

**Bouw**  
Van Mourik Broekmanweg 6  
Postbus 49  
2600 AA Delft

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

T +31 15 276 30 00  
F +31 15 276 30 10  
[info-BenO@tno.nl](mailto:info-BenO@tno.nl)

## TNO-rapport

**2008-D-R0635/B**

### Woningen als Energie Leverend Systeem: Faciliteren van Installaties

Datum	10 augustus 2008
Auteur(s)	Dr.ir. C.P.W. Geurts Ir. E. van Nieuwenhuijzen
Oprachtgever	Senter Novem, EOS LT programma
Projectnummer	034.68997/01.01

#### Rubricering rapport

Titel  
Samenvatting  
Rapporttekst  
Bijlagen

Aantal pagina's	19 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

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

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

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Installaties in de huidige woningbouw.....</b>	<b>4</b>
2.1	Plaat van installaties in de woning.....	4
2.2	Installaties in de gebouwschil.....	4
2.3	Partijen.....	4
2.4	Installatieproces.....	4
<b>3</b>	<b>Flexibiliteit.....</b>	<b>7</b>
3.1	Inleiding.....	7
3.2	Levenduur van bouwdelen.....	7
3.3	Behoeftte aan flexibiliteit.....	8
3.4	Ontwikkelingen.....	9
<b>4</b>	<b>Installaties in energieleverende nieuwbouw.....</b>	<b>11</b>
4.1	Efficiënte omzetting van zonlicht in de gebouwschil.....	11
4.2	Energieopslag installatie.....	12
<b>5</b>	<b>Oplossingsrichtingen.....</b>	<b>14</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A	

# 1 Inleiding

Diverse vraagstukken worden bij de bouwsector neergelegd, enerzijds vanuit veranderende regelgeving, anderzijds vanuit een druk in de markt. Energiegebruik en de kwaliteit van het binnenmilieu in onze woningen staan nu volop in de aandacht. Energie-opwekking en – opslag, betere en efficiëntere ventilatie, zijn thema's die waaraan gewerkt wordt in de bouwsector.

In het kader van het project WAELS (Woningen als EnergieLeverend Systeem) werken ECN, TNO en de TU/e samen aan ontwikkeling van installatiecomponenten om energieleverende woningen mogelijk te maken. Deze componenten nemen ruimte in, en de vraag is dan hoe we gebouwen zo kunnen ontwerpen dat deze installaties zo optimaal mogelijk kunnen worden opgenomen. Optimaal betekent zowel een goede werking, bouwkundige inpassing, uitstraling als financieel plaatje.

In veel gevallen wordt gesproken over het integreren van installaties. Daarbij kunnen verschillende beelden bestaan over wat daarmee bedoeld wordt. In deze bijdrage wordt ingegaan op hoe in het ontwerp van gebouwen omgegaan kan worden met installaties.

Dit stuk richt zich op energie leverende rijtjeswoningen in een nieuwbouwsituatie. Wat concreter wordt uitgegaan van een woning met een compact warmteopslagsysteem in de woning en installaties voor een efficiënte omzetting van zonlicht in de gebouwschil. Doel van dit rapport is om oplossingsrichtingen te geven voor toepassing van nieuwe installatietechniek in woningen. Dit rapport richt zich daarbij op de fysieke inpassing in de woning.

In dit rapport is de volgende opbouw gebruikt:

- Allereerst wordt beschreven hoe in de huidige situatie het installatieproces eruit ziet, en hoe installaties in woningen worden opgenomen.
- Vervolgens wordt ingegaan op het begrip flexibiliteit. Het wordt afgezet tegen de levensduur die verschillende componenten in gebouwen hebben, en er wordt wat specifiek ingegaan over welke flexibiliteit op welk moment nodig is.
- Daarna komt de invulling van een energieleverende woning aan de orde. Welke installatietechniek is denkbaar, en welke eisen worden gesteld vanuit deze installaties.
- Tenslotte worden praktijkaanbevelingen gegeven die bij de ontwikkeling van installatiecomponenten voor een energieleverende woning van belang zijn.

## 2 Installaties in de huidige woningbouw

De woninginstallatie wordt in de bouw normaal gesproken verdeeld in de Elektrotechnische Installatie, de Klimaattechnische installatie en de Sanitaire installatie, respectievelijk ET, KT en ST. Deze installatiecomponenten zijn vrijwel alleen binnen de woning te vinden. Installaties buiten de woning of aan de buitenschil zijn veelal beperkt tot electra voor bijvoorbeeld buitenverlichting. De buitenschil heeft dan alleen de functie van doorvoer. Hiervoor zijn producten op de markt, bijvoorbeeld passende hulpstukken bij dakpannen.

### 2.1 **Plaat van installaties in de woning.**

In de woningbouw wordt de installatie op de verdiepingen via de vloeren verdeeld, doorgaans in beton gestort, en vindt het verticale transport via (meestal) één leidingschacht plaats. De ET wordt vaak in de wanden omlaag gebracht. De installatie is na oplevering van de woning meestal slecht bereikbaar. De leidingschacht is meestal gesloten uitgevoerd. De vloeren zijn dichtgestort, en de installatie in de wanden is in sleuven aangebracht die daarna zijn dichtgesmeerd. Elektraleidingen kunnen alleen zonder hakken en breken worden toegevoegd indien tevoren loze leidingen zijn aangebracht.

De klimaat- en sanitaire installatie zijn doorgaans geheel ingestort in de vloeren, en kan alleen worden veranderd met grootschalig hak en breekwerk.

