

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-R0636/B**

### Woningen als Energieleverend Systeem (WAELS): Technische randvoorwaarden

Datum	29 juni 2008
Auteur(s)	Dr.ir. C.P.W. Geurts Ir. E. van Nieuwenhuijzen Ir. D.R. Donkervoort ir. H. Visser (ECN) ing. M.J. Elswijk MSc. (ECN) ir. R. Schuitema (ECN) drs. M. Bakker (ECN)
Opdrachtgever	SenterNovem EOS-LT
Projectnummer	034.68997.01.01

Aantal pagina's	25
Aantal bijlagen	--

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>
1.1	Aanleiding .....	3
1.2	Doelstelling .....	4
1.3	Aanpak .....	4
1.4	Leeswijzer .....	4
<b>2</b>	<b>Uitgangssituatie .....</b>	<b>5</b>
2.1	Samenvatting toekomstscenario's .....	5
2.2	Generieke technische randvoorwaarden.....	7
2.3	Efficiënte benutting van de gebouwschil .....	9
2.4	Compacte Warmteopslag .....	11
<b>3</b>	<b>Technische randvoorwaarden per scenario .....</b>	<b>15</b>
3.1	Prestaties.....	15
3.2	Grensstellende partij.....	16
3.3	Prestatie eisen per scenario.....	17
<b>4</b>	<b>Afsluiting .....</b>	<b>23</b>
4.1	Samenvatting .....	23
4.2	Conclusie .....	24
4.3	Mogelijke vervolgstappen .....	24
<b>5</b>	<b>Referenties.....</b>	<b>25</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De gebouwde omgeving is verantwoordelijk voor een groot deel van de energieconsumptie in Nederland. Op dit moment is er meer dan een aantal jaar geleden, zeer veel aandacht voor verbruik van fossiele brandstoffen en duurzame energiebronnen. In Building Future, een samenwerkingsverband tussen ECN en TNO, bestaat de ambitie om in 2050 een energieneutrale gebouwde omgeving te verkrijgen. Dit vergt forse inspanningen, zowel in de nieuwbouw als in de bestaande bouw. Een van de mogelijkheden is om woningen ook energieleverend te maken. De voornaamste focus ligt daarbij op nieuwbouwwoningen. Naast een aantal zeer technologische vraagstukken, en benodigd R&D onderzoek naar nieuwe technieken, is ook aandacht nodig voor de procesmatige kant van de bouw en realisatie van de woningen.

Binnen het project WAELS (Woningen als Energieleverend Systeem) zijn drie werkpakketten gedefinieerd. Werkpakket A houdt zich bezig met het ontwikkelen van een bouwsystematiek. Binnen werkpakketten B en C wordt ingezoomd op de technieken voor respectievelijk benutting van de gebouwschil voor zonne-energie (B) en compacte warmteopslag (C).



Figuur 1: Schetsvoorbeeld van een mogelijke WAELS-woning

Dit rapport vormt een onderdeel van het werkpakket A en sluit aan op de reeds uitgevoerde toekomstverkenning voor energieleverende woningen (rapport 2008-D-R0634/B). In deze toekomstverkenning zijn vier extreme toekomstscenario's voor de woning als energieleverend systeem ontwikkeld, waarin een beeld wordt geschetst van het krachtenspel van partijen in de bouw- en energiekolom met betrekking tot grootschalige toepassing van energieleverende woningen. Vervolgens zijn randvoorwaarden bepaald waaraan de bouwsystemen in alle toekomstbeelden moeten voldoen om grootschalig toegepast te (kunnen) worden. Deze randvoorwaarden zijn kwalitatief beschrijvingen en technisch, economisch of maatschappelijk van aard.

## 1.2 Doelstelling

Doel van dit rapport is om per toekomstbeeld concrete kwantitatieve technische randvoorwaarden te bepalen die gelden voor zonne-energie-opwekkingstechnieken op de gebouwschil (werkpakket B) en compacte warmteopslag (werkpakket C). Met specifieke technische randvoorwaarden wordt bedoeld prestatie-eisen waaraan een energiesysteem in een scenario moet voldoen, zoals een gekwantificeerde maximale geluidsproductie. Op basis van deze eisen kunnen productontwikkelaars binnen de industrie en onderzoeksinstituten naar eigen inzicht producten ontwikkelen.

## 1.3 Aanpak

Het volgende plan is opgesteld om te komen tot specifieke technische randvoorwaarden per toekomstbeeld voor zonne-energie-opwekkingstechnieken en de compacte warmteopslag.

### Stap 1

Benoemen van prestaties voor energieopslag- en opwekkingsystemen die van belang zijn in een woning.

### Stap 2

Bepalen welke partijen bij specifieke prestaties de ondergrens stellen en daarmee een minimaal prestatieniveau afdwingen.

### Stap 3

Invulling van prestatie eisen voor energieopslag- en opwekkingsystemen per scenario.

## 1.4 Leeswijzer

Dit rapport vormt een onderdeel van het project WAELS (Woning als Energieleverend Systeem).

Omdat dit rapport aansluit bij de toekomstverkenning in werkpakket A en de bestudeerde technieken in werkpakket B en C wordt in hoofdstuk 2 een samenvatting gegeven van de ontwikkelde scenario's en worden werkpakketten B en C kort toegelicht. Daarnaast worden de technische randvoorwaarden, die gelden voor alle vier de scenario's, opgesomd.

In hoofdstuk 3 worden prestatie-eisen voor energieopslag- en opwekkingsystemen per scenario gegenereerd. Tot slot wordt er in hoofdstuk 4 afgesloten met een conclusie.

## 2 Uitgangssituatie

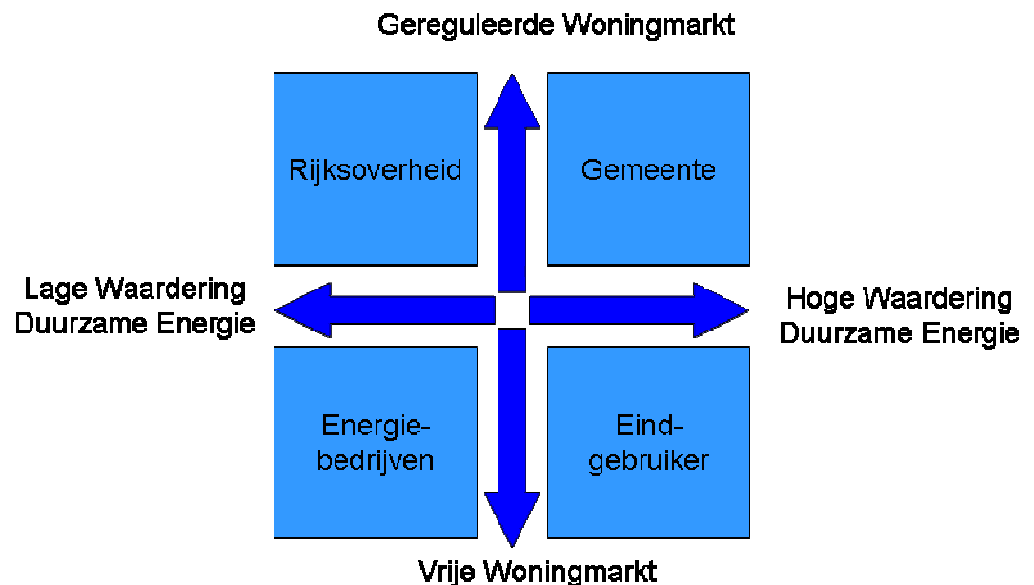
Het uitgangspunt voor het generen van concrete technische eisen voor zonne-energie-opwekkingstechnieken en compacte warmteopslag, is de reeds gedane toekomstverkenning (zie rapport 2008-D-R0634/B). In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de ontwikkelde toekomstscenario's en de hieruit gedestilleerde technische randvoorwaarden gelden binnen elk scenario, voor alle mogelijke energietechnieken.

Daarnaast worden de onderwerpen in werkpakket B en C kort toegelicht.

### 2.1 Samenvatting toekomstscenario's

Binnen werkpakket A zijn explorerende scenario's opgesteld, die bestaan uit vier extreme wereldbeelden. De scenario's zijn opgebouwd uit twee zogenaamde dominante onzekerheden. De bron voor de invulling van de scenario's is verschillend. Zowel interviews met belanghebbenden, deskresearch, brainstorm, discussie en creativiteit zijn daarbij gebruikt.

Figuur 2 toont de gekozen dominante onzekerheden, weergegeven langs de assen en de vragende partij van de vier scenario's.



Figuur 2: Schematische weergave van het gekozen assenstel en de initiërende partijen in de vier scenario's

Het beeld behorend bij de gekozen dominante onzekerheden is hieronder kort beschreven:

#### Gereguleerde woningmarkt

De overheid zal alles regelen in de gereguleerde krappe woningmarkt. Op lokaal niveau stelt ze bijvoorbeeld alle regels vast, bepaalt de woningbouwlocaties, geeft strikte eisen aan in een sterk op technische specificaties gebaseerd Bouwbesluit.

#### Vrije woningmarkt

Aan de andere kant van de as zullen ontwikkelaars en andere initiatiefnemers weinig in de weg gelegd worden om woningen te bouwen. Wijzigingen van bestemmingsplannen worden bijvoorbeeld eenvoudig, en het Bouwbesluit levert minimum eisen die vrij basaal zijn. De woningmarkt is ruim.

#### Hoge waardering duurzame energie

De hoge waardering van duurzame energie wordt veroorzaakt door een groot bewustzijn van klimaatverandering en het steeds nijpender tekort aan fossiele brandstoffen. De maatschappij is bereid te betalen voor duurzame energie.

#### Lage waardering duurzame energie

De lage waardering van duurzame energie aan de andere kant van de horizontale as komt doordat er voldoende energiebronnen blijven, en energie wordt niet als een belangrijk aspect beschouwd voor de gebouwde omgeving. Behoudens een aantal niche spelers is de maatschappij niet bereid te betalen voor duurzame energie.

Het algemene beeld rondom de drijvende krachten die behoren bij de vier scenario's is als volgt:

#### Scenario 1: De kracht van sociale zorg

De nationale overheid is in dit scenario de drijvende kracht. Zij wil zorg dragen voor een leefbare wereld voor latere generaties en wil zekerstellen dat er op lange termijn in Nederland voldoende energie geleverd kan worden. De nationale overheid heeft ook macht: doordat de woningmarkt sterk gereguleerd is, kan de nationale overheid veel regels en subsidies vaststellen voor nieuwbouwwoningen. Burgers en marktpartijen hebben geen oog voor latere generaties. De lagere overheden zijn niet invloedrijk genoeg om het zonder de nationale overheid voor elkaar te krijgen. Bovendien nemen zij vanwege het geringe maatschappelijke draagvlak voor energiebesparing nauwelijks zelf initiatief

#### Scenario 2: De kracht van de samenleving

De lokale overheid is in dit scenario de drijvende kracht. Het betreft hier tenminste de helft van de in Nederland aanwezige gemeenten en provincies. De meeste gemeenten doen dit om het imago van hun stad of regio een impuls te geven. Daarnaast is het hun taak om randvoorwaarden te scheppen om de wensen van de bevolking te faciliteren en te regisseren. De burgers willen in dit scenario namelijk wel, maar door het

woningtekort blijft de woningmarkt een aanbiedersmarkt, waarin de burger weinig in te brengen heeft. De projectontwikkelaars willen niet uit zichzelf omdat energielevering niet tot hun core business behoort. De koploperspositie van slechts een paar gemeenten past bij de initiatieffase van de ontwikkeling van WAELS. Bij een grootschalige toepassing van WAELS zijn minimaal de helft van de lagere overheden van zins de WAELS woning te promoten, faciliteren en stimuleren.

Bovendien is het nog steeds bestaande tekort aan ruimte een argument om alle ruimteclaims op lokaal en provinciaal niveau te kunnen plaatsen. Het gaat dan om woninglocatie als energieleveringlocaties.

#### Scenario 3: De kracht van het individu

De woningeigenaar is in dit scenario de drijvende kracht. De woningeigenaar verschilt in de huurders- en de kopersmarkt.

De koopwoningenmarkt is een vragersmarkt, waarin de wensen van de bewoners en huizenkopers ook ingewilligd kunnen worden. De gebouweigenaar kan zonder beperkingen bouwgrond aankopen en woningen realiseren, dan wel een machtsfactor vormen en bepalen wat projectontwikkelaars moeten bouwen. Vooral de hoge waardering van duurzame energie is in dit scenario het aangrijpingspunt voor het motief. De particulier wil bij een hoge energieprijs onafhankelijk zijn van de prijzen op de wereldmarkt. Een beperkt aantal particulieren wil actie ondernemen om de CO<sub>2</sub> productie te verminderen, daarbij gebruik makend van rendabele technieken om duurzame energie op te wekken. Vanuit comfort overwegingen is er een groeiend aantal particulieren dat niet alleen afhankelijk wil zijn van centrale stroomlevering.

In de huurwoningsector is het motief voor de woningbouwcorporatie als woningeigenaar het aanbieden van betaalbare woningen om daarmee huurinkomsten veilig te stellen. Daarnaast heeft de woningbouwcorporatie als doel maatschappelijk verantwoord te ondernemen.

#### Scenario 4: De kracht van bedrijfszekerheid

In dit scenario vormen de energiebedrijven de grote initiators van de WAELS woning. Omdat fossiele brandstoffen steeds moeilijker winbaar worden, en door de druk van de opkomende economieën nu en in de toekomst, zoeken energiebedrijven naar alternatieve bronnen, voor hun eigen toekomst, en om leveringszekerheid te garanderen. Duurzame energie in diverse hoedanigheden komen daardoor in beeld.

In het dichtbevolkte Nederland, met een groot beslag op de ruimte, onderkennen energiebedrijven het grote potentieel voor opwekking dat de gebouwde omgeving biedt. Omdat de eisen aan woning, woonkwaliteit minimaal zijn, en de markt dit vooral zelf regelt, hebben energiebedrijven ook een kans gezien en gepakt. De nationale overheid wil vanuit het langere termijn perspectief aandacht voor duurzaamheid, maar heeft in de gebouwde omgeving weinig zeggenschap.

In de rapportage over de scenario's wordt met name ingegaan op de rollen die verschillende partijen kunnen gaan spelen bij de toekomstige introductie en implementatie van energieleverende woningen. In dit rapport wordt verder ingegaan op de consequenties voor de technische invulling van de WAELS woning.

## **2.2 Generieke technische randvoorwaarden**

In deze paragraaf wordt een – niet uitputtend- overzicht gegeven van algemene randvoorwaarden voor de inpassing van energietechnieken in de WAELS woning.

De randvoorwaarden zijn tot stand gekomen door een interactieve brainstorm en discussie van de projectgroep over de ontwikkelde scenario's (inclusief skill-will matrix per scenario en SWOT analyse, die in het scenariorapport zijn beschreven).

Deze voorwaarden gelden binnen elk scenario, voor alle mogelijke energietechnieken. Aan deze randvoorwaarden moet een opwekking- of opslagsysteem in een WAELS-woning voldoen om binnen alle vier de toekomstbeelden grootschalig toegepast te worden. Uitgangspunten, die gaan over kwaliteit van de uitvoering op de bouw, en industrialisatie van bouwproducten, zijn meer generiek van aard voor de bouwsector, en zijn hier niet apart benoemd.

- De WAELS woning kan zowel op woning als op wijkniveau energieleverend zijn. Zoek naar optimale afstemming van WAELS met andere energieopties, waarbij vraag/aanbod planning op regionaal, wijk- en woningniveau van belang zijn. Beschouw daarbij ook locaties (ver) buiten de woning als opslaglocatie. Zowel WAELS als andere bronnen (bijvoorbeeld afvalwarmte) kunnen daarvan gebruik maken om energiepieken op te vangen.
- Onderhoud aan de installatie onderdelen kan het beste plaatsvinden zonder dat de eindgebruiker daar hinder van ondervindt.
- Bij de realisatie van WAELS-woning zal de aansluiting van de producten van verschillende leveranciers optimaal moeten zijn.
  - Systeem- en transportelementen van het energieopwekkings- en opslagsysteem moeten zoveel mogelijk onafhankelijk van de woning ontworpen worden. Onafhankelijk is zowel separaat als slimme integratie met aandacht voor onderhoud, vervanging en aanpassing. Standaardisatie is hierbij een sleutelwoord. Installaties hebben een andere levensduur dan bouwcomponenten
  - Ontwikkel technologieën die zoveel mogelijk ook stand-alone of doe-het-zelf (vergelijk met CV-ketel/ radiatoren DHZ) toegepast kunnen worden. De installatiebranche zal nog steeds actief betrokken zijn bij een groot deel van de installaties, maar men kan het ook zelf.
  - Ontwikkel WAELS bouwdelen waarin WAELS componenten in de fabriek met eenduidige kwaliteit zijn samengevoegd.
- Toepassing van technologieën in een consumentvriendelijke vorm met aandacht voor comfort biedt veel kans voor aanschaf en toepassing door consumenten. Daarbij spelen gebruiