen op de energiekosten. Het onderzoek had als belangrijke doelen vermindering van het gewicht en vereenvoudiging van de installatie en de distributie. Er is onder andere geëxperimenteerd met systemen die modulair en eenvoudig kunnen worden opgebouwd maar ook aan nieuwe concepten waarin collector en voorraadvat geïntegreerd op het dak worden geplaatst.

Voor PVT worden momenteel de eerste stappen gezet naar het aantonen van de haalbaarheid in de praktijk. Er is inmiddels een drietal experimenten opgezet en er bestaan plannen om volgend jaar een fabrieksmatige productie te beginnen.

### **Woonconcepten**

Door 19 marktpartijen, waaronder projectontwikkelaars, woningcorporaties en gemeenten, is in samenwerking met Ecofys een groot marktintroductieproject voor zonnewoningen gestart. De partijen hebben het initiatief genomen om in de periode 2002-2004 in totaal 1500 zonnewoningen te realiseren. Hiervoor is subsidie ontvangen van de BSE-DEN-regeling. De doelstelling van 1500 gecertificeerde zonnewoningen is door marktomstandigheden en onder andere het afschaffen van de Energiepremieregeling, niet gehaald. Het project heeft een langere looptijd gekregen. Bij afronding eind 2006 waren ruim 500 gecertificeerde zonnewoningen opgeleverd. Buiten dit introductieproject staan nog circa 750 woningen op stapel (Van de Bree, 2007). Momenteel wordt door Ecofys, als vervolg op het marktintroductieproject, onderzoek gedaan naar de ervaringen van bewoners van zonnewoningen.

In Nederland zijn inmiddels ongeveer 20 woningen gebouwd die uitgaan van het Passiefhuis-concept. Deze zijn grotendeels gerealiseerd door één architect. In Almere staan de komende jaren 180 passiefwoningen op de rol en ook in Roosendaal, Enschede, Rotterdam, Alkmaar en Groenlo bestaan er plannen voor passief bouwen. De pilots in Almere, Groenlo en Roosendaal worden ondersteund door de EOS-demoregeling.

Speciale aandacht in praktijkprojecten heeft het bewonerscomfort. Oververhitting in de zomer en angst voor een onvoldoende werkend en lawaaiërig ventilatiesysteem verminderen de woonkwaliteit en roepen daarom weerstand op bij aspirantbewoners.

De demonstratieprojecten of niches hebben mede tot doel de spelers in de praktijk ervaring met nieuwe technieken te laten opdoen. Een grote mate van betrokkenheid is daarvoor belangrijk.



In de bouwwereld zijn er vele spelers, van wie slechts een zeer kleine fractie tot nu toe in dat leerproces heeft meegedaan.

## 4.5 Leercurven

De resultaten van onderzoek en praktijkexperimenten worden voor een belangrijk deel zichtbaar in de zogenaamde leercurven. Hierin wordt de ontwikkeling van de prijs-prestatieverhouding van een technologie of een technisch systeem zichtbaar gemaakt. Het hoeft daarbij niet specifiek om de resultaten van Nederlandse activiteiten te gaan, de leercurven zijn vaak een reflectie van mondiale ontwikkelingen. In de vorige parafen zijn de specifieke bijdragen van Nederland daaraan beschreven.

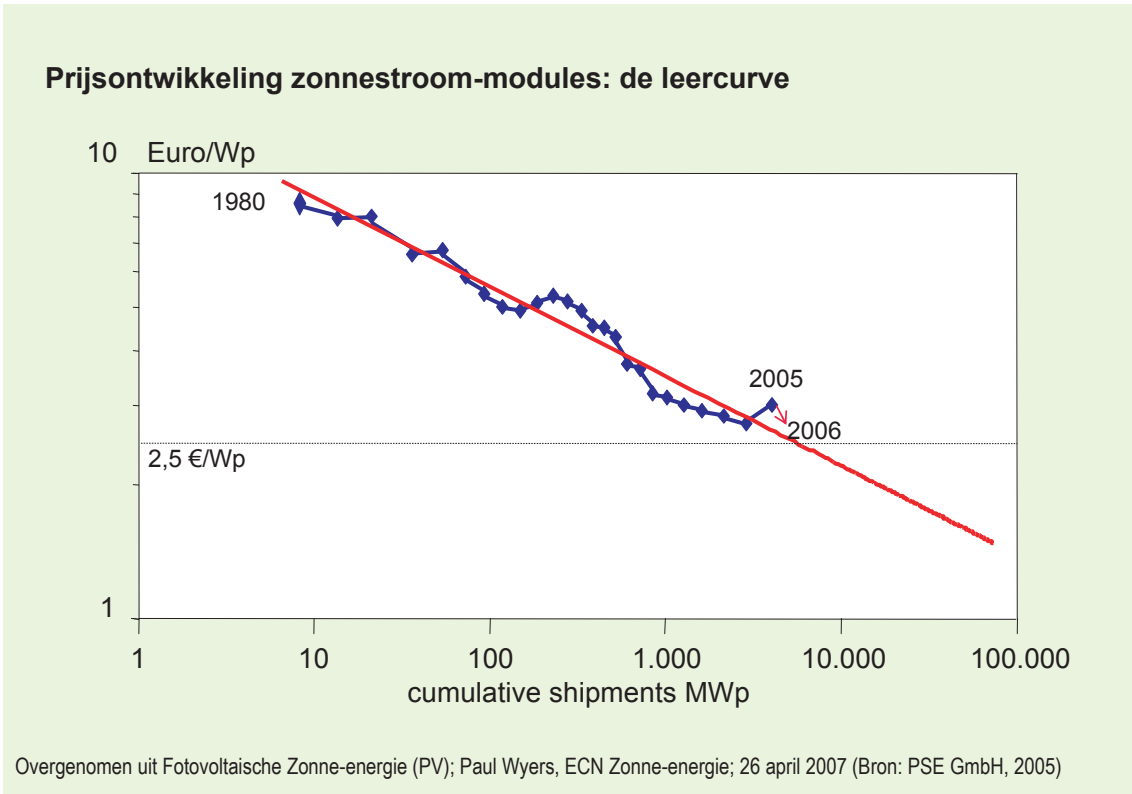
De leercurven laten de ontwikkeling van de prijs-prestatieverhouding in de tijd zien. Het leren is een combinatie van kennisontwikkeling, optimalisatie op basis van ervaringen in experimenten en niches en efficiëntieverbetering door grootschaliger productie. Toch wordt op de x-as meestal niet de tijd, maar de productieomvang uitgezet. Onderzoek naar vele leercurven heeft laten zien, dat in een bepaalde fase van de ontwikkeling op een dubbellogaritmische schaal lineaire relaties tussen de prijs-prestatieverhouding en de productieomvang herkenbaar worden. De relatiecoëfficiënten zijn technologie-afhankelijk. De parameter PR (progress rate, ofwel de factor voor de kostenverhouding bij verdubbeling van de cumulatieve productie; PR = 0,9 betekent 90% van de referentie voor de prijs-prestatieverhouding) weerspiegelt de ontwikkeling. In combinatie met de groei van de productie in de tijd (GR of growing rate) kan de ontwikkeling in de tijd daaruit worden afgeleid. Hoewel er voor vele technieken over langere perioden een tamelijk constante PR is gevonden, is er geen zekerheid dat deze PR voor een bepaalde techniek bij doorgaande groei van de productie dezelfde waarde blijft houden. Daarom is het zinvol deze waarde te monitoren.

### Zonnestroom

De resultaten van de ontwikkelingen van de prijs-prestatieverhouding voor zonnestroom-modules (in dit geval in euro per Wp) zijn in *figuur 4.4* weergegeven (hieruit kan een PR van 0,87 worden afgeleid). De stijging in de prijs in 2005 heeft vooral te maken met een tekort aan productiecapaciteit voor silicium en moet daarom niet als een fundamentele hapering in de leercurve worden gezien. De hogere PR vanaf een productieomvang van ongeveer 1000 MWp zou eerder een aanwijzing zijn dat de PR-waarde voorbij een knikpunt zou kunnen zijn, maar het is te vroeg om al te stellig tot die conclusie te komen. Dergelijke ontwikkelingen verlopen nooit helemaal gelijkmatig.

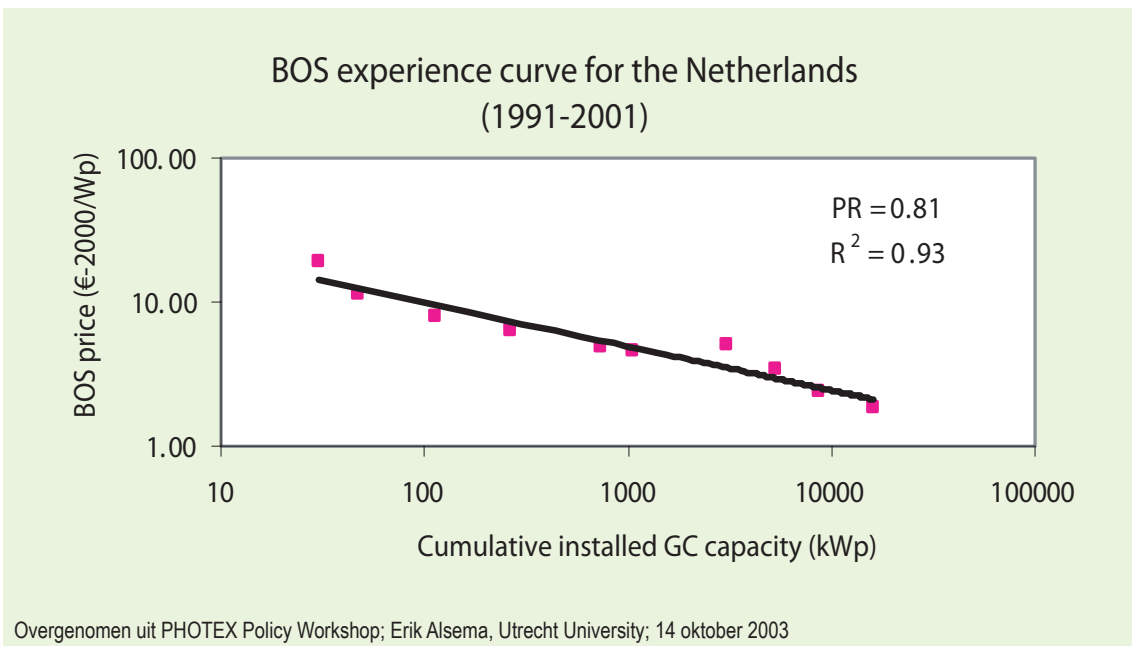
Een Amerikaanse analyse, die nog verder teruggaat in de tijd, komt op een PR van 0,8 (Arvizu, 2006). Daarbij is echter aangegeven, dat op basis van de meer recente ontwikkelingen een PR van 0,9 beter zou passen.

Het gaat niet alleen om de ontwikkeling van de panelen. De inbedding in het systeem (Balance of System) bepaalt in de huidige situatie 30-50% van de totale kosten. De prijsontwikkeling daarin is dus zeker van groot belang. Daarbij kan minder worden geprofiteerd van internationale ontwikkelingen, omdat het leerervaringen betreft, die te maken hebben met de manier waarop de installatie in de praktijk wordt gekoppeld. *Figuur 4.5* laat de Nederlandse prijsontwikkelingen van BOS zien. Deze wat oudere gegevens laten bij de ontwikkeling tot ongeveer 300 MWp een PR van 0,81 zien.



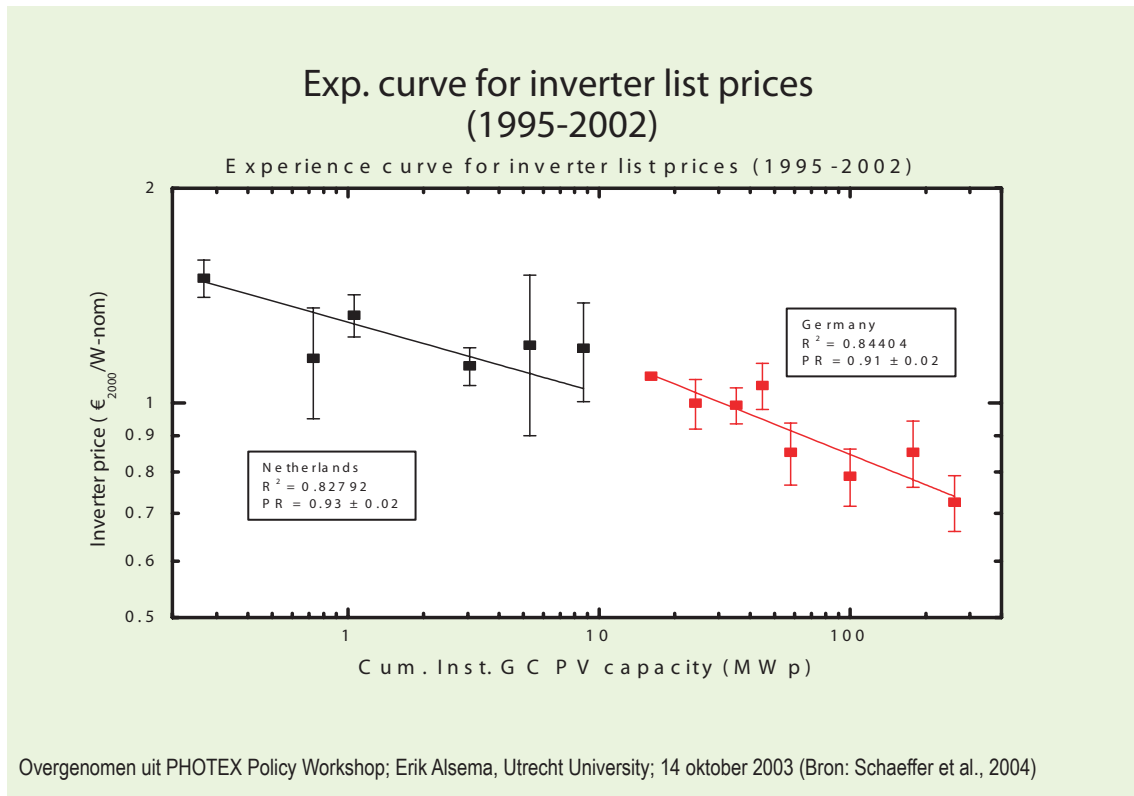
**Figuur 4.4** Ontwikkeling van de kosten voor zonnestroom-modules (recente ontwikkelingen mede beïnvloed door beperkte Si-productiecapaciteit Wyers, 2007.

Een belangrijk onderdeel van de BOS bij aansluiting op het net is de DC-AC omvormer of inverter (circa 30% van de BOS-kosten). De ontwikkeling daarvan liet in ongeveer dezelfde periode een  $PR > 0,9$  zien (Schaeffer et al., 2004; NREL, 2006). Kostenreductie van andere onderdelen van BOS lijkt sneller te verlopen dan de kostenreductie van inverters. Netgekoppelde systemen



**Figuur 4.5** Leercurven voor BOS in Nederland Schaeffer et al., 2004.





**Figuur 4.6 Leercurve voor inverterprijzen** Schaeffer et al., 2004.

zouden daarbij dus een hogere PR hebben dan autonome systemen (waarbij ontwikkelingen in de accu's niet zijn meegenomen).

De uiteindelijke prijs-prestatieverhouding van zonnestroomsystemen voor de Nederlandse consument is afhankelijk van de zon. Het zonninstralingsniveau bepaalt primair de opbrengst van een zonnestroomsysteem. Nederland heeft ongeveer 1000 zonuren per jaar, de specifieke jaaropbrengst van een zonnestroomsysteem is dan circa 800 kWh/kWp (bij een Performance Ratio van 0,8). Voor een compleet zonnestroomsysteem, met alle benodigde componenten inclusief de installatiekosten, konden de investeringskosten in 2001 variëren tussen 5 en 8 euro/Wp (Menkveld et al., 2004). In 2004 worden pv-voldaksystemen in de nieuwbouw voor 5 euro/Wp gerealiseerd. De onderhouds- en bedrijfskosten kunnen, rekening houdend met een vervanging van de inverter halverwege de levensduur van het zonnestroomsysteem, jaarlijks tussen 1% en 3% van de initiële investeringskosten bedragen (De Noord et al., 2004; Menkveld et al., 2004). De levensduur van een modern zonnestroomsysteem bedraagt 20 tot 25 jaar. In de praktijk worden in demonstratieprojecten contracten over teruglevering van elektriciteit en garanties over het zonnestroomsysteem slechts over een periode van 10 jaar verleend. Met een investering van 5 euro/Wp, 2% jaarlijks onderhoud, een levensduur van 25 jaar en 6% rente resulteert een kostprijs voor elektriciteitsproductie door zonnestroomsystemen van ruwweg 60 eurocent/kWh in 2004 (Menkveld et al., 2004). Inmiddels wordt dat al weer wat lager ingeschat op circa 50 eurocent/kWh (Holland Solar, 2005; Werkgroep pv, 2006).

### Zonnewarmte

De prijsontwikkeling van de zonneboiler is in Nederland alleen tijdens het convenant gemonitord. Inclusief installatiekosten, maar exclusief BTW kostte de zonneboiler begin jaren negentig zo'n 2300 euro (prijspeil 2002). Na 1995 schommelden deze kosten rond de 1600-1700 euro

tot het einde van de looptijd van het convenant. De indruk is dat de prijzen nadien wat zijn gestegen. Een systeem kost nu circa 2000 euro. Dat is in prijzen van 2002 ongeveer 1800 euro (Bosselaar, 2007). Ook internationaal lijken er geen grote kostendalingen meer plaats te vinden, wat erop duidt dat de leercurve voor deze generatie zonneboilers grotendeels doorlopen is. Wel is er een groot verschil tussen de kosten in nieuwbouwprojecten en bestaande bouw. In projecten kan de prijs laag blijven en bij nieuwbouw zijn de installatiekosten beperkt omdat het meegenomen kan worden in het bouwproces van de woning. Voor consumenten, die aanschaf in een bestaande woning overwegen, kan de prijs echter oplopen tot meer dan 3000 euro.

### Woonconcepten

Zowel een zonnewoning als passiefbouw levert meerkosten op ten opzichte van de huidige bouwpraktijk in Nederland. Voor de vermindering van deze kosten zal Nederland ongetwijfeld voor een gedeelte kunnen meeliften op de ervaringen in het buitenland. Daar is de ontwikkeling van specifieke bouwonderdelen als extra isolerende kozijnen en deuren al volop gaande. Gezien de specifieke bouwtraditie in Nederland zal echter een belangrijk deel van de vermindering van de meerkosten moeten plaatsvinden door het opdoen van ervaring met deze bouwtechnieken in de Nederlandse bouw. Tot nu toe is dit leerproces in Nederland nog niet van de grond gekomen.

Dat geldt niet eens zozeer alleen voor geheel nieuwe woningconcepten. De bouw is evenmin trekker geweest van een voortvarender programma van veelal bekende energiebesparingsmaatregelen, maar meer een noodzakelijke volger van overheidsaanscherping van de normen. Het is reden dat het Platform Gebouwde Omgeving vooral aandacht besteed aan de houding van alle partijen met betrekking tot dergelijke maatregelen, die immers gezien de levensduur voor een belangrijk deel de lange termijn bepalen.

## 4.6 Samenhang tussen de activiteiten

Voor een analyse van de samenhang in de beschreven activiteiten worden de langetermijnscyclus en de kortetermijnscyclus (zie bijgaand schema) beschouwd op hun ontwikkeling en onderlinge verbanden.

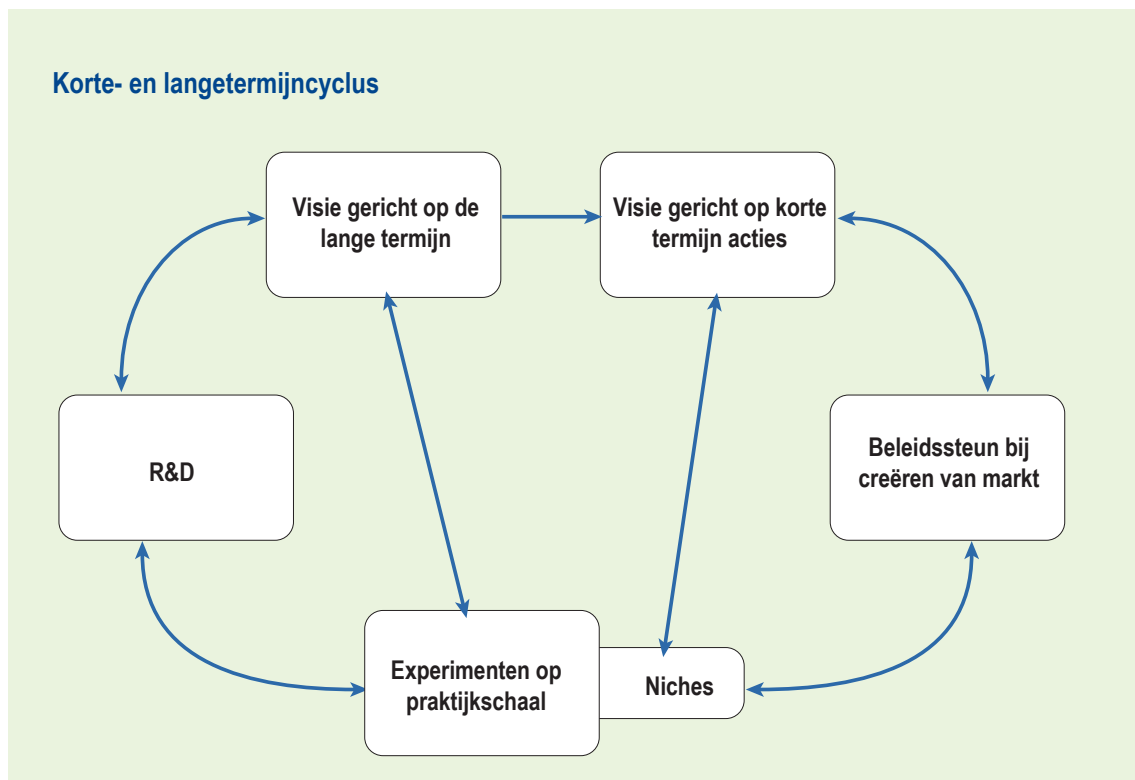
Zonne-energie is er al lange tijd en wordt ook nu door velen nog gezien als een interessante optie, wellicht zelfs dé optie voor duurzame energie in de toekomst. Al lange tijd lopen er R&D-programma's, waarmee een continue verbetering van rendementen en reductie van kosten worden bereikt. Het is een internationale ontwikkeling, waaraan Nederland heeft bijgedragen en nog steeds bijdraagt. Ook de stap naar de praktijk is gezet. Er is het nodige geleerd. Het heeft echter niet geleid tot concretisering van de overheidsvisie bij op de betekenis van zonne-energie op de lange termijn. De overheid heeft marktpartijen in verwarring gebracht. Er waren immers in een bepaalde periode wel en in een andere periode juist geen overheidsacties voor de korte en middellange termijn in de vorm van subsidies voor zonne-energie. Dat had te maken met verwachtingen over de bijdrage van de technologie aan doelstellingen. Vooral wind- en bio-energie kregen als goedkopere opties steun. Voor het realiseren van de Kyoto-doelstellingen en het geven van invulling aan het Regeerakkoord van Balkenende IV speelde zonne-energie geen rol.

In feite moet worden geconstateerd dat in een fase dat er vooral geleerd moest worden van experimenten de focus meer lag op marktcreatie. Er is geen geld vrijgemaakt voor goed afgebakende grootschalige experimenten met duidelijke leerdoelstellingen. Er is een subsidieregeling voor consumenten van panelen en collectoren opgezet om de aankoop te stimuleren. Op zich hoeft

het natuurlijk niet veel uit te maken of het een experiment of marktcreatie wordt genoemd. Ervaring met panelen in de praktijk heeft nut gehad in de leerprocessen. Er is voortgang bereikt in de leercurven en daar heeft Nederland ook aan kunnen bijdragen. Overigens was in deze periode sprake van een stapeling van subsidies. Die heeft zeker geen meereffect gehad. Hierdoor kwam bij de aanbodkant de nadruk steeds meer te liggen op het voldoen aan de grote productievraag.

Het beleid lijkt met een verkeerde verwachting te zijn opgezet. De ondersteuning van marktcreatie heeft vooral zin als na zo'n beginfase de markt het vervolgens zelf verder kan invullen, desnoods ondersteund door normen of verplichtingen vanuit de overheid, waarbij de kosten aanvaardbaar worden geacht. Dat is niet gebeurd. De broze Nederlandse markt is in feite in elkaar geklapt. Het kan natuurlijk zo zijn dat de ervaringen in de praktijk ertoe hebben geleid dat de overheid op basis daarvan (met name de kosten ten opzichte van alternatieven) zonne-energie gewoon niet meer zag zitten als optie, ook niet voor de lange termijn. Dan zouden de ervaringen in de praktijk aanleiding hebben moeten geven tot de conclusie, dat het toch nooit iets zou kunnen worden. Dat is echter niet zo. Neem zonnestroom. Er was geen duidelijke stagnatie in de ontwikkeling te herkennen. Hier heeft het beleid als management van een transitieproces een verkeerde aanpak gekozen. Het heeft ontbroken aan een financieringsstrategie voor de lange termijn. Daarin zou het kostenniveau voor zonne-energie in Nederland, dat moet worden bereikt voordat financiële overheidsondersteuning wordt vervangen door verplichtende maatregelen, leidraad moeten zijn.

Lange tijd leek het overheidsbeleid – maar helder uitgesproken is dit niet – de verdere ontwikkeling maar aan het buitenland over te laten. In dit licht zijn initiatieven als de roadmaps vanuit de branchevereniging en een concept als de zonnewoning, dat door NGO's wordt ondersteund pogingen om dit om te buigen. Met de publicatie van het werkprogramma *Schoon en Zuinig* wordt in ieder geval een nieuwe ambitie getoond met het plan voor duurzame energietechnieken in 100.000 huishoudens. Momenteel krijgen plannen voor een nieuwe stimuleringsregeling als



opvolger van de MEP vorm, de Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie (SDE). De regeling is gepubliceerd in de Staatscourant. De uitwerking en budgettering vinden in het voorjaar van 2008 plaats. Voor zonnestroom lijkt de ambitie de richting op te gaan van 50-80 MW tot 2012, geregeld met een kosteneffectieve vergoeding voor aan het net teruggeleverde elektriciteit (ECN/MNP, 2007). Daarmee lijkt in het werkprogramma de link tussen de korte en de lange termijn hersteld te worden.

Voor woonconcepten ligt de situatie anders. Voor de passiefwoning is al een ontwikkelingscyclus geweest, bijvoorbeeld in Duitsland en Oostenrijk. In die landen is het stadium van marktcreatie nadrukkelijk in de vorm van financiële ondersteuning en zelfs de overgang naar verplichting (enkele provincies in Oostenrijk) gezet. Voor toepassing van passiefbouw in Nederland zijn er niet zozeer veel onderzoeken en experimenten nodig, maar dient vooral het leerproces in de bouwwereld nog vorm te krijgen. Hiervoor moet de korte-termijnscyclus op gang worden gebracht. Tot voor kort was er nog geen toekomstvisie van de Nederlandse overheid op energiezuinig bouwen, waardoor acties in de richting van marktcreatie nog geen echte basis hadden. Met *Schoon en Zuinig* is een toekomstbeeld neergezet waarin met een geleidelijke aanscherping van de energiezuinigheid van nieuwbouwwoningen het uiteindelijke doel, een energieneutrale woning in 2020, wordt beoogd. Woonconcepten als de zonnewoning en passiefwoning passen goed in dit ontwikkelingstraject.

## 5 Motivatie voor systeemverandering

### 5.1 Stappen op weg naar inrichting van de systeemoptie

#### Zonnestroom en zonnewarmte

Al sinds de jaren negentig is zonne-energie in opkomst maar de bijdrage aan de Nederlandse energievoorziening blijft tot op heden beperkt. *tabel 5.1* geeft een overzicht van de ontwikkelingen in Nederland.

In 2000 stond in Nederland een totaal vermogen van 13 MW aan PV opgesteld, waarvan 18% autonoom en 82% netgekoppeld. De bijdrage aan de jaarlijkse elektriciteitsproductie was 8 GWh. In 2005 was het vermogen toegenomen tot 51 MW met een bijdrage van 34 GWh aan de elektriciteitsproductie. In totaal werd in 2005 door PV 297 TJ aan fossiele energie vermeden, een aandeel van 0,4% van de hoeveelheid duurzame energie en minder dan 0,001% van het totale binnenlandse energiegebruik in Nederland. Het nu opgestelde vermogen omvat minder dan een promille van het potentieel binnen de beschouwde systeemoptie. Bovendien is de jaarlijkse toename tussen 2003 en 2005 minder geweest dan in de jaren daarvoor. Dit alles maakt duidelijk dat van een take-off in Nederland geen sprake is.

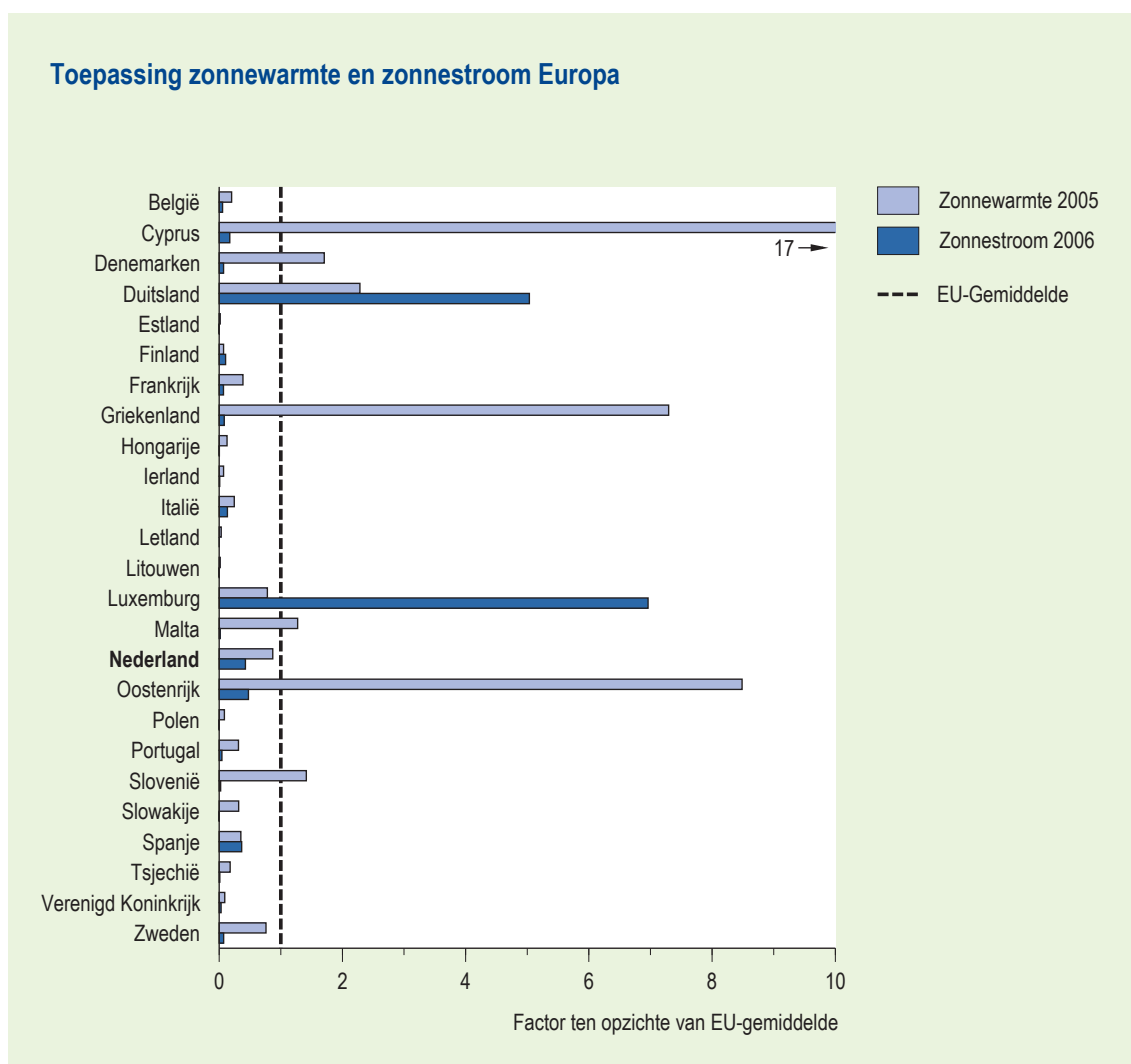
Voor zonnewarmte verloopt de toename in Nederland tamelijk geleidelijk. In 2005 was het vermeden verbruik van fossiele energie opgelopen tot 749 TJ, bijna 1% van de totale hoeveelheid duurzaam opgewekte energie in Nederland en 0,024% van de jaarlijks in Nederland gebruikte energie. Ook voor zonnewarmte geldt dat met het in 2005 opgestelde collectoroppervlak slechts een zeer beperkt aandeel van het potentieel benut wordt en is er nog geen echte take-off in Nederland op gang gekomen.

Op Europees niveau scoort Nederland met de zonne-energie toepassingen dichtbij de gemiddelden per inwoner (zie *figuur 5.1*). Gemiddeld is in Europa 37,6 m<sup>2</sup> collector per 1000 inwoners geïnstalleerd (2005) en 7,38 Wp/inwoner aan zonnestroom (2006). Voor zonnewarmte zijn Cyprus, Griekenland, Oostenrijk en Duitsland de koplopers. Voor zonnestroom lopen Luxemburg en Duitsland voorop. Gezien de beperkte aandelen in de totale elektriciteitsproductie is in die landen evenmin sprake van een echte take-off naar systeemverandering. In Europa is Duitsland voor beide technieken de grootste producent.

De markt in Nederland blijft achter, maar door een redelijk goede markt in de negentiger jaren, staat Nederland nog in de middenmoot tussen landen als Zweden en Spanje. Aangezien de marktgroei in de meeste andere landen veel hoger is, is het de verwachting dat Nederland zonder extra impulsen verder zal terugzakken (Bosselaar, 2007).

**Tabel 5.1 Ontwikkelingen voor zonnestroom en zonnewarmte** CBS, 2007.

		Eenheid	1990	2000	2003	2005	2006
Zonnestroom	Opgesteld vermogen	MW	0,8	13	46	51	52
	Elektriciteitsproductie	GWh	0	8	31	34	35
	Vermeden Primaire energie	TJ	3	66	270	295	298
Zonnewarmte	Opgesteld collectoroppervlak	1000 m <sup>2</sup>	76	360	524	620	646
	Vermeden Primaire energie	TJ	73	421	617	752	787



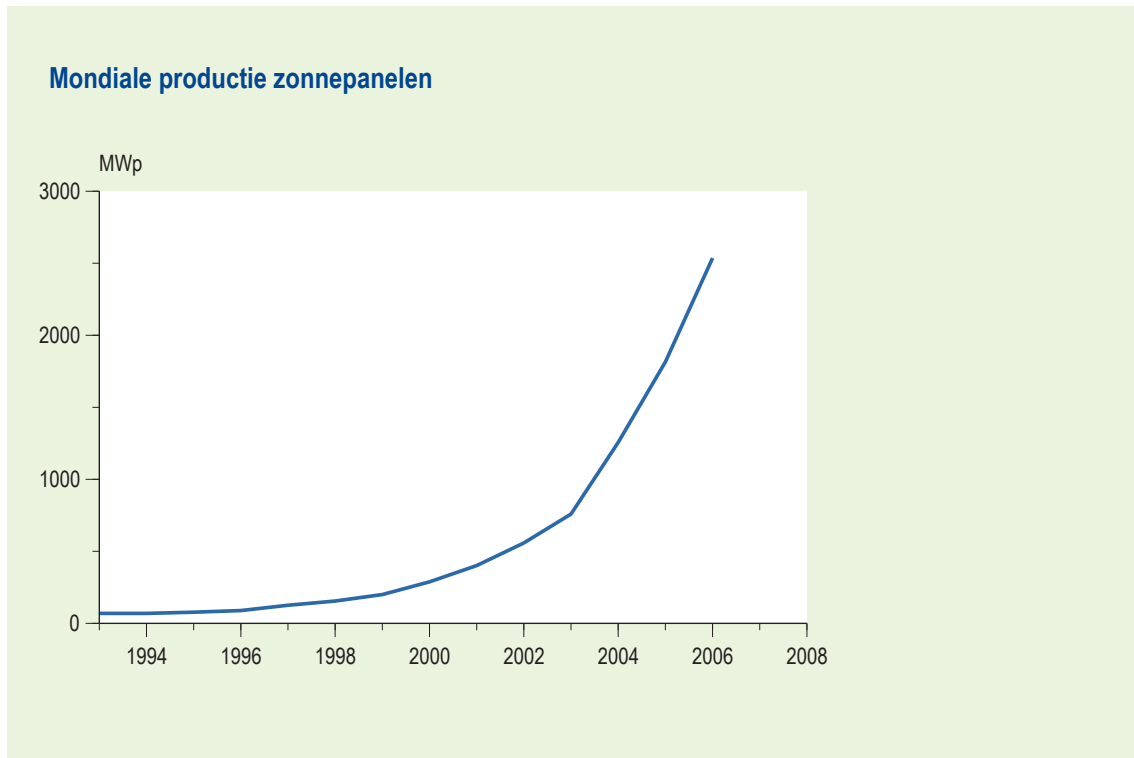
**Figuur 5.1 Toepassing van zonnestroom en zonnewarmte in de EU, voor zonnecollectoren heeft Cyprus met factor 17 de hoogste waarde. Observ'ER, 2007.**

Landen als Japan en Duitsland hebben in de afgelopen jaren een pro-actief stimuleringsbeleid gevoerd voor de promotie van zonnestroom. Overheidsregulering (met name in de vorm van feed-in tarieven) speelt hierbij een grote rol. Het beleid biedt deze landen een aantal voordelen zoals de versteviging van hun wereldmarktpositie en het scheppen van werkgelegenheid.

De productie van PV op de wereldmarkt is van 3,3 MWp/jaar in 1980 gegroeid naar meer dan 2500 MWp/jaar in 2006 (Observ'ER, 2007). Daarbij is de laatste jaren wel sprake van versneling in de toename. *figuur 5.2* laat recente ontwikkelingen zien. Japan is de nummer 1 in de productie.

### Woonconcepten

Van zonnewoningen en passiefhuizen is het aantal in Nederland nog beperkt. Ze hebben vooral het karakter van demonstratieprojecten (zie paragraaf 4.4). In enkele andere Europese landen is de situatie anders. In Duitsland is het aantal passiefhuizen aanzienlijk en in Oostenrijk wordt het inmiddels beschouwd als de standaard voor nieuwbouw en renovatie. Er zijn in Duitsland en Oostenrijk de laatste tien jaar al meer dan 10.000 'Passivhäuser' gebouwd. Ook in België en Scandinavië neemt het aantal passiefhuizen elk jaar toe met tientallen procenten.



Figuur 5.2 Ontwikkeling van de productie van zonnepanelen. Observ'ER, 2007.

## 5.2 Motivatie voor toepassing van zonnestroom

De resultaten van de voorontwikkelingsfase van de transitie zouden de motivatie bij partijen in de praktijk moeten vergroten om ook stappen te gaan zetten voor de toepassing van zonnestroom. Zo'n concrete stap is bijvoorbeeld het besluit van een bedrijf om te investeren in een productielijn voor zonnecellen. Een andere stap is de aanschaf van zonnepanelen door huiseigenaren. Uiteraard staan deze stappen allerm minst los van elkaar, hoewel er binnen Nederland voor kan worden gekozen niet in te zetten op productie binnen de grenzen en slechts de toepassing te ondersteunen. Er is wel een relatie tussen het investeren in Nederland en het creëren van een Nederlandse markt, al is deze niet een-op-een. Voor de ontwikkeling van BoS ligt de situatie anders. Hier is het zeker belangrijk om in Nederland ervaring op te doen en productietechnieken te verbeteren, die specifiek zijn voor de Nederlandse markt.

Aan de hand van een *krachtenveldanalyse* kan een beeld worden geschetst van de ontwikkeling van de motivatie voor zo'n stap in de praktijk. Specifieke beleidsinstrumenten kunnen voor extra stimulansen zorgen. Gekozen is voor uitwerking van de overweging om in de productie van zonnecellen te investeren. In *tabel 5.2* is het overzicht van de beschouwde krachten en zijn de achterliggende bepalende factoren gegeven. In *figuur 5.3* is de ontwikkeling in de tijd van de krachten indicatief weergegeven. De figuur laat zien dat er in de praktijk geen duidelijke positieve ontwikkeling is geweest in de motivatie om dit deel van de systeemoptie te realiseren. De ontwikkeling toont een nogal wisselend beeld.

Dat beeld wordt bevestigd in de praktijk. Zo stapte Shell in 2003 uit de productie voor Si-zonnecellen. Ze richt zich nu, in het buitenland, geheel op de CIS-technologie. Het Duits/Nederlandse bedrijf Solland Solar maakte echter een start met de productie van Si-zonnecellen. Bij deze start eind 2005 was de productiecapaciteit circa 20 MWp/j. In 2007 had het bedrijf een productie-



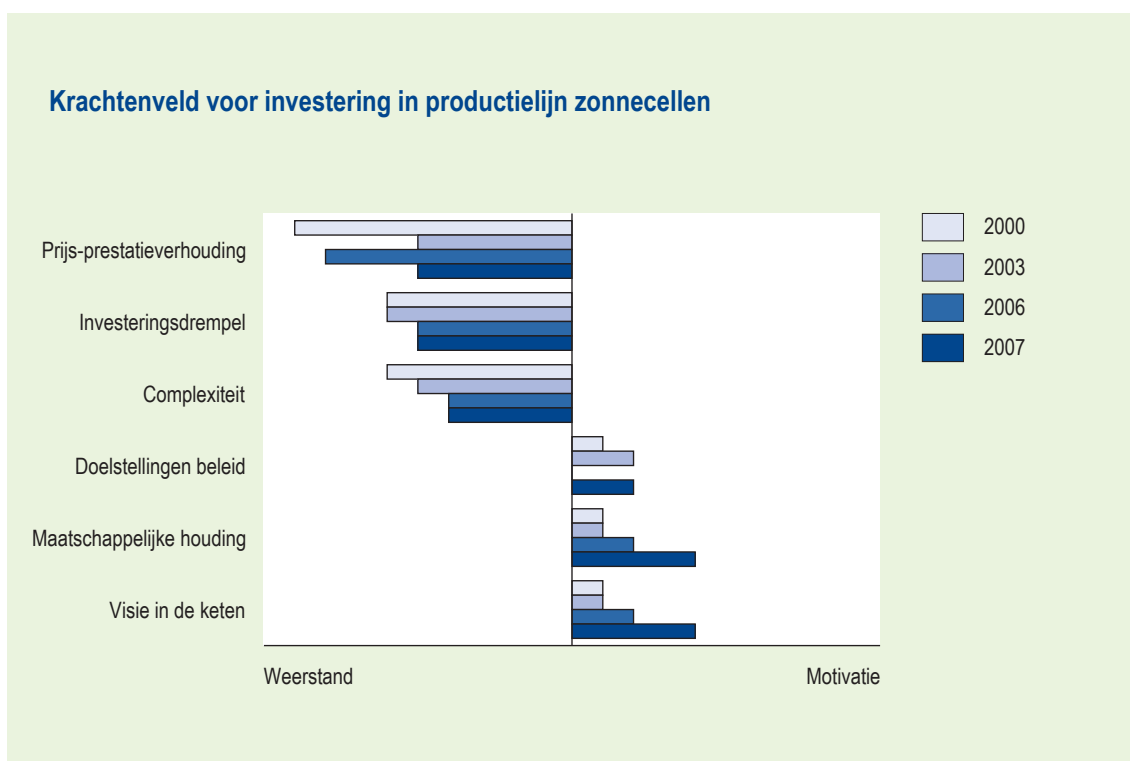
**Tabel 5.2 Krachtenveldanalyse voor de investering in het opzetten van een productielijn voor zonnecellen.**

Kracht	Kenmerken en ontwikkelingen 2000-2007	Beleid (NI + EU)
<b>Prijs-prestatieverhouding</b>	De kostprijs is afgenomen en het rendement toegenomen. Ook de energierugverdiendtijd is van circa 6 jaar afgenomen tot circa 3-4 jaar (kristallijn Si). Na 2003 is (door grote Europese vraag en een tekort aan productiecapaciteit voor Si) de prijs niet gedaald. Nu liggen terugverdiendtijden nog erg hoog. Subsidiëring van de marktintroductie is er kort geweest maar de onzekerheid rondom de continuïteit daarvan werkt niet positief uit. Pas over een jaar of tien wordt verwacht dat PV kan concurreren met de Nederlandse consumentenprijs voor fossiele elektriciteit.	Tot 2003 (relatief korte periode) nationale en regionale subsidies voor aanschaf van zonnepanelen. Daarna enkel regionale subsidies voor aanschaf van installaties door consumenten. Terugleververgoeding tot 3000 kWh is per 1 juli 2004 vastgelegd in de aangepaste elektriciteitswet. Met ingang van augustus 2006 voor nieuwe projecten geen MEP-subsidie op de geproduceerde elektriciteit. Een nieuwe subsidieregeling is in ontwikkeling (SDE). Algemeen: tal van belastingmaatregelen krikken de consumentenprijs van fossiele energie op.
<b>Investeringsdrempel</b>	Is groot, start van productie is kapitaalintensief.	Er zijn wel mogelijkheden voor subsidie en ondersteuning, maar deze hebben beperkte invloed op de investeringsbeslissing.
<b>Complexiteit</b>	Inpassing PV in de gebouwde omgeving blijft een aandachtspunt. Ingewikkelde procedures rond de aanschaf van een installatie, die elektriciteit levert, zijn nog onvoldoende vereenvoudigd. Kennis bij architecten, stedenbouwkundigen, projectontwikkelaars, woningbouwcorporaties en installateurs over zonne-energie is in opbouw. Er zijn slechts enkele voorlopers.	Subsidieregelingen EET, DEN en EOS. Zonnestroom is een speerpunt in het EOS- subsidiebeleid. Tot 2003 was het nodig om voor de plaatsing van zonnepanelen een gemeentelijke vergunning aan te vragen, daarna is dat in de meeste gevallen vergunningsvrij.
<b>Doelstellingen overheid</b>		Energiebesparings-, klimaat- en duurzame-energie doelen zijn gerelateerd aan dit onderwerp. Er waren doelstellingen voor de plaatsing van aantallen zonnepanelen in 2020. Het convenant tussen alle belanghebbenden is echter in 2001 niet verlengd. In het werkprogramma <i>Schoon en Zuinig</i> is zonnestroom onderdeel van de doelstellingen voor duurzame energie
<b>Maatschappelijke houding</b>	Klimaatprobleem wordt urgenter. Bij de burger heeft zonnestroom een positief imago. Kopers zouden er zelfs een hogere woningprijs voor over hebben.	Ondersteuning overheid voor communicatie over het klimaatprobleem.
<b>Visie in de keten</b>	In Nederland heeft de werkgroep PV in 2006 een visiedocument met verwachtingen tot 2030 opgesteld. De branchevereniging Holland Solar heeft eveneens een visiedocument uitgebracht. Grote spelers blijven afzijdig. Duurzame energie wordt meer en meer als groeimarkt gezien.	Een heldere korte- en langetermijnvisie van de overheid met bijbehorende zekerheden van subsidieverlening ontbreekt grotendeels. Wel is op Europees niveau een visiedocument gepresenteerd. Initiatief tot oprichting van werkgroep PV (onder het energietransitieplatform Duurzame elektriciteitsvoorziening).

capaciteit van 60 MWp/j. Er staan grote uitbreidingen op de rol. Scheuten Solar investeert in Duitsland in Si-zonnecellen maar is recent in Venlo een proeffabriek gestart voor CIS-technologie (koper-indium-disulfide). APA gaat zich in Leeuwarden richten op CIS, maar dan een techniek die gebruik maakt van diselenide.

De ontwikkeling in het krachtenveld heeft veel te maken met veranderingen in en onzekerheden over het ondersteunende beleid. In 2001 is de Energiepremieregeling uitgebreid met een vergoeding voor de aanschaf van zonnepanelen (en zonneboilers) door consumenten. In 2003 werd deze ingetrokken, omdat het uitgetrokken bedrag werd overschreden. Er is daarna geen landelijke subsidieregeling meer geweest. Wel geven enkele gemeenten nog subsidie aan hun inwoners voor installatie van zonnepanelen. Ook de MEP is in 2006 opgeheven, met de aankondiging dat een nieuwe regeling tot eind 2008 op zich zou laten wachten (Brief EZ minister Maria van der Hoeven aan Tweede Kamer over de voortgang van een nieuwe stimuleringsregeling voor duurzame energieproductie). In het werkprogramma *Schoon en Zuinig* is bevestigd dat er weer ondersteuning van de verdere ontwikkeling van de leercurven van zonnestroom komt. Zonnestroom zal deel uitmaken van de nieuwe Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie (SDE) die naar verwachting in het voorjaar van 2008 in werking zal treden. In de concept ministeriele regelingen die minister Van der Hoeven eind januari naar de tweede kamer heeft gestuurd worden in 2008 kleinschalige zonnestroominstallaties (0,6 kWp - 3,0 kWp) voor 10 MW



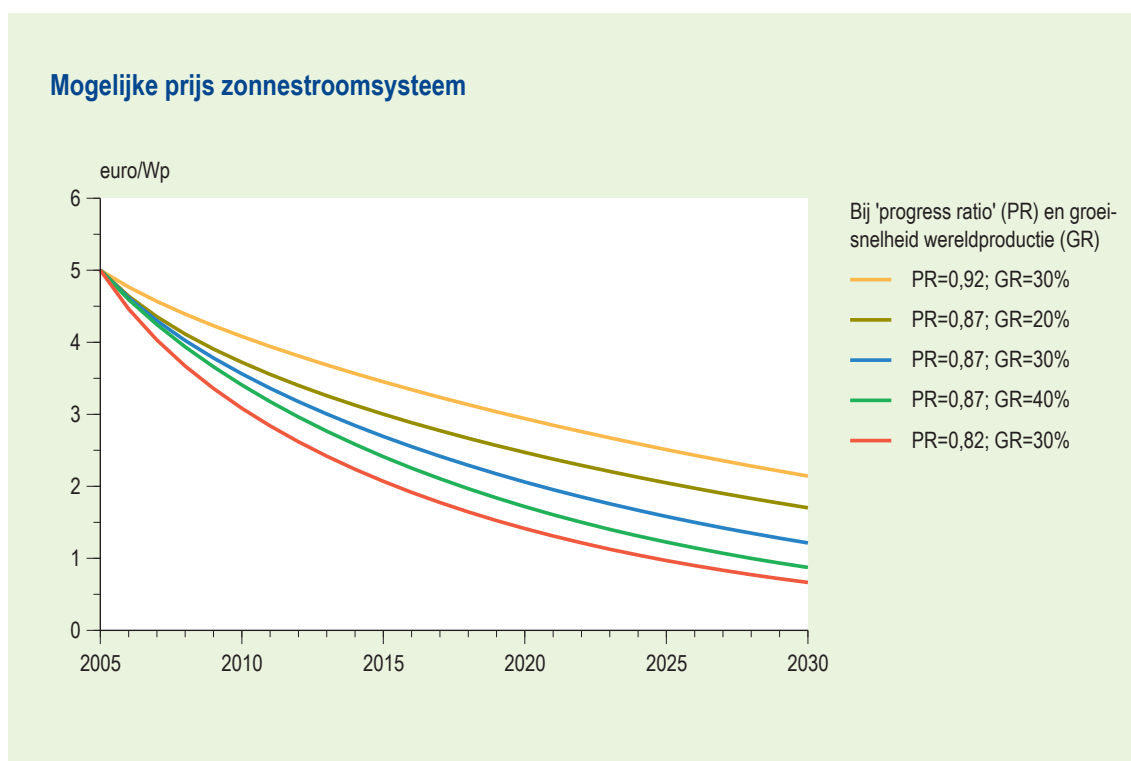


**Figuur 5.3** Indicatieve schets van de ontwikkeling in het krachtenveld rond de beslissing om te investeren in een fabriek voor de productie van zonnecellen. Toelichting in Tabel 5.2.

gestimuleerd met een verwacht subsidiebedrag van 33 eurocent/kWh. Als toekomstperspectief wordt tot 2012 gesproken over stimulering van zo'n 70 MW zonnestroomvermogen. De daarbij verwachte structurele uitgaven zijn 2,8 miljoen euro in 2008 oplopend naar 19 miljoen euro/jaar in 2014.

In de ons omringende landen is wel steeds subsidie voor zonnestroom mogelijk geweest. Het Duitse systeem biedt de eigenaar van zonnepanelen een langdurig gegarandeerde terugleververgoeding en wordt algemeen als het beste marktintroductiesysteem beschouwd. Momenteel bestaat er in vele landen een kosteneffectieve terugleververgoeding voor elektriciteit: naast Duitsland ook in Vlaanderen, Spanje, Portugal, Italië en Griekenland.

Het wegvallen van de Nederlandse stimuleringsregelingen EPR en MEP heeft een sterk verminderde afzet van zonnepanelen tot gevolg gehad. De aantrekkelijkheid voor een investering in een productiefaciliteit is in die zin weggefallen en geen motivator meer zoals het dat bij veel andere landen wel is. Hoewel de ontwikkelingen bij R&D in Nederland goed gestimuleerd worden, loopt het vervolgtraject daarbij uit de pas. Een take-off laat dan ook op zich wachten. Begin 2007 gaven producenten Scheuten en Solland Solar aan minister Van der Hoeven (EZ) te kennen dat ze er over dachten om productie buiten Nederland te plaatsen bij onvoldoende steun voor hun uitbreidingsplannen (Stromen, 2007a; EZ, 2007). Hoewel ze daarbij duiden op de onzekerheid rond marktintroductiesubsidies, stelden zij ook dat een aspect als investeringskosten van groot belang was. Naar aanleiding van het dreigende vertrek van Solland Solar en Scheuten is eventuele ondersteuning de afgelopen periode wel een actiepoint geweest bij het ministerie van EZ, maar lijkt deze niet doorslaggevend geweest.



**Figuur 5.4** Leercurve voor de investeringskosten van zonnestroomsystemen, bij verschillende groeisnelheden van de wereldproductie (GR) en verschillende progress ratios (PR). Zie Tabel 5.3 voor gekozen parameters.

Het is niet alleen de huidige situatie die bepalend is voor de motivatie om te investeren. Verwachtingen spelen een grote rol. Verwachtingen omtrent het belang van duurzame energie bijvoorbeeld. Door de versterkte aandacht voor het klimaatprobleem en de voorzieningszekerheid is dat vergroot. Dat er tal van discussies oplaaien over de negatieve effecten van bio-energie kan zonne-energie juist extra impulsen geven.

Er zijn ook verwachtingen over de prijs-prestatieverhouding. Op basis van ervaringsgegevens met vele technieken wordt in de leercurve een verband verondersteld tussen de productie-omvang en de prijs-prestatieverhouding. Het is daarom de verwachting dat de kosten van zonnestroomsystemen verder zullen dalen in de toekomst. *Figuur 5.4* geeft de ontwikkeling van de investeringskosten weer bij verschillende 'progress ratios' (PR) en verschillende groeisnelheden (GR).

De PR-waarde voor panelen, die meer dan de helft van de kosten van een zonnestroomsysteem uitmaken, heeft gemiddeld over een langere periode rond de 0,87 gelegen en de GR is de laatste jaren op wereldschaal ruim boven de 30% geweest. Toch is die ontwikkeling uiteraard nog geen garantie voor de korte of de lange termijn. Recent is bijvoorbeeld de prijs van silicium als belangrijke grondstof juist gestegen door een tekort op de markt als gevolg van de beperkte productiecapaciteit van silicium. Het tekent de afhankelijkheid van andere partijen in de productieketen. Dergelijke oorzaken van prijsvariaties worden echter op de lange termijn wel uitgemiddeld. Onzekerder is of de PR-waarde daadwerkelijk rond 0,87 blijft liggen. De afgelopen vijf jaar is dit niet het geval geweest, hoewel ook deze periode in zo'n langetermijnontwikkeling te kort is voor harde conclusies. Bovendien moet worden benadrukt dat voor *figuur 5.4* met vaste GR-waarden is gerekend, terwijl in de praktijk de groei op termijn zal afvlakken. Tot 2030 leidt dit echter niet tot irreële waarden.

**Tabel 5.3** Mogelijke toekomstige ontwikkelingen in de prijs-prestatieverhouding van zonnestroom

Parameters	Dimensie	Waarde	Jaar, waarin de elektriciteitsprijs voor consumenten is bereikt	Meerinvestering in miljoen euro (boven consumentenprijs cumulatief vanaf 2008 tot dat jaar)
<b>Basisveronderstellingen</b> (cursief uitgangswaarden 2005):			2020	840
<i>prijs installatie</i>	€/Wp	5		
<i>elektriciteitsprijs consumenten</i>	€/kWh	0,17		
<i>groei elektriciteitsprijs</i>	%/jaar	1		
<i>cumulatieve wereldproductie</i>	GWp	4		
<i>jaarlijkse wereldproductie</i>	GWp/jaar	1,5		
<i>groei wereldproductie (GR)</i>	factor/jaar	0,3		
<i>opbrengst systeem</i>	kWh/kWp	800		
<i>levensduur systeem</i>	jaren	25		
<i>onderhoud (t.o.v. investering)</i>	%	1		
<i>progress ratio (PR)</i>	factor	0,87		
<i>rente</i>	%	5		
<i>bijdrage Nederland in mondiale meerkosten</i>		0,5		
<b>Variaties op de basisveronderstellingen</b>				
<i>Huidige prijs installatie</i>	€/Wp	4,5	2019	490
		5,5	2022	1330
<i>Groei elektriciteitsprijs</i>	%/jaar	0	2023	1470
		2	2018	550
<i>Groei wereldproductie GR</i>	Factor/jaar	0,2	2024	770
		0,4	2018	880
<i>Opbrengst systeem</i>	kWh/kWp	750	2021	1080
		850	2019	660
<i>Levensduur systeem</i>	Jaren	20	2022	1260
		30	2019	630
<i>Onderhoud</i>	%	0,5	2019	650
		2	2022	1320
<i>Progress ratio PR</i>		0,82	2016	270
		0,92	2029	6700
<i>Rente</i>	%	4	2019	590
		6	2022	1160
<i>Aandeel Nederland per capita</i>	%	0,26	2020	440

Aan de hand van de leercurve kunnen mogelijke toekomstige ontwikkelingen in beeld worden gebracht. Deze zijn echter afhankelijk van een scala aan parameters. Ter illustratie hiervan is een rekenexercitie uitgevoerd. Bij deze exercitie is, voor verschillende sets van parameters, het jaar waarin het prijsniveau van met zonnepanelen opgewekte elektriciteit gelijk wordt aan de elektriciteitsprijs voor consumenten berekend. Ook werden de meerkosten aan investeringen (boven die passend bij het niveau van de consumentenprijs) die cumulatief vanaf 2008 moeten worden gemaakt in Nederland uitgerekend. Daarbij is verondersteld dat Nederland 0,5% (ongeveer het aandeel in het huidige energiegebruik) van de mondiale meerkosten bijdraagt. Dit is exclusief financiering van R&D. De uitgangspunten voor de berekening (de basisvariant) en de resultaten zijn gegeven in *tabel 5.3* met daarbij de gevoeligheid van deze resultaten voor mogelijk optredende variaties in diverse parameters. De resultaten zijn vooral zeer gevoelig voor de PR-waarde.

Volgens de basisvariant zou het niveau van de consumentenprijs worden bereikt in 2021. De in het werkprogramma *Schoon en Zuinig* aangegeven verwachting dat dit prijsniveau over tien jaar wordt bereikt, is niet onmogelijk maar wel tamelijk optimistisch. De totale meerinvestering

**Tabel 5.4 Financiële overheidsmiddelen voor de periode 2008-2011 volgens het werkprogramma Schoon en Zuinig (2007), waarvan een deel beschikbaar kan komen voor zonnestroom**

Onderdeel	Beschikbare middelen (in miljoen euro)				
	2008	2009	2010	2011	Totaal
SDE	10	54	102	160	326
Gebouwde omgeving	14	24	38	45	121
Innovatie: energie & klimaat	15	28	42	63	148
Ontwikkelingssamenwerking					500
	<b>Gevraagde middelen bij aandeel Nederland in mondiale kosten zonnestroom 0,26-0,5% berekend volgens basisvariant (Tabel 5.3)</b>				
Kosten boven consumentenprijs	20-38	23-44	26-50	30-58	99-190
Kosten boven 5 eurocent/kWh	30-58	37-71	44-86	54-104	165-319

tot 2020 bedraagt met de gekozen uitgangspunten 170 miljard euro wereldwijd en 840 miljoen euro voor Nederland. In de eerste jaren zou dit neerkomen op 40-50 miljoen euro per jaar. In de basisvariant zouden in 2011 al 140.000 woningen met een gemiddeld oppervlak aan panelen van 10 m<sup>2</sup> nodig zijn om dit introductietempo ook voor daadwerkelijke toepassing in Nederland te volgen. In *Schoon en Zuinig* wordt voor duurzame energie algemeen in bestaande bouw gestreefd naar toepassing in 100.000 woningen in 2011. Een overzicht van de financiële middelen volgens datzelfde werkprogramma staat in *tabel 5.4*.

Een kostprijs van rond de 5 eurocent/kWh zou nodig zijn om op vergelijkbare productiekosten in Nederland als in de huidige situatie te komen (waarmee het geen collectief geld meer zou kosten). Het is overigens reëel om te veronderstellen dat die referentie door andere maatregelen in de elektriciteitssector omhoog zou kunnen gaan tot in de buurt van 8-10 eurocent/kWh (denk aan CCS bij kolencentrales). Bedacht moet worden dat in de zonnigste streken van Zuid-Europa de productiekosten van zonnestroom bijna een factor 2 lager kunnen liggen. Een prijs-prestatieverhouding vergelijkbaar met de consumentenprijs in Nederland is vergelijkbaar met het niveau van verwachte productiekosten voor elektriciteit in de zonnigste streken. De meerkosten liggen daar dus lager.

Als de totale maatschappelijke meerkosten (als investeringen) worden berekend ten opzichte van een prijs, die oploopt van 5 tot 10 eurocent/kWh, dan zouden deze in de gekozen basisvariant voor Nederland in het geval van toepassing binnen de Nederlandse grenzen neerkomen op ongeveer 2,5 miljard euro tot 2020.

De in *tabel 5.4* genoemde middelen zijn niet gereserveerd voor zonnestroom of zonne-energie. Daarom is het onduidelijk welke ondersteuning hiervoor daadwerkelijk beschikbaar zal komen.

Naast de aanschafkosten (en subsidies) lijken bouwkundige aspecten de belangrijkste knelpunten te vormen. Bovendien krijgen de meeste architecten in hun carrière nog steeds maar incidenteel te maken met een gebouwontwerp waar zonnestroommodules ingepast moeten worden. Technische knelpunten voor architecten en installateurs zijn bijvoorbeeld de randafwerking van zonnepanelen en de aansluiting van panelen op de overige dakcomponenten zoals dakramen, dakkapellen, zonnecollectoren en de uitmondningen van ventilatie- en rookgaskanalen. Het merendeel van de architecten voelt zich beknot in hun creativiteit. Slechts enkelen passen zonnestroom standaard toe in hun gebouwontwerp (Stedebouw en Architectuur, 2001; Kaan, 2007).

Verder waren er de afgelopen jaren nogal wat technische problemen te overwinnen in de praktijk. De belangrijkste waren de waterkerende functie van daken, de brandveiligheid en de levensduur van omvormers. Zo bleek bijvoorbeeld uit onderzoek bij vakantiepark de Groene Leguaan in Stavoren dat de installatie en de plaats van de inverter aan het zonnepaneel even belangrijk zijn als het omzettingsrendement van het paneel. De (gegarandeerde) levensduur van 10-15 jaar van veel inverters werd niet gehaald en hoge uitvalpercentages kwamen al na 3-4 jaar voor. Hoewel in theorie de inverter zo dicht mogelijk bij het zonnepaneel moet zitten om kabelverliezen zo laag mogelijk te houden, blijkt uit de praktijk dat als de inverter vlak bij het stopcontact zit, installatie en reparatie gemakkelijker en goedkoper zijn uit te voeren.

Wat betreft de acceptatie van zonne-energie op woningen blijkt ongeveer de helft van de bewoners hun woning en wijk meer te waarderen door de toepassing van zonnepanelen (Kets et al. 2005). Wel lijken de bewoners de toepassing van zonnepanelen op hun dak soms minder op prijs te stellen doordat men bijvoorbeeld op het betreffende dakvlak geen dakkapel kan plaatsen. De esthetische uitstraling van zonnestroomsystemen, zoals toegepast binnen de wijken, wordt meestal als positief ervaren: de evenwijdig aan het dak geplaatste voldaksystemen –met donkerkleurige zonnecellen, zwartkleurige folie en frame – worden daarbij het meest gewaardeerd. Een goede integratie in het dakvlak of het ontwerp wordt positief beoordeeld. Over de rol van de zichtbaarheid van panelen wordt echter verschillend gedacht.

De toepassing van zonnestroom lijkt over het algemeen geen doorslaggevende rol bij de keuze voor een woning. Kopers zijn over het algemeen bereid iets extra te betalen voor de toepassing van zonnestroom: de meest genoemde bedragen komen overeen met een terugverdientijd van vier jaar. Huurders zijn over het algemeen niet bereid per jaar meer te betalen dan de zonnestroomsystemen per jaar opleveren. De onduidelijkheid over de teruglevering van energie aan het net had een duidelijk negatieve invloed op de waardering van zonnestroom. Bewoners stellen de toepassing van zonnestroom meer op prijs wanneer zij zelf voordeel ervan hebben door een lagere energierekening. Dit bevestigt het nut van een constructie waarin bewoners de door zonnepanelen geproduceerde elektriciteit kunnen terugleveren aan het net (Kets et al., 2005).

### 5.3 Motivatie voor toepassing van zonnecollectoren in woningen

De ontwikkelingen met zonnewarmte zijn geanalyseerd vanuit het gezichtspunt van de consument. Zonnecollectorsystemen worden immers al door verschillende fabrikanten op de markt gebracht. Hoewel de afwegingen van consumenten een iets ander karakter hebben dan de afwegingen van bedrijven, is er in dit geval voor gekozen dezelfde krachten te benoemen en daarbij de invulling toe te spitsen op consumenten. *Tabel 5.5* laat het resultaat zien en *figuur 5.5* de (indicatieve) invulling van de krachten in de tijd. Bedacht moet overigens worden dat de keuze voor zonnecollectoren in nieuwbouw vooral door projectontwikkelaars wordt gemaakt.

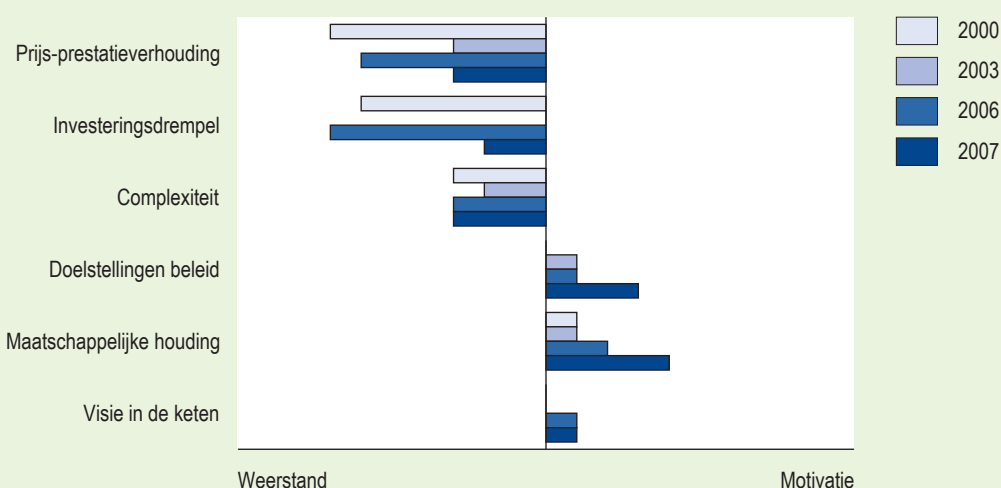
De zonneboiler wordt door verschillende fabrikanten in een commerciële versie op de markt gebracht, maar net als bij zonnestroom heeft ook hier in de periode 2000-2006 geen take-off plaatsgevonden. Vanaf 2001 werd de aanschaf van zonne-energie-installaties door consumenten gesubsidieerd, zowel voor zonnepanelen als zonneboilers met de Energiepremieregeling (EPR). Deze EPR is echter in 2003 weer ingetrokken. Dit is niet de eerste keer dat subsidies werden ingetrokken: Branchevereniging Holland Solar refereert aan de subsidie voor zonneboilers als een ‘knipperlicht’ (Holland Solar, 2007).

Momenteel kost het twee- tot drieduizend euro om een zonneboiler te kopen en te installeren. In projecten kan de prijs laag blijven en bij nieuwbouw zijn de installatiekosten beperkt, omdat installatie kan worden meegenomen in het bouwproces van de woning. Voor een individuele klant is het lastig om een installateur te vinden die een zonneboiler wil plaatsen. Over het alge-

**Tabel 5.5 Krachtenveldanalyse voor de aanschaf van zonnecollectoren door consumenten**

Kracht	Kenmerken en ontwikkelingen 2000-2007	Beleid (NI + EU)
<b>Prijs-prestatieverhouding</b>	De terugverdientijd is met 8-20 jaar te lang voor de meeste consumenten. Deze is in de afgelopen periode nauwelijks omlaag gegaan.	Energiebelastingmaatregelen. Van 1988-2003 subsidie voor aanschaf van zonnecollectoren, daarna niet meer. Een nieuwe subsidieregeling is in ontwikkeling.
<b>Investeringsdrempel</b>	Een bedrag van meer dan 2000 euro is voor vele, maar lang niet alle consumenten goed op te brengen.	Subsidieregelingen (zie boven) verlagen de drempel.
<b>Complexiteit</b>	De installatie is technisch tamelijk eenvoudig, maar combinatie met gasverwarming blijft noodzakelijk, waardoor het geheel wel complexer wordt. Problemen met hoog gewicht en technisch lastige installatie blijven. Installateurs hebben weinig animo voor en ervaring met zonneboilers. Een zonneboiler heeft geen invloed op comfort van de gebruiker en bij goede installatie en onderhoud evenmin op risico op legionella (maar het is onzeker in hoeverre dat bekend is).	
<b>Doelstellingen overheid</b>		Algemene overheidsdoelstellingen voor DE, klimaat of energiebesparing geven net als convenanten met producenten nauwelijks impuls aan consumenten.
<b>Maatschappelijke houding</b>	Klimaatprobleem wordt urgenter. Bij de burger heeft zonne-energie wel een positief imago (mede dankzij de zonneboilercampagne).	Er zijn geen specifieke communicatie-instrumenten ingezet ter promotie van zonnecollectoren.
<b>Visie in de keten</b>	Ondanks het positieve imago van zonne-energie leeft bij burgers en huizenbouwers nog steeds de visie dat zonne-energie voorlopig niet echt gangbaar wordt.	Visiedocumenten van de overheid zijn vaag over zonnecollectoren. In <i>Schoon en Zuinig</i> wordt wel weer een ambitie voor duurzame energie uitgesproken.

### Krachtenveld voor aanschaf zonnecollector



**Figuur 5.5** Indicatieve schets van de ontwikkeling in het krachtenveld rond de beslissing om te investeren in een aanschaf van een zonnecollector door consumenten. Toelichting in tabel 5.3.

meen heeft de installateur weinig ervaring en vraagt hij een hoge prijs om zijn risico beperkt te houden. De prijs kan dan oplopen tot meer dan 3000 euro. Deze bedragen zijn te hoog om binnen enkele jaren terugverdiend te worden met besparingen op energiekosten. Terugverdiendtijden worden vaak berekend tussen 8 en 20 jaar.

In 2002 werden er jaarlijks circa 10.000 zonneboilers afgezet. Na het wegvallen van overheids-subsidies is de jaarlijkse afzet van zonneboilers gedaald tot rond de 7.000 stuks per jaar (CBS, 2007). Aan de huidige zonneboilers kleven bovendien nog steeds bezwaren als een te hoog gewicht en een lastige installatie en distributie. Ontwikkelingen richten zich bij deze generatie zonneboilers vooral op het kosteneffectiever maken. Het imago van de zonneboiler is over het algemeen positief. Wel roept gebruik van een zonneboiler bij consumenten soms de vraag op of de temperatuur in het voorraadvat soms een gevaar oplevert voor legionellabacteriën. Periodiek treedt er echter in een zonneboiler een temperatuur op van meer dan 75 °C waardoor de zonneboiler ontsmet wordt. Deze temperatuur is zelfs hoger dan de temperaturen die in traditionele verwarmingssystemen voorkomen. Een tweede barrière tegen de legionellabacterie is dat er met de naverwarmer altijd warmtapwater geleverd wordt van minimaal 60 °C. Het gevaar van legionellabacteriën in het warme water is daarom, mits correct geïnstalleerd en afgesteld door een erkende (zonneboiler)installateur, geminimaliseerd en vergelijkbaar met andere warm tapwater- apparatuur.

De ontwikkeling van een zonnekeur, geaccepteerd in vrijwel alle Europese landen, maakt de markt internationaler. Het maakt het aantrekkelijker voor fabrikanten om te investeren in nieuwe ontwikkelingen die dan zonder problemen zijn te exporteren naar het buitenland.

Een resterend knelpunt is de kosteneffectiviteit van zonnewarmte. Met de ontwikkeling van een nieuwe generatie waarbij mogelijkheden voor seizoensopslag van warmte en de inzet van energie uit zonnewarmte voor koeling worden meegenomen, zouden de terugverdiendtijden aanzienlijk kunnen worden verminderd. Op korte termijn wordt de toepassing hiervan niet verwacht. Voor de overheid is de ontwikkeling van een meerjarige, consistente visie op duurzame energie met de bijbehorende, duurzame marktstimulatie en nieuwe of aangescherpte regelgeving zoals bijvoorbeeld de EPN voor nieuwbouw gewenst. De ambitie in *Schoon en Zuinig* lijkt hieraan tegemoet te komen al moet de uitwerking dit daadwerkelijk uitwijzen.

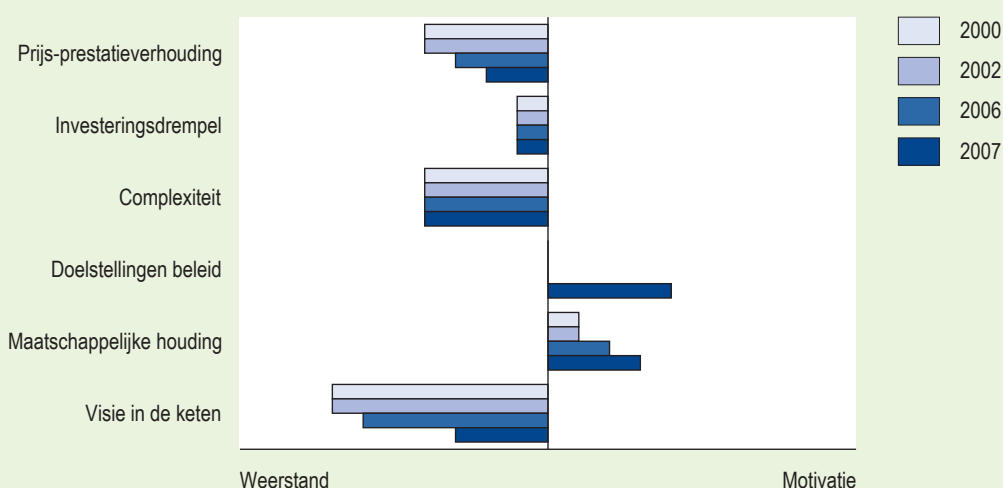
Uit een door SenterNovem georganiseerde workshop van belanghebbenden uit de zonneboilerbranche werden in 2006 de volgende knelpunten geformuleerd (Bosselaar, 2007).

- Voor de zonneboilermarkt in de bestaande bouw is het huidige aanbod via de installateurs niet adequaat. De prijs is in verhouding tot de waarde voor de consument nu te hoog, de verkoopkracht te gering en de informatie voor de consument onvoldoende.
- De markt bij nieuwbouw is gunstiger, maar onvoldoende marketingkracht en onbekendheid bij beslissers beperken het marktaandeel nu nog tot 10%.
- De partijen vinden het overheidsbeleid niet consistent, waardoor ze ook zelf terughoudend zijn met investeren.
- De grootste marktkans voor de branche is de grotere interesse in de bestaande bouw en de invoering van de labelling in het kader Europese richtlijn Energy Performance Buildings Directive (EPDB) voor dit segment.



**Tabel 5.6 Krachtenveldanalyse voor toepassing van passiefbouw voor nieuwbouwwoningen door projectontwikkelaars**

Kracht	Kenmerken en ontwikkelingen 2000-2007	Beleid (NI + EU)
<b>Prijs-prestatieverhouding</b>	De terugverdientijd van passiefwoningen is door het veel lagere energieverbruik aanmerkelijk korter dan de levensduur van de woningen, maar veel langer dan voor de meeste eigenaren acceptabel is. Met het doorlopen van de leercurve te doorlopen kunnen de kosten nog enigszins omlaag.	Energiebelastingmaatregelen verlagen de terugverdientijd
<b>Investeringsdrempel</b>	De bouwkosten van een nieuwbouwwoning liggen de tot circa 20.000 euro hoger. Renovatie valt vaak nog kostbaarder uit. Het is de vraag, of de extra bouwkosten de marktprijzen van woningen gaan opdrijven of de winsten van projectontwikkelaars gaan drukken. Er worden 'groene' investeringsmogelijkheden ontwikkeld.	
<b>Complexiteit</b>	Voor passief bouwen is er in Nederland genoeg vakmanschap maar het vereist wel een andere manier van bouwen die aangeleerd moet worden. Ervaringen elders in Europa werken positief, maar zijn niet zonder meer te vertalen naar de Nederlandse bouwsituatie.	Niet alle maatregelen zijn in de EPN goed te waarderen.
<b>Doelstellingen overheid</b>		De aanscherpingen van de EPC konden tot nu toe op vele andere, goedkopere, manieren ingevuld worden. In <i>Schoon en Zuinig</i> wordt de ambitie uitgesproken voor de energieneutrale woning in 2020.
<b>Maatschappelijke houding</b>	Energie besparen wordt duidelijk gekoppeld aan het klimaatprobleem en energiezekerheid. NGO's stimuleren het. Probleemperceptie is aanzienlijk toegenomen, maar de consument is onbekend met duurzame woonconcepten. Aandacht voor een gezond binnenklimaat blijft belangrijk.	
<b>Visie in de keten</b>	Esthetiek, bouwtraditie en kosten wegen nog zwaarder dan reductie van het energiegebruik. Er zijn enkele pioniers voor passiefbouw. Architecten en stedenbouwkundigen zijn als eerste aan zet. Zij zullen nog overtuigd moeten worden.	Lange tijd geen heldere overheidsvisie op dit punt. Met <i>Schoon en Zuinig</i> wordt het implementatieplan van de PEGO-innovatiegroep in de overheidsambities meegenomen en mikt de overheid op energieneutrale nieuwbouw in 2020.

**Krachtenveld voor bouwprojecten met passiefbouw door projectontwikkelaars****Figuur 5.6** Indicatieve schets van de ontwikkeling in het krachtenveld rond de beslissing van projectontwikkelaars om te investeren in bouw van passiefwoningen. Toelichting in tabel 5.4.



## 5.4 Motivatie voor de bouw van en renovatie van huizen met woonconcepten met zonne-energie

Er zijn veel verschillende concepten voor woningen die in meer of mindere mate gebruikmaken van zonne-energie. In de periode 2000-2006 waren onder andere de zonnewoning en passiefwoning in beeld. In *tabel 5.6* is het krachtenveld geschetst voor projectontwikkelaars om te besluiten tot passiefbouw voor woningen.

Bij het in 2002 introduceren van de zonnewoning werd tussen bouwondernemingen, Ecofys en SenterNovem afgesproken om in de periode 2002-2004 1500 zonnewoningen te bouwen. Marktontwikkelingen maakten echter dat dat doel moest worden bijgesteld. Eind 2006 waren er 500 zonnewoningen gecertificeerd.

Het concept van passiefhuizen is vooral gericht op energiebesparing. Men tracht daarbij ook de zoninstraling zo optimaal mogelijk te benutten. Zonne-energie is echter slechts een van de pilaren van passiefbouw. Andere bouwtechnische voorzieningen hebben een veel grotere energiebesparingpotentie (Kaan en de Boer, 2006).

In de ons omringende landen, met name in Duitsland en Oostenrijk, zijn al veel projecten gerealiseerd op grond van het passief bouwen concept en blijken de woningen, ook qua bewonerscomfort, prima te voldoen. In Nederland is de haalbaarheid voor zonnewoningen en passiefhuizen inmiddels uitgebreid onderzocht en gedocumenteerd, maar is passief bouwen nog ver verwijderd van de alledaagse praktijk. De discussies rond aanscherping van de EPC hebben nog geen indicaties gegeven over een nadrukkelijk veranderde houding in de bouwwereld. Er zijn weliswaar enkele projecten die een eind in de richting van het ideaal komen, maar in totaal is er slechts een twintigtal woningen gerealiseerd volgens het concept van passiefbouw. Pioniers als projectontwikkelaar BAM hebben recent wel aangegeven grote plannen met Nederlandse passiefbouwconcepten te hebben, maar over het algemeen is er nog te weinig kennis over passiefbouw in de gehele bouwketen.

NGO's staan positief ten opzichte van nieuwe energiezuinige woonconcepten. Zo werkt Natuur en Milieu in het project Economie Light aan duurzame bouwconcepten voor nieuwbouw en renovatie en was het WNF een van de partners bij de ontwikkeling en de certificering van zonnewoningen.

Essentiële punten bij de realisatie van passiefhuizen zijn onder andere: verbeterde isolatie van gevel, dak en vloer tot isolatieniveaus in de range van  $R_c = 6,5-10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  en meer, het implementeren van aansluitende en doorlopende isolatie (bij voorkeur meerlaags). Verder is aandacht nodig voor koudebruggen tijdens het gehele ontwerpstadium, het ontwerpen van beter isolerende en inbraakveilige kozijnen voor de Nederlandse markt en het implementeren van luchtdicht bouwen in de praktijk, zoals met de speciaal voor passiefhuizen ontwikkelde geplakte folies (Builddesk, 2006).

Ook het binnenmilieu van woningen blijft een aandachtspunt. Evaluaties van passiefhuizen in het buitenland (Duitsland, Oostenrijk, Zwitserland en Zweden) geven aan dat de woningen zowel in de zomer als in de winter als zeer comfortabel worden ervaren. Wel is daarvoor bewust bewonersgedrag nodig. Het is daarom van groot belang dat de consument goed wordt voorgelicht over de mogelijkheden om de kwaliteit van het binnenmilieu te regelen, zoals het gebruik van zonwering en spuiventilatie (SPH, 2006). Recent is veel aandacht in de pers geweest voor

de gezondheidsklachten die bewoners van de nieuwe Amersfoortse woonwijk Vathorst ondervonden. Uit onderzoek van GGD naar het binnenmilieu van de woningen bleek dat de capaciteit van de mechanische ventilatie in het merendeel van de woningen niet aan de wettelijke eisen voldeed en dat roosters en filters van de balansventilatie vervuild waren (GGD, 2007). Dit benadrukt het belang om bij het ontwerpen van de woningen de ventilatie beter mee te nemen en de bewoners goed voor te lichten over het gebruik en het schoonmaken van hun ventilatiesysteem.

Door de lage inschatting van het energieverbruik voor ruimteverwarming worden specifieke ontwerpinspanningen gericht op het reduceren van de ruimteverwarmingsvraag relatief minder beloond in de EPC-berekeningen. Er worden makkelijker punten gescoord door in te zetten op energie-efficiënte installaties als zonnecollectoren dan op maatregelen als vergaande schilisolatie en kierdichting. Om noemenswaardige winst te halen uit het installatietechnische deel moet wel voldoende energie verbruikt worden en dat is niet het geval in een passiefhuis dat juist gericht is op vraagreductie (SPH, 2006). Desondanks ligt de EPC van passiefhuizen nog aanmerkelijk lager dan bij het gemiddelde nieuwbouwhuis. Deze ligt tussen de 0,3 en 0,5 terwijl het gemiddelde nieuwbouwhuis sinds 2006 moet voldoen aan een EPC van 0,8. De door de overheid aangekondigde, stapsgewijze, verbetering van de energiezuinigheid van nieuwbouw zal daarom extra prikkels voor passiefbouw opleveren, vooral omdat het naar energieneutrale woningen toegaat.

Ook renovatie van huizen tot passiefhuizen is een optie. Bij passiefhuizen zijn echter koudebruggen (thermische lekken zoals bij een muur die zonder thermische onderbreking op een fundering aansluit) uit den boze. Bij een bestaande woning zijn die koudebruggen bijna altijd aanwezig en vaak moeilijk weg te werken, waardoor het renoveren arbeidsintensief en kostbaar wordt. Het gebouw zal uiteindelijk niet altijd zonder verwarmingsinstallatie kunnen, waardoor de extra investering voor verwarming alsnog gemaakt dient te worden. Comfort en milieu zijn uiteraard wél redenen om alsnog de passiefhuisnorm na te streven ([www.passiefhuisplatform.be](http://www.passiefhuisplatform.be)).

De extra investeringskosten van een zonnewoning werden in 2004 ingeschat op circa 7000 euro. Wanneer voor een duurdere techniek zoals een warmtepomp gekozen wordt, dan kan dit bedrag al snel oplopen tot 10.000 euro.

De extra investeringskosten van een passiefhuis in Nederland worden geschat op 12.000 tot 20.000 euro (Builddesk, 2006). Dit zou door de verwachte energiebesparing en stijgende energieprijzen vanaf het twaalfde jaar tot cumulatief lagere woonlasten kunnen leiden dan bij een nieuwbouwwoning die aan een EPC van 0,8 voldoet (Builddesk, 2006). Bij grootschalige toepassing van passiefbouw wordt het mogelijk geacht om de meerinvestering te beperken tot circa 10.000 euro per woning.

De door gemeenten gehanteerde methodiek van vastgestelde plafonds voor prijzen (vrij op naam) van nieuwbouwwoningen houdt geen rekening met de meerkosten voor duurzame woonconcepten. Woningconcepten die investeren in lagere energielasten worden hierdoor benadeeld. Voor kopers van woningen zou het mogelijk moeten zijn om recht te hebben op een vorm van 'groenfinanciering' en in aanmerking te komen voor een energie- of klimaat hypotheek waarbij rekening wordt gehouden met de verwachte lagere energielasten bij het vaststellen van het maximaal te lenen bedrag (Van de Bree, 2007).

Toepassing van nieuwe woonconcepten vereist wel dat de technieken bekend zijn geworden bij ontwerpers, projectontwikkelaars en de uitvoerende bouw. De grootste barrières lijken dan ook gezocht te moeten worden in bouwtraditie en esthetiek. De in Nederland traditionele muurconstructie kan leiden tot dikke, moeilijk te realiseren spouwmuren. In de bouwkolom is onvoldoende kennis aanwezig over alternatieven voor spouwmuren evenals over bijvoorbeeld koudebruggen en luchtdichting. Ook zijn er op de Nederlandse markt nog nauwelijks geschikte kozijnen en compacte warmtepompen verkrijgbaar. Goed werkende gebalanceerde ventilatiesystemen vragen om een correcte berekening van capaciteit en installatie en vereisen onderhoud om binnenluchtvervuiling, eventuele gezondheidsrisico's en hoger elektriciteitsverbruik van de ventilator te voorkomen.

Marktgerelateerde barrières hebben te maken met het feit dat de Nederlandse huizenmarkt kan worden gekarakteriseerd als een aanbodgestuurde markt. Projectontwikkelaars realiseren veel grootschalige huizenprojecten. Vaak spelen gemeenten een rol bij de ambities met deze projecten. Bewoners/consumenten kopen wat er aangeboden wordt, zonder enige interesse in en kennis van passiefhuizen (PEP, 2006). Ook blijkt uit de ervaringen rondom de marktintroductie van zonnewoningen dat de consument over het algemeen weinig bekend is met duurzame woonconcepten (Van de Bree, 2007).

Een ander punt dat de positie van passiefhuizen in de markt zou kunnen verzwakken moet gezocht worden bij het GIW-certificaat. Dit certificaat geeft aan dat een huis gebouwd is volgens een gespecificeerd proces. Ondanks het feit dat de kwaliteit van een passiefhuis gelijk is aan of hoger ligt dan die van een huis gebouwd volgens de eisen van het Garantie Instituut Woningbouw (GIW), is het mogelijk dat het Passiefhuis niet voldoet aan de verwarmingscapaciteit beschreven in deze GIW-eisen (PEP, 2006).



## 6 Conclusies

In de conclusies wordt onderscheid gemaakt tussen de potentiële effecten van de systeemoptie op de lange termijn en de voortgang van het proces om de transitie naar het realiseren van deze systeemoptie te realiseren. Daarbij worden zonnestroom, zonnewarmte en woningconcepten apart belicht.

### Potentiële effecten van de systeemoptie

De jaarlijkse productie van zonnestroom in de gebouwde omgeving zou bij volledige benutting van het dakoppervlak en realisatie van de mogelijk geachte verbeteringen in het rendement rond 2050 een niveau van 68-108 TWh elektriciteit kunnen hebben. Dit is circa 60-95% van het huidige elektriciteitsgebruik in Nederland. Met zonnewarmte zou op de lange termijn een niveau van zo'n 65 PJ/jaar kunnen worden gerealiseerd. Dit is zo'n 20% van het huidige aardgasgebruik in huishoudens. Daarbij moet worden bedacht dat de vraag van huishoudens naar elektriciteit toeneemt en naar warmte afneemt. Dat laatste heeft ook te maken met de verbeterde isolatie. Zo kan met passiefbouw (een geavanceerd isolatieconcept) een theoretische energiebesparing voor ruimteverwarming tot 80% worden bereikt ten opzichte van een gemiddelde nieuwbouwwoning van de laatste jaren.

Van belang is de vertaalslag van deze cijfers naar de potentiële vermindering van CO<sub>2</sub>-emissies, maar deze is lastiger te maken, omdat de referentiesituatie onduidelijk is. Afgezet tegen het gemiddelde van de huidige elektriciteitsproductie in Nederland kan 47-75 Mton CO<sub>2</sub>-emissie worden vermeden. Wanneer in de toekomst het aandeel van schoon fossiel (elektriciteitsopwekking met CO<sub>2</sub>-opslag) en duurzame elektriciteitsopwekking groter is dan zijn de vermeden emissies lager. Met zonnewarmte zou ten opzichte van de huidige gasgestookte ketels zo'n 6 Mton CO<sub>2</sub> kunnen worden bespaard. De combinatie van passiefbouw en zonne-energie, aangevuld met andere vormen van duurzame energie, kan leiden tot woningen zonder gasaansluiting.

Andere positieve effecten zijn de vermindering van verzurende emissies, de positieve invloed op de biodiversiteit, de grotere voorzieningszekerheid en minder snelle uitputting van de gasvoorraad. Zonne-energie in woningen brengt meer werkgelegenheid met zich mee, maar de beoordeling van dit laatste effect – het is ook een toename van de vraag naar arbeid – is in het licht van de vergrijzingsproblematiek lastig te geven. Daarnaast moet er rekening mee worden gehouden, dat zonne-energie ook in de eindsituatie voor de huishoudens iets duurder kan zijn dan de energie nu. Passiefbouw verlaagt juist de energierekening, maar daar staan hogere hypotheek- of huurlasten tegenover.

### Voortgang van het transitieproces

Het beleid heeft voor zonne-energie de financiële ondersteuning van marktcreatie te vroeg of met te weinig middelen ingezet. Een financieringsstrategie, gekoppeld aan een concreter wordende visie op de toepassing van zonne-energie in de gebouwde omgeving heeft lange tijd ontbroken. Systemen voor zonne-energie worden weliswaar door verschillende fabrikanten op de markt gebracht, een echte take-off heeft nog lang niet plaatsgevonden. Er is een subsidie-regeling geweest, die na 2003 is stopgezet. Zonder een marktintroductiesubsidie is de prijs-prestatieverhouding voor de consument onaantrekkelijk en blijkt er nauwelijks vermogen te worden bijgeplaatst. Het heeft geleid tot een ondoorzichtige en voor marktpartijen onzekere overheidsopstelling. Het totale vermogen is sinds 2003 is dan ook voor zonnewarmte beperkt en

voor zonnestroom zeer beperkt toegenomen. In die zin is bijvoorbeeld het Duitse systeem met een voor langere tijd gegarandeerde terugleververgoeding voor aan het net geleverde elektriciteit succesvoller geweest.

Niet zozeer het feit dat een ingezette lijn van technologieondersteuning wordt afgebroken, is als negatief te beschouwen. Een logische verklaring hiervoor zou immers kunnen worden gevonden in tegenvallende resultaten in de technologische ontwikkeling. Dan kan het zelfs verstandig zijn zo'n lijn na evaluatie af te breken. Echter, de ontwikkelingen volgen tot nu toe de te verwachten leercurven. Op dat punt kan dus niet van tegenvallers worden gesproken. Het beleid was echter te veel op successen op de korte termijn in de vorm van zichtbare resultaten gericht en te weinig op het doorlopen van die leercurve. Met het beleidsplan Schoon en Zuinig wordt getracht daar beter op in te spelen. Er is een streefgetal voor het aantal woningen met duurzame voorzieningen (100.000 in 2011) genoemd. Daarbij is een subsidieregeling aangekondigd, waarbij het bedrag wordt aangepast aan de al bereikte leereffecten, inclusief de schaalvoordelen. Bovendien wordt in het beleidsplan verwacht dat voor zonneboilers over vier jaar en voor zonnestroom over tien jaar een kostenefficiënt niveau voor de eindgebruikers wordt bereikt. PVT wordt daarin niet genoemd. Het staat ook pas aan het begin van de leercurve. Ook wordt een opvolger van de MEP voorbereid, het besluit voor deze Stimuleringsregeling voor Duurzame Energieproductie (SDE) is inmiddels gepubliceerd in de Staatscourant. Na publicatie van de bijbehorende ministeriële regelingen zal de SDE naar verwachting in het voorjaar van 2008 in werking treden. In de concept ministeriële regelingen die minister Van der Hoeven eind januari naar de tweede kamer heeft gestuurd worden in 2008 kleinschalige zonnestroominstallaties (0,6 kWp – 3,0 kWp) voor 10 MW gestimuleerd met een verwacht subsidiebedrag van 33 eurocent/kWh. Als toekomstperspectief wordt tot 2012 gesproken over stimulering van zo'n 70 MW zonnestroomvermogen. De daarbij verwachte structurele uitgaven zijn 2,8 miljoen euro in 2008 oplopend naar 19 miljoen euro/jaar in 2014.

Voor zonnestroom is de veronderstelling van productiekosten op het niveau van de consumentenprijs over tien jaar niet onmogelijk maar vrij optimistisch, zelfs als de leercurve dezelfde richting blijft gaan als gemiddeld over de laatste decennia en de groei in de productie voorlopig niet stagneert. Van dat laatste is wereldwijd overigens geen sprake. De recente groei ligt op een hoog niveau. Nederland heeft daaraan nauwelijks bijgedragen. De richting van de leercurve is minder zeker. De ontwikkelingen in de laatste vijf jaar zijn iets minder positief, maar die periode is te kort voor harde conclusies. Dit is wel heel sterk bepalend voor de totale kosten, die het verdere ontwikkelingstraject met zich mee kan gaan brengen.

Er moet worden geconstateerd dat de Nederlandse bijdrage aan de R&D relatief groot is geweest, maar dat op dit punt in de laatste vijf jaar geen toename van onderzoekbudgetten te zien is geweest. Er is sprake van een afname van het aandeel van onderzoek naar zonne-energie in het totale onderzoek naar hernieuwbare bronnen. De inspanningen, die zijn aangekondigd in het werkprogramma Schoon en Zuinig, zijn nog te weinig specifiek om te spreken van een flink aandeel van Nederland in het verder doorlopen van de leercurve in de vorm van ondersteuning van de praktijktoepassing.

Voor zonnestroom is het noodzakelijk dat de groei gepaard gaat met verder onderzoek naar hogere rendementen van de verschillende zonnestroomconcepten. Dit is een wereldwijde ontwikkeling, zeker voor de zonnepanelen. Voor de ontwikkeling van alle overige onderdelen van zonnestroomsystemen en voor de integratie van zonnestroom in praktijksituaties is het opdoen van ervaring binnen Nederland zelf van groot belang om tot kostenreducties te kunnen

komen. Voor zonnewarmte is het laatste relatief nog belangrijker. De ontwikkeling van warmteopslagsystemen en systemen voor de inzet van zonnewarmte voor koeling kunnen daarbij op de lange termijn voor een grote kostenverlaging zorgen. Vervanging van de relatief dure koperplaten door een kunststofmateriaal is wellicht eerder mogelijk.

Met de in het beleid aangekondigde, stapsgewijze, verbetering van de energiezuinigheid van nieuwbouw, wordt een take-off van zonnewarmte vanaf 2011 kansrijker. Het uiteindelijke doel om in 2020 energieneutraal te bouwen is echter vooral een impuls voor veel beter geïsoleerde woningen, zoals passiefbouw. Passiefbouw is qua ontwikkeling geschikt voor toepassing in de praktijk. De terugverdientijd van de extra bouwkosten is echter zodanig, dat zonder ondersteunende beleidsinstrumenten om de markt te creëren het niet van de grond komt, zoals tot nu toe is gebleken. In de ons omringende landen, met name in Duitsland en Oostenrijk, zijn al veel projecten gerealiseerd op grond van het passiefbouw concept maar in Nederland is passiefbouw nog ver verwijderd van de alledaagse praktijk. Het grootste knelpunt voor het introduceren van nieuwe woonconcepten lijkt tot nu toe de ‘koudwatervrees’ in de bouwwereld te zijn. Pioniers als projectontwikkelaar BAM hebben recent wel aangegeven grote plannen met Nederlandse passiefbouw concepten te hebben maar er is nog te weinig kennis over in de gehele bouwketen. Hoewel de bouwkosten hoger zijn, lijken bouwtraditie en esthetiek nog grotere barrières, ook bij architecten, stedenbouwkundigen, gemeenten en consumenten. Om de koudwatervrees te overwinnen is kennisontwikkeling bij al deze partijen van groot belang.

Tot nu toe zijn bouwkundige maatregelen op basis van de EPC-rekenmethodiek minder rendabel geweest bij het halen van een betere EPC-waarde dan verbeteringen aan installaties. Bouwkundige maatregelen zijn daarmee, ondanks hun veel langere levensduur en beperkte onderhoudsgevoeligheid, niet gestimuleerd in de Nederlandse regelgeving. De sterk op technologie en minder op systeemintegratie gerichte ontwikkeling heeft er ook mede toe geleid dat onderzoek naar warmteopslag bij woningen (anders dan onder de grond) pas kort geleden van de grond is gekomen. Het kan een belangrijk onderdeel zijn voor kostenreductie bij zonnewarmte, mede door huizen daarmee onafhankelijk te maken van gasinfrastructuur.





## Referenties

- Alsema, E.A. et al. (2006). Environmental impact of PV electricity generation, a critical comparison of energy supply options, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference Dresden, Germany, 4-8 september 2006.
- Arvizu, D.E. (2006). National Renewable Energy Laboratory, Meeting the Renewable Energy Challenge: What Will it Take to Reach Solar PV's Ultimate Potential. Presented at the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion in Waikoloa, Hawaii (May 8, 2006) op <http://www.nrel.gov/director/pdfs/40011.pdf> (januari 2008)
- Born, G.J. van den en J.P.M. Ros (2006). Biograndstoffen voor de chemische industrie, Evaluatie van transitie op basis van systeemopties, Milieu- en Natuurplanbureau, Rapport 500083005, Bilthoven.
- Bosselaar, L. (2007). Status zonneboilermarkt in Nederland 2007, SenterNovem, Utrecht.
- Builddesk (2006). Passiefhuizen in Nederland, DHV, VDM, BAM en Rockwool met ondersteuning door SenterNovem, Boxtel.
- CBS (2007). Duurzame energie in Nederland, Data Statline, Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen.
- CPB/MNP/RPB (2006). Welvaart en LeefOmgeving, een scenariostudie voor Nederland in 2040, Centraal Planbureau, Milieu- en Natuurplanbureau, Ruimtelijk Planbureau, Den Haag/Bilthoven.
- De Noord, M. et al. (2004). Potentials and costs for renewable Electricity generation, A data overview, ECN-C—03-006, Petten.
- Dril, A.W.N. van en H.E. Elzenga (2005). Referentieramingen energie en emissies 2005-2020, ECN-C—05-018, Petten.
- ECN/MNP (2007). Beoordeling werkprogramma Schoon en Zuinig. Effecten op energiebesparing, hernieuwbare energie en uitstoot van broeikasgassen, ECN-E-07-067, Petten.
- ECN/RIVM (2000). Synergie in de aanpak van klimaatverandering en verzuring, oplossingsrichtingen voor energie en mobiliteit in 2030 (achtergrondrapport bij de vijfde nationale milieuverkenning ter voorbereiding van het vierde nationaal beleidsplan), Petten, Bilthoven.
- Elzenga, H.E. et al. (2006). Micro-warmtekracht en de virtuele centrale, Evaluatie van transitie op basis van systeemopties, Milieu- en Natuurplanbureau, Rapport 500083003/2006, Bilthoven.
- ESTTP (2006). Solar Thermal Vision 2030, First version of the vision document for the start of the European Solar Thermal Technology Platform, May 2006, Brussels.
- EU (2005). A Vision for Photovoltaic Technology. Report bij the Photovoltaic Technology Research Advisory Council (PV-TRAC), Directorate-General for Research Sustainable Energy Systems European Commission, Brussels.
- EZ (2007). Reactie op brief Limburgse Werkgeversvereniging door minister van Economische zaken M.J.A. van der Hoeven, Den Haag.
- GGD (2007). Het binnenmilieu binnenste buiten, Resultaten van het onderzoek 'Gezondheid en ventilatie in woningen in Vathorst'. GGD Eemland en VROM in opdracht van de gemeente Amersfoort, Amersfoort.
- Holland Solar (2005). Transitiepad zonnestroom, De roadmap van Holland Solar, Utrecht.
- Holland Solar (2007). Transitiepad Thermische zonne-energie, De roadmap van Holland Solar, Utrecht.
- Intron/DHV (2002). Duurzaam bouwen met zonneboilers, Materiaalgebonden milieueffecten en de consequenties van mmg, in opdracht van Novem, Utrecht.
- Janssen L.H.J.M. et al. (2006). Welvaart en Leefomgeving, Een scenariostudie voor Nederland in 2040, Centraal Planbureau, Milieu- en Natuurplanbureau en Ruimtelijk Planbureau.
- Kaan, H.F. en B.J. de Boer (2006). Passive houses: achievable concepts for low CO<sub>2</sub> housing, ECN-RX—06-019, Petten.
- Kets, A. et al. (2005). Zon op de daken, zonnige gezichten? Onderzoek naar meningen over toepassingen van PV in Vroonmeer in Almar en stad van de Zon in Heerhugowaard, ECN-C—05-002, Petten.
- KNAW (2007). Duurzaamheid duurt het langst, Onderzoeksuitdagingen voor een duurzame energievoorziening, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Verkenningcommissie energieconversieonderzoek, Amsterdam.
- Menkveld, M. et al. (2004). Energietechnologieën in relatie tot transitiebeleid, Factsheets, ECN-C—04-020, Petten.
- MNP (2007). Nederland en een duurzame wereld, Armoede, klimaat en biodiversiteit, Tweede Duurzaamheidsverkenning, Milieu- en Natuurplanbureau, MNP-rapport 500084001, Bilthoven.
- Nationale ombudsman (2002). Klacht Minister van Economische Zaken, Rapport 2002/266.
- Nagelhout, D en J.P.M. Ros (2006). Brandstofcelauto op waterstof verkregen uit zonthermische krachtcentrales (CSP), Evaluatie van transitie op basis van systeemopties, Milieu- en Natuurplanbureau, Rapport 500083007, Bilthoven.
- NREL (2006). A Review of PV inverter technology cost and performance projections, Navigant Consulting subcontract NREL/SR-620-38771, National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy, Burlington U.S..
- Observ'ER (2007). Photovoltaic energy barometer 2007, [www.energies-renouvelables.org](http://www.energies-renouvelables.org), april 2007, Parijs.
- Passiefbouwen (2007). Passiefbouwen.nl.
- PEP (2006). Passiefhuizen in Europa. Oplossingen voor passiefhuizen, Promotie van Europese Passiefhuizen, DHV in samenwerking met ECN en Passiefhuis-Platform België.
- Reudink, M.A. et al. (2006). Markt voor groene diensten, Evaluatie van transitie op basis van systeemopties, Milieu- en Natuurplanbureau, Rapport 500083004, Bilthoven.
- Rood, G.A. et al., (2006). Duurzame viskweek voor behoud van de visvoorraad, Evaluatie van transitie op basis van systeemopties, Milieu- en Natuurplanbureau, Rapport 500083006, Bilthoven.
- Ros, J.P.M. en J.A. Montfoort (2006). Evaluatie van transitie: systeemoptie vloeibare biobrandstoffen, Milieu- en Natuurplanbureau, Rapport 500083002, Bilthoven.
- Ros, J.P.M. et al. (2006a). Evaluatiemethodiek voor NMP4-transities, Bouwtekening voor de evaluatie van het beleid ter ondersteuning van systeeminnovatie op de lange termijn, Milieu- en Natuurplanbureau, Rapport 500083001/2006, Bilthoven.
- Ros, J.P.M. et al. (2006b). Transitieprocessen en de rol van het beleid, Evaluatie op basis van zes systeemopties, Milieu- en Natuurplanbureau, Rapport 500083008/2006, Bilthoven.
- Ros, J.P.M. et al. (2007). New environmental policy for system innovation: alternatives for fossil motor fuels. Paper for Int. Green Energy Conf., Västerås Sweden.
- Schaeffer, G.J. et al. (2004). Learning from the Sun, Analysis of the use of experience curves for energy policy purposes: The case of photovoltaic power. Final report of the Photex project, ECN-C—04-035, Petten.
- Schropp, R.E.I., (2006). Elektriciteitsopwekking met dunne halfgeleiderlagen. Wetenschappelijke en technologische uitdagingen, Universiteit Utrecht, Utrecht.
- SPH (2006). Wordt passiefhuistechnologie in Nederland via de EPN-methodiek gestimuleerd, Anneleen Lagae en Erik Franke, Stichting Passiefhuis Holland.
- Stedebouw en architectuur (2001). Prefab PV daken komen eraan, mei 2001.
- Stromen (2007a). Nummer 6, 6 april 2007.
- Van de Bree, A.G. (2007). Marktintroductie WNF Zonnepanelen, Ecofys rapport E10116, Utrecht.
- Visser, K. et al. (2004). Compacte chemische seizoensopslag van warmte, Eindrapport, ECN-C—04-074, Petten.
- Werkgroep PV (2006). PV-notitie, Zonnestroom en de Transitie naar een Duurzame Elektriciteitsvoorziening,
- Wyers, G.P. (2007). Fotovoltaïsche zonne-energie, ECN presentatie op Energy Hill, mei 2007.



---

## Bijlage Interviewronde

Antonin van de Bree, Ecofys (zonnewoningen)

Henk Kaan, ECN (bouwtechnische aspecten, passief wonen, zonnestroom)

Ivo Opstelten, ECN (woonconcepten, zonnewarmte, warmteopslag)

Job Swens, SenterNovem (zonnestroom)

Lex Bosselaar, SenterNovem (zonnewarmte)

Marco Bakker, ECN (zonnewarmte en PVT)

Mariska de Wild-Scholten, ECN (milieu-effecten zonnestroom)

Marije Lafleur, ECN, PEGO (woonconcepten)

Marijke Menkveld, ECN (zonnestroom en woonconcepten)

René Blickman, SolarVolta, bestuurslid Holland Solar (zonnestroom)

René Kamphuis, ECN, (netinpassing decentrale elektriciteitsbronnen)

Wim Sinke, PV werkgroep transitie (zonnestroom)