Er is in de huidige Nederlandse woningbouw vrijwel geen installatie aanwezig in de langsegevels. Verwarming en beperkt ET installatie kan in het binnenspouwblad aanwezig zijn. De meeste ET installatie wordt in binnenwanden, dragende wanden en binnenspouwblad van de kopgevel opgenomen. De ST en KT installatie wordt voor verticaal transport in een leidingschacht opgenomen.

### 2.2 **Installaties in de gebouwschil**

De gebouwschil wordt traditioneel niet gebruikt om installaties in 'op te bergen'. Platte daken worden gebruikt om installatiecomponenten op te zetten, die met een doorvoer worden verbonden met de installatie. Ook in woningbouwgevels blijft de 'integratie' beperkt tot het maken van doorvoeren.

### 2.3 **Partijen**

Het installatiewerk wordt in vrijwel alle projecten door verschillende partijen uitgevoerd. Vaak is er een afzonderlijke installateur voor electra, een voor waterleiding en riolering (ST), een voor de ventilatie en een voor de verwarming binnen een project actief. Deze partijen komen bovendien alle diverse malen terug op de bouwplaats om hun werk in stappen te kunnen doen.

### 2.4 **Installatieproces**

Het bouwproces van de vloer in de Nederlandse woningbouw kenmerkt zich door een grote mate van inefficiëntie. Mede doordat door de toeleverende vloerenindustrie nu

een halffabriek wordt geleverd dient in de bouw nog door vele partijen aan en op de vloer te worden gewerkt. Het grote aantal partijen, en het daarmee samenhangende arbeidsintensieve bouw- en installatieproces, wordt mede veroorzaakt door de horizontale installatietechnische infrastructuur die een onlosmakelijk deel uitmaakt van de vloerconstructie; zie figuur 2.1.



Figuur 2.1. Voorbeeld van het horizontale installatiewerk.

Een knelpunten in het proces zal hierna in kwalitatieve zin worden beschreven. Het installatieproces vraagt om veel arbeid op de bouw door de verschillende installatiedisciplines. Veel van deze arbeid dient in ruwbouwfase te geschieden en vindt daarbij in meerdere arbeidsgangen (bijvoorbeeld per vloer) plaats. De belangrijkste knelpunten hierbij zijn:

- Doordat veel werkzaamheden niet gelijktijdig maar separaat dienen te worden uitgevoerd is er sprake van relatief veel wachttijden met bijbehorende kosten zoals lonen, bouwrente, ...etc. Installateurs komen dus meerdere malen per woning terug om de volledige woning te installeren. In de volgende paragrafen zal hieromtrent enig cijfermateriaal worden gegeven.
- Het werk in de ruwbouwfase kenmerkt zich door de grote arbeidscomponent ten opzichte van de materiaalcomponent (lees slechte loon/materiaal verhouding). Het risico over arbeid is mede gelet op het vorige knelpunt (wachttijden) groot in het huidige installatieproces.
- De uitvoering van werkzaamheden in de ruwbouwfase geschiedt in weer en wind waardoor de bouwtijd en de kwaliteit variabel en moeilijk beïnvloedbaar zijn. Het vorige knelpunt (risico over arbeid) wordt hier eveneens door versterkt.
- De arbeidsomstandigheden in het huidige installatieproces zijn, mede door de grote hoeveelheid werk in de ruwbouw, vaak slecht. Naast de werkomstandigheden (het werken in weer en wind) is tevens de werkhouding slecht voor het personeel; zie figuur 2.2. De geïnterviewde installatiebedrijven hebben aangegeven hierdoor problemen te hebben met het vinden van personeel.



Figuur 2.2. Voorbeeld van arbeidsomstandigheden bij installatiewerkzaamheden.

Een ander belangrijk knelpunten in het huidige installatieproces is de grote inflexibiliteit tijdens de uitvoering. Het op een eenvoudige wijze invullen van veranderende koperswensen gedurende de bouw blijkt veelal niet eenvoudige realiseerbaar. Vaak vraagt dit in het huidige bouwproces om het nodige hak- en breekwerk met alle bijkomende kosten van dien. Dat betekent thans dat al in een zeer vroeg stadium definitief moet worden vastgesteld welke installaties er worden toegepast.

## 3 Flexibiliteit

### 3.1 Inleiding

Aan de installatie in de woningbouw worden recentelijk meer eisen gesteld. Een belangrijk aspect daarbij is de mate van flexibiliteit die gewenst is, zowel tijdens de bouwfase, als in het gebruik. In dit hoofdstuk wordt daar wat dieper op ingegaan. Doel van dit hoofdstuk is om randvoorwaarden ten aanzien van de flexibiliteit te geven die voor energieleverende woningen van belang zijn, of kunnen zijn.

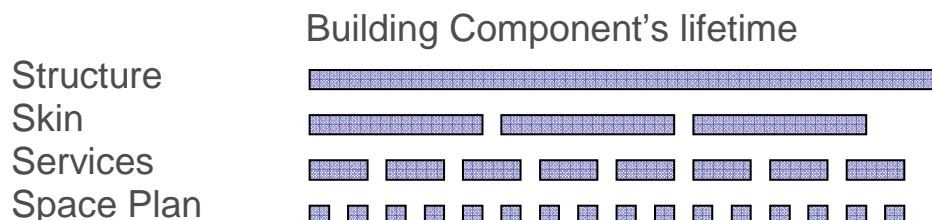
### 3.2 Levenduur van bouwdelen

Gebouwen, en dus ook woningen, kunnen worden ontleed en gegroepeerd naar een aantal bouwdelen. Deze bouwdelen kenmerken zich onder meer door verschillende levensduren. Er zijn in de literatuur verschillende indelingen in omloop. Steward Brand onderscheidt 6 niveaus: Site, Structure, Skin, Services, Space Plan en Stuff.

- Site, "the site is eternal"
- Structure, lifetime from 30 to 300 years
- Skin, changes every 20 years
- Services, lifetime 7 to 15 years
- Space plan, interior layout, commercial space 3 years and homes 30 years
- Stuff, weekly.

De installatie van een gebouw valt onder het niveau Services. Bij elk niveau hoort een typische levensduur, aflopend van Site naar Stuff. Voor het ontwerp van een gebouw zijn de constructie (Structure), de gevel en dak (Skin), de installatie (Services) en de binnenafwerking/ruimtelijke inrichting (Space Plan) van belang. De omgeving (Site) is een randvoorwaarde, en de inrichting (Stuff) wordt in overleg met gebruikers bepaald.

Een soortgelijke indeling is die van Christopher Alexander. Hij onderscheidt vier niveaus, die in bijgaande figuur zijn gegeven.



In wezen verschilt deze indeling niet van die van Brand, behalve dat Brand zowel een grotere als een kleiner schaal toevoegt. Omdat de structure de hele levensduur van het gebouw moet kunnen functioneren, zal deze weinig tot geen flexibiliteit bevatten. Dit houdt ook in dat bij het inpassen van Skin of Services als onderdeel van de Structure, er

goed moet worden nagedacht over de mogelijkheid deze onderdelen te vervangen/aan te passen, terwijl de Structure niet aangetast wordt.

In Nederland heeft Jos Lichtenberg een analyse gemaakt van de bij het bouwproces betrokken partijen en op basis daarvan principes voor het innoveren in de bouwsector gedefinieerd. Binnen de stichting Slim Bouwen worden deze principes met marktpartijen verder uitgewerkt in concrete ontwikkelingen.

Het fysiek en organisatorisch ontkoppelen van leidingen (installaties) blijkt de sleutel tot een efficiënter en dus economischer bouwproces te zijn. Door de installatietechniek een eigen plek te geven in het proces en in het gebouw, wordt industrieel bouwen mogelijk gemaakt en blijven gebouwen voor meerdere functies bovendien in de toekomst aanpasbaar (flexibiliteit).

Dat betekent een aanzienlijk hoger aanvangsrendement, lagere exploitatiekosten een langere exploitatieperiode en een hogere restwaarde.

Daarnaast is Slimbouwen® een herbezinning op materiaal- en volumegebruik hetgeen samen met de levensduurverlenging ten opzichte van het traditionele bouwen, een spectaculaire reductie van de milieubelasting met zich meebrengt (ca. halvering van gewicht, constructiediktes productie-energie, CO<sub>2</sub> uitstoot, transport, afval en fijnstof).

Voorbeelden waarin dit is toegepast is de Infra+ vloer, die bijvoorbeeld is gebruikt in het gebouw La Fenetre in Den Haag.

### 3.3 Behoeftte aan flexibiliteit

Flexibiliteit wordt veelal aangehaald vanuit een vraag van de eindgebruiker. Er is, onder andere van de TU Delft, onderzoek gedaan naar deze behoefte. Het blijkt dat de vraag naar flexibiliteit bij (de aanschaf van een woning door) bewoners moeilijk is aan te tonen, omdat de bewoner grotendeels onbekend is met de mogelijkheden op dit gebied. De consument denkt nu nog te veel op de korte termijn en zal moeten beseffen dat een investering in een flexibele woning wel rendabel kan zijn en een marktwaarde heeft op lange termijn. De meeste bewonersconsumenten willen hun woning helemaal niet drastisch veranderen. De meeste zijn tevreden als ze een keuken kunnen uitkiezen. Naast genoemde redenen speelt een belangrijke rol dat de eindgebruiker slechts een beperkte mogelijkheid heeft om flexibiliteit in te bouwen. Projectontwikkelaars en bouwbedrijven bepalen de grenzen waarbinnen dit kan.

Omdat de levensduur van een installatie veel korter is dan de gemiddelde levensduur van de constructie (waar de vloeren een deel van zijn) en gevels en daken, is het vanuit het oogpunt van de gebouweigenaar en een bewust materiaalgebruik wenselijk dat de installatie veranderd of vervangen moet kunnen worden zonder dat de constructie of de gebouwschil drastisch overhoop gegooid moet worden. Dit is hiervoor ook al aangegeven.

Een andere vorm van flexibiliteit is die tijdens het bouwproces. Een bouwbedrijf dat zo laat mogelijk nog koperswensen wil kunnen honoreren, en daarmee geld verdient, heeft belang bij het op een zo laat mogelijk ogenblik nog kunnen beslissen tot veranderen van de indeling. Vrijwel altijd is de installatie in de woning hierbij betrokken. Er is een toenemende vraag bij bouwbedrijven naar mogelijkheden om het bouwproces flexibel in te kunnen vullen, mede om antwoord te geven op de in hoofdstuk 2 genoemde knelpunten. Invulling hiervan in nieuwe concepten levert direct flexibiliteit op bij de eindgebruiker.

De flexibiliteit die gewenst is voor de verschillende soorten installaties, is grofweg in te delen in:

#### Elektrische installatie

De meest frequente aanpassing is gewenst bij de Elektrotechnische installatie. De eerste reden is het gedrag van de consument, die wellicht enige malen tijdens de duur van bewoning de inrichting verandert, en daarmee de behoefte om ergens electra en data aansluitingen te hebben zitten.

De ontwikkelingen op dit gebied van communicatie gaan erg snel. Draadloze communicatie en het toenemende aanbod van dataverkeer maken dat een ET installatie uitgebreid of aangepast moet kunnen worden.

#### Klimaattechniek

De klimaattechniek (ventileren en verwarmen) is sterk gekoppeld aan de indeling van de woning in ruimtes. Elke ruimte moet worden geventileerd en verwarmd. Zolang deze indeling niet drastisch wordt veranderd en de huidige installatie goed functioneert, is er geen behoefte de drastisch KT te wijzigen. Wel zal vervanging van onderdelen wegens technische gebreken of slechte prestatie op financieel vlak plaats vinden. Grote verbouwingen aan woningen, met inbegrip van de KT vinden waarschijnlijk veelal plaats bij mutatie of na een lange gebruiksduur (15 jaar) door bewoners die comfortabel willen blijven wonen.

#### Sanitaire techniek

De Sanitaire techniek is gekoppeld aan de plaats en indeling van met name de badkamer, toilet en keuken. De mogelijkheid om deze ruimtes in een woning eenvoudig op een andere plaats te realiseren zijn beperkt. De mogelijkheden om binnen de ruimtes de opstelling te wijzigen zijn wat groter. De wens van bewoners om hun badkamer op een andere plek te willen plaatsen is nauwelijks bekend bij toeleveranciers en bouwbedrijven (bron TNO project vloerconcepten). De mate van flexibiliteit beperkt zich dan tot veranderingen binnen de ruimtes of vergroting van de ruimte.

Indien er een wijziging gewenst is, gaat dit meestal gepaard met een investering in een geheel nieuwe badkamer en/of keuken. Want bij het veranderen/vernieuwen van het bad, de wastafel of het aanrechtblad, zal er schade ontstaan aan het tegelwerk en ontstaat de wens dan ook het tegelwerk in keer te vernieuwen. In dat geval is er al sprake van een grootschalige ingreep, en is het minder bezwaarlijk dat er wat hak- en breekwerk nodig is om de ST te wijzigen. Flexibiliteit tijdens de bouw is bij ST geen aandachtspunt.

### **3.4 Ontwikkelingen**

Er zijn verschillende initiatieven vanuit marktpartijen om het installatieproces flexibeler te maken voor bouwer en gebruiker. Dit wordt ingevuld in verschillende ontwikkelingen op product- en gebouwniveau. Voorbeelden binnen gebouwen zijn:

- Installatievloeren, zoals de Infra+ vloer, IDES vloer, Wingvloer (Betonson), of de VBI installatievloer
- Installatieoplossingen, zoals het Hager Kiss systeem.
- Ook producten die het relatief makkelijk maken installaties te integreren, zoals Metal stud systemen kunnen hiervoor worden toegepast.

De meeste van deze initiatieven bereiken de seriematige woningbouw niet. Ze blijven beperkt tot die projecten waar de opdrachtgever het directe belang van flexibiliteit ziet en specifiek vraagt om een van de genoemde producten, en bereid is daarvoor te betalen.

## 4 Installaties in energieleverende nieuwbouw

Binnen de ontwikkeling van energieleverende woningen binnen WAELS zijn onder meer de volgende doelen gesteld:

- Efficiënter en economisch bouwproces
- Eenvoudige vervanging/ verandering van installaties in de toekomst, omdat het:
  - o eigenaren minder geld kost installaties te vervangen / grotere tevredenheid bewoner
  - o bij vervanging er minder goed functionerende onderdelen gesloopt hoeven te worden, besparing op gebruik nieuwe grondstoffen en arbeidsinspanningen.

Theoretisch zou een eenvoudig aanpasbare woning moeten leiden tot een hoger aanvangsrendement, lagere exploitatiekosten en een langere exploitatie periode. In de huidige praktijk bepaalt de projectontwikkelaar welke investeringen in een nieuwbouwwoning worden gedaan. Deze heeft geen belang bij investeren in flexibiliteit tijdens de gebruiksfase. Omdat er wel een belang is bij het zo laat mogelijk aan kunnen bieden van (kopers-)opties, kan een zekere mate van flexibiliteit wel een voordeel opleveren voor een ontwikkelaar. Een slim ontwerp hiervan kan ook toegevoegde waarde opleveren voor een eigenaar of gebruiker, zodat eenvoudige vervanging, onderhoud of uitbreiding van de installatie mogelijk is, mocht die vraag ontstaan.

Een Energieleverende woning gaat gepaard met toename van de installaties. Dit betreft alle typen installaties. Een zonneboiler heeft invloed op de watervoorziening. PV panelen op de E installatie. Een warmte opslag systeem vraagt ook om installatietechniek. In het kader van het project WAELS is specifiek gekeken naar energie-opwekkers in de gebouwschil en compacte warmteopslag.

### 4.1 Efficiënte omzetting van zonlicht in de gebouwschil

De gebouwschil wordt gebruikt voor het opwekken van elektriciteit en warmte door bijvoorbeeld PV, zonthermisch of PVT (combinatie van PV of zonthermisch). Het is te verwachten dat de levensduur van deze componenten in de gevel of dak korter is dan de levensduur van het gebouw. Het is wenselijk om de basisfuncties van dak of gevel te laten vervullen door (traditionele) onderdelen die bewezen hebben dit te kunnen leveren. Het is derhalve aan te bevelen deze installatiecomponenten zo in de gebouwschil op te nemen dat het zonne-energiesysteem uitsluitend als energieleverend product werkt. Tevens zou het dak of gevel zo moeten worden uitgevoerd dat deze het mogelijk maakt PV systemen te monteren, en er moeten doorvoeren zijn om bekabeling naar binnen te voeren.

Wat betreft bouwtechniek, vormgeving en verwerkbaarheid is er behoefte aan producten die aansluiten op maatvoering in de bouw. PV en zonthermische systemen zijn vaak relatief groot, passen slecht in de maatvoering van dakbedekkingen of gevelbekledingen, en zijn moeilijk aan te brengen. De bouwkundige aansluitingen zijn een continu punt van zorg. Om hierop in te spelen zijn er twee mogelijkheden:

- ontkoppelen van functies: Waelsproducten zijn een toevoeging aan gebouw. Traditionele functies worden vervuld door ‘ normaal ‘ gebouw. Het gebouw

faciliteert de inpassing van zonne-energieproducten of energieopslagsystemen. Daarvoor moeten specifieke montagemogelijkheden aanwezig zijn, afgestemd op het gebruik.

- Een mogelijkheid is de ontwikkeling van een universele oplossing voor de mechanische/elektrische koppeling voor PV of PVT. Nu is het mechanische systeem vaak een (aluminium) constructie, en moet voor de bedrading een afzonderlijke oplossing worden gevonden. Deze ontwikkeling vraagt om een (sectoroverschrijdende) samenwerking tussen leveranciers, installateurs en bouwbedrijven.

In het kader van het project Zonnedak totaal is een analyse gemaakt van eisen waaraan een nog te ontwikkelen zonnedak moet voldoen. De conclusies uit dat project gelden ook voor inpassing van zonne-energieproducten in een WAELS woning. Dit PVE is niet volledig uitgeschreven. Een lijst met aandachtspunten is gegeven in bijlage A. Enkele wijzigingen zijn doorgevoerd om het passend te maken bij de WAELS woningen.

Belangrijke uitgangspunten zijn:

- de waterkering van het dak dient gescheiden te worden van de zonne-energie systemen; alleen met dit uitgangspunt voor ogen kan een gegarandeerd waterdicht dak worden verkregen
- het dak dient zoveel mogelijk geprefabriceerd te worden; de beoogde bouwkwaliteit is dan beter te realiseren
- het te produceren onderdak moet passen in het productieprogramma van de dakproducent
- loskoppelen van de installatiecomponenten van de overige functies van dak en gevel.

Wat betreft flexibiliteit is met name de onderhoudbaarheid en vervangbaarheid van belang. Het is niet te verwachten dat binnen 10 jaar de installatie vervangen moet worden, mede gezien de periodes voor afschrijving dit worden gehanteerd. Dit betekent in de woningbouwpraktijk, dat het zeer waarschijnlijk is dat er al een bewonerswisseling van de woning is geweest. Deze nieuwe bewoners moeten goed worden voorgelicht over de consequenties en mogelijkheden van de energievoorziening in de gebouwschil. Mocht er behoefte zijn aan bijvoorbeeld een uitbreiding van de woning, mag de energievoorziening daar geen belemmering voor vormen. Denk daarbij aan toevoegen van een dakkapel, of een uitbreiding aan de achterzijde van de woning. Voorbeeld: Ontwikkeling van dakkapellen met geïntegreerde energieopwekker, prefab te maken en te leveren, zou in een behoefte kunnen voorzien. Dit zou als een 'plug and play' voorziening op de markt kunnen komen. Bij het ontwerp van woningen zou daar wel al rekening mee gehouden kunnen worden.

## 4.2 Energieopslag installatie

De integratie van compacte warmteopslag kan worden vergeleken met de wijze waarop met de klimaat- en sanitaire installatie in de traditionele situatie omgegaan wordt, met de toevoeging dat er in dit geval aan- en afvoer plaatsvindt van de stof waarin de warmte wordt opgeslagen. Voor meer details wordt verwezen naar overige rapportages van WAELS.

De installatie bestaat uit onderdelen die ruimte innemen en een vaste plaats hebben, en onderdelen die voor het transport zorgen, het leidingwerk.

De installatie van de compacte warmte opslag waar de warmte wordt opgeslagen zal volgens eerste inschattingen vanuit het projectteam van WAELS ongeveer  $9 \text{ m}^3$  groot zijn en heeft een massa van  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Daarnaast is leidingwerk nodig om de warmte te vervoeren.

Tijdens de gebruiksfase van een gebouw hoeft de lange termijn energieopslag niet te worden verplaatst. Wel is de mogelijkheid voor het vervangen van het systeem wenselijk. Het achterlaten van loze ruimte na het functionele leven van het systeem is voor de bewoner niet gewenst.

De locatie van het opslagsysteem schept randvoorwaarden aan het systeem, maar ook aan de woning. De verschillende mogelijke locaties voor het systeem zijn: in de woning, onder de woning, naast de woning. Op de woning ligt in het geval van de rijtjeswoning niet voor de hand. Mocht het plat dak zijn dan is het visueel onwenselijk. De belasting van het systeem op de vloer moet expliciet in rekening worden gebracht. Dit levert extra kosten op voor aanvullende constructiedelen.

De installaties worden bij voorkeur in een beschutte omgeving geplaatst. Indien een locatie buiten of onder de woning wordt gekozen moet dit ter plaatse worden geregeld. Ook bestaan er kansen om warmteopslag op buurt, wijk of districtniveau te regelen. Daartoe moet dan een kleinschalige infrastructuur vanuit de woningen worden gerealiseerd. Daar wordt in het kader van dit rapport niet verder op ingegaan.

De leidingen waar warmte doorheen wordt vervoerd nemen veel ruimte in beslag. Het is zeker aan te bevelen het aantal en lengte van transportleidingen in de woning te beperken. Het verdient in dit verband de voorkeur de warmteopslag vlak bij de warmteopwekker op te stellen. Een opstelling vlak onder het dak, in de nabijheid van de zonnecollector en de CV ligt voor de hand, hoewel het thans nog niet zeker is dat een zonnecollector en compacte warmteopslag voldoende op elkaar zijn afgestemd. Zo zijn de temperaturen die door een collector worden geleverd anders dan de temperatuur die het opslagsysteem vraagt. Daar is een technische ontwikkelingslag nog volop aan de gang.

Omdat een opslag in de woning in veel gevallen dicht bij verblijfstuimtes is, moet het systeem (vrijwel) geruisloos zijn. Dit geldt voor de installatie zelf, maar uiteraard ook voor het leidingenwerk. Binnen goed geïsoleerde woningen is het omgevingsgeluid vrijwel weg, waardoor geluid van binnen extra nadrukkelijk aanwezig is.

Lekkages zijn gevaarlijk, bij chemische substanties moet het risico op lekkage tot een minimum worden gereduceerd, en denk aan mogelijkheid tot afvangen bij eventuele calamiteit.

De gemiddelde bouwkosten per kubieke meter voor een woning (exl. Grondkosten) zijn ongeveer 250 euro. Als grove schatting betekent dat bij een ruimtebeslag van  $9 \text{ m}^3$  er ongeveer 2250 euro alleen wordt besteed aan de opstelplaats voor het opslag systeem. Dit is nog los van de kosten van het systeem zelf.

Hier zou een ontwikkelingsprong nodig zijn tot een meer compacte oplossing. Een dergelijke ontwikkelstap kan gezet worden als de technische ontwikkeling van de opslagsystemen zover gevorderd is dat opschaling van de techniek vanuit het lab naar een prototype voor een woning kan worden gemaakt.

## 5 Oplossingsrichtingen

In dit rapport zijn in grote lijnen aanwijzingen gegeven voor de inpassing van installatietechniek in de (seriematige) woningbouw. Flexibiliteit, tijdens de bouw en tijdens gebruik, is een belangrijke randvoorwaarde. Deze randvoorwaarde houdt onder meer verband met de mogelijkheden voor onderhoud, uitbreiding en aanpassing van de installatie.

Een energieleverende woning zal meer ruimte vragen voor installaties dan een huidige standaard nieuwbouwwoning. Het is raadzaam om bij het ontwerp rekening te houden met zowel extra plaats voor het neerzetten van installatiecomponenten, als voor het transport (leidingen). Een extra leidingschacht is wellicht een standaard optie. Voor de toepassing van dak en gevel als energieopwekker moet een geschikte onderconstructie worden gebruikt. In het kader van eerdere projecten zijn daarvoor de eisen op een rij gezet, zie Bijlage A. Vervangbaarheid en bereikbaarheid voor onderhoud zijn belangrijke ontwerpissues.

Voor een warmteopslagsysteem moet een plaats worden gevonden in de woning. Gezien de verwachte relatief grote massa moet bij plaatsing op een vloer rekening gehouden worden met extra wapening. Plaatsing van een dergelijk systeem buiten de woning, of voor meerdere woningen ineens op een centrale plek tussen de woningen zou ruimte bieden hiervoor een afzonderlijke unit te ontwerpen, die los van het woningontwerp kan worden geplaatst. In dat geval moet rekening worden gehouden met extra leidingenwerk en doorvoeren. Omdat de ontwikkeling van compacte opslagsystemen nog in een vroeg stadium zit, kan een optimalisatieslag naar de woningsector later ter hand genomen worden. Daarbij kunnen zowel woningoplossingen, als oplossingen op het niveau van een bouwblok, een buurt of een wijk worden doorontwikkeld.

## A Zonnedak 2010 en Zonnedak Totaal

In het project Zonnedak Totaal is onderstaande lijst met randvoorwaarden opgesteld voor een optimaal ontwerp van daken voorzien van zonne-energieopwekkers.

### 1 Toepassingsgebied:

- a Woningbouw; eerst richten op renovatiesector; traditioneel pannendak.
- b Dakhelling: 30-60° (werkgebied 5-30° daarnaast wenselijk).
- c Oriëntatie ZW-ZO (PV+ zonnecollector).
- d Hoogte van het dak: <12 meter; windgebied I (dus inclusief kustgebied).
- e Extra aandachtspunt (extra wens):  
rekening houden met lokale invloeden: corrosie door zoutwater vanaf 2500m tot aan de kustlijn mogelijk.

### 2 Algemene uitgangspunten:

- a De waterkering dient gescheiden te worden van de ZE systemen door middel van een waterdichte dakbedekking.
- b Een universeel bevestigingssysteem voor zon-thermisch en PV. Universeel betekent dat het geschikt is voor verschillende paneelafmetingen.
- c De verantwoordelijkheden gescheiden houden voor de verschillende deelsystemen (zie het schema hieronder).
- d De bouwdelen worden geproduceerd met een hoge mate van prefabricage, waardoor werkzaamheden op de bouwplaats worden geminimaliseerd.
- e Het dak dient visueel aantrekkelijk te zijn.
- f Modulaire inpassing ZE systemen -> variatie in oppervlakte verhouding PV en zon-thermisch op basis van een vaste module maat.

### 3 Zonnecollector

- a *afmetingen*  
De oppervlakte dient afgestemd zijn op zonneboilergebruik.
- b *maatvoering*  
De maatvoering dient afgestemd te worden op het bevestigingssysteem en het PV systeem.
- c *dakdoorvoeren*  
De dakdoorvoeren zijn niet in het zicht, en geven geen beschadwing.  
Gebruik wordt gemaakt van geprefabriceerde voorzieningen in het dak.
- d *visueel*  
Het uiterlijk van de zonnecollector en randafwerking afstemmen op PV en overige componenten
- e *montage*  
De voorkeur gaat uit naar prefab montage van de zonnecollector op het dakelement. (indien om logistieke of financiële redenen de zonnecollector wel op bouwplaats wordt gemonteerd, dan moeten de benodigde dakdoorvoeren wel in prefab zijn aangebracht)
- f *Collectorisolatie*  
De collectorisolatie wordt geïntegreerd in de collector module.  
combinatie van dakisolatie met collectorisolatie is een optie, aandachtspunten hierbij zijn het nat worden van de collectorisolatie en de temperatuursbestendigheid tegen de stagnatietemperatuur van de zonnecollector.
- g *financieel*

Tenminste marktconform met huidige zonnecollector,

#### **4 PV modules**

##### *a type*

Keuze maken voor geframed (minder kwetsbaar) of ongeframed (=laminaat; visueel aantrekkelijker); beide opties zijn mogelijk  
celtype: multikristallijn, kristallijn of CIS

##### *b afmetingen*

Op basis van opgegeven maatvoering wordt definitieve selectie gemaakt van paneelafmetingen.

##### *c prestaties*

10 jaar opbrengstgarantie op basis van op te geven kWh/kWp

##### *d financieel*

marktconform

##### *e montage*

Bij een voldakstelsel van 3000Wp 2 mandagen met een ploeg van 2 man (bevestiging + bedrading)

#### **5 Onderdak**

##### *a type*

dakdoosconstructie; moet passen in productieprogramma van Opstalan.

##### *b isolatiemateriaal*

temperatuurbestendigheid van het isolatiemateriaal  
Voorkeur voor Rc-waarde = 2.5

##### *c buitenplaat*

buitenplaat moet geschikt zijn voor verkleving met EPDM.  
voorkeur spaanplaat boven OSB in verband met hechting EPDM kleeflaag.  
Geschikt voor het dragen van de zonne-energiecomponenten (sterkte in verband met windbelasting).  
12 mm spaanplaat lijkt voldoende voor bevestiging PV, echter uiteindelijke dikte wordt bepaald door krachten op bevestigingsmiddelen.

##### *d aansluitdetails*

aandacht voor luchtdichte en dampdichte afdichting:  
-nok  
-woningscheidende wand heeft twee uitvoeringsvormen: het dak ligt op óf tussen de woningscheidende wand.  
Beide uitvoeringsvormen moeten worden uitgewerkt.  
-eindgevel  
-elementen onderling: standaard detaillering Opstalan  
-goot: integreren van de goot in het dakelement.  
-schoorsteen  
-eventueel dakraam op noordzijde

##### *e dampremming*

keuze na condensatieanalyse

##### *f financieel*

Minimale meerkosten

#### **6 Waterkering**

Garantie: 10 jaar garantie op verwerking en materiaal, *verwerkbaarheid*  
Goed te verwerken in productiehal:

schoon en droog kunnen werken.  
*temperatuurbestendigheid*  
 Bestand tegen hoge temperaturen (ivm collector);  
*afwerking in de bouw*  
 Nauwkeurig omschrijven  
*financieel*  
 Minimale meerkosten

## **7 Dakdoorvoeren**

- a PV bekabeling*  
 waterdicht, luchtdicht, dampdicht  
 doorvoeren bij voorkeur via mantelbuis
- b Collectorleidingen*  
 waterdicht, luchtdicht, dampdicht  
 Wens: toe-/aanvoer collector via 1 of 2 mantelbuis(-zen).  
 Voor de aansluiting van de collectorleidingen geen loodgieter op het dak.
- c financieel*  
 doorvoeren mogen niet leiden tot significante meerkosten
- d montage*  
 dakdoorvoer mag montage niet hinderen
- e waterdichting*  
 dakdoorvoeren zijn af fabriek waterdicht

## **8 Bevestigingssysteem**

- a uitgangspunten*  
 voldakstelsysteem  
 universeel profielensysteem  
 geschikt voor PV en collectoren  
 geen invloed op waterdichtheid  
 eenvoudige montage in productiehal  
 eenvoudige montage op de bouwlocatie  
 flexibel na montage (verhouding PV-T)
- b financieel*  
 minimale meerkosten

## **9 EISEN TOTAAL DAK**

- a Condensatierisico*  
 maatregelen bij:  
 ontwerp  
 productie  
 transport  
 bouwfase
- b windbelasting*  
 eisen overeenkomstig BB  
 weerstand tegen windbelasting, windgebied 1, gebouwhoogte 12 meter
- c arbo aspecten*  
 aandacht voor veiligheid  
 arbo-voorzieningen aanbrengen op dakdoos

Waterdichting: Spouw: Constructie: Schets:	Buitenhuid waterdicht			Buitenhuid niet waterdicht	
	Spouw		Geen spouw	1 Spouw	2 Spouwen
	1	2	3	4	5
Schets:					
Opbouw (van binnen naar buiten)	- Binnenbeplating - dampremmende laag - Isolatiemateriaal - evt buitenbeplating - waterdichte/ dampdoorlatende laag - luchtspouw - PV als dakpan	- Binnenbeplating - dampremmende laag - Isolatiemateriaal - evt buitenbeplating - waterdichte/ dampdoorlatende laag - luchtspouw - PV in profielen	- Binnenbeplating - Dampdichte laag - Isolatiemateriaal - Buitenbeplating - PV rechtstreeks op buitenbeplating	- Binnenbeplating - Dampdichte laag - Isolatiemateriaal - evt buitenbeplating - waterdichte laag - luchtspouw - PV open systeem	- Binnenbeplating - Dampremmende laag - Isolatiemateriaal - evt buitenbeplating - waterdichte/ dampdoorlatende laag - luchtspouw - waterdichte laag - luchtspouw - PV open systeem
Voorbeelden	- RBB dakpan	- BOAL o.d.	-	- Pride	- InterSole

Afbeelding: 5 mogelijke principes Zonnedak 2010

Als algemene conclusies voor de ontwikkeling van Zonnedak 2010 worden genoemd:

- Aanwezigheid spouwruimten

Het Zonnedak moet een bouwtechnisch probleemloze constructie worden zonder gevaren van lekkage en vochtophoping. Daarbij zijn naast de opbouw van het dak zelf de nauwkeurigheid van de uitvoering van belang. Uit de berekeningen volgt dat bij constructies met een waterdichte, dampdichte laag direct op de dakelementen het vocht dat mogelijk tijdens bouw in de constructie dringt niet meer kan ontsnappen. Constructie met een geventileerde spouw onder de waterdichte laag bieden die mogelijkheid wel. Ook PV systemen en warmtewisselaars van energiedak leveren een beter rendement op wanneer er een goede ventilatie optreedt.

- Modulariteit

Het Zonnedak moet zowel voor grote als kleine systemen geschikt zijn. Bij realisatie van een klein systeem in aanvang moet wel de voorbereidingen getroffen worden om het systeem zonder ingrijpende wijzigingen aan het dak uit te breiden. Uiteraard dienen de investeringen c.q. voorzieningen die hiervoor vooraf gemaakt moeten worden beperkt te zijn. Gezien de tendens op PV gebied valt te denken aan een uitbreidbaarheid per 3-4 m<sup>2</sup>. Dit is ook een gangbare maat van een zonnecollector.

- Toekomstwaardevast

Het Zonnedak systeem moet de standaard zetten voor de lange termijn. Deze eis sluit aan bij de vorige: het systeem moet de mogelijkheid bieden om nog niet uitontwikkelde componenten in de toekomst te kunnen integreren. Bijvoorbeeld componenten van het energiedak. Deze is nu nog niet uitgewerkt, maar toekomstige ontwikkelingen/producten moeten wel in het Zonnedak systeem in te passen zijn.

- Open systeem

De bouw is in het algemeen een open bouwsysteem waarin producten van verschillende leveranciers na elkaar en naast elkaar worden toegepast. Daartoe is ook enige standaardisatie geregeld. De flexibiliteit van het Zonnedak is gebaat bij de openheid van het systeem. Dat wil zeggen een integratieproduct of afsprakenstelsel waarbinnen componenten van meerdere toeleveranciers een plaats kunnen vinden. De industrie moet gestimuleerd worden om producten/ accessoires voor het Zonnedak systeem te ontwikkelen. De voorsprong van de projectpartners dient in dit traject gewaarborgd te blijven. Een open systeem biedt ook de mogelijkheid om delen van het concept toe te passen op bestaande woningen. Dit was geen expliciete doelstelling van het project, maar betekent wel een duidelijke meerwaarde.

- Architectonische vrijheid

Een open systeem geeft aan architecten niet een pasklaar take-it-or-leave-it systeem, maar meerdere componenten met een verschillende uitstraling en zelfs de mogelijkheid om projectmatig componenten aan te passen dan wel anders over het dakvlak te schikken.

- PV op de bouwplaats

PV panelen zijn kwetsbaar. Het risico van breuk tijdens transport en montage is groot. Bovendien kan de hoge prijs leiden tot diefstal tijdens de bouwfase. Het aanbrengen van PV panelen op de bouwplaats heeft daarom de voorkeur. Het aanbrengen en koppelen van panelen moet plaats kunnen vinden door elektrotechnisch ongeschoolde bouwvakkers.

- Waterdichte dakelementen in de fabriek

Volgt uit de vorige conclusie. Het dak van de woning moet ook waterdicht zijn wanneer de PV panelen/ dakpannen nog niet op de woning zijn aangebracht.

De bevindingen leiden tot de eindconclusie dat met een Zonnedak volgens de principes 4 en 5, waarbij de buitenhuid niet waterdicht is, het beste aan de wensen voldaan kan worden. Zowel de energetische componenten, de eenvoud van montage, als de architectonische uitstraling worden met deze principes het beste bediend.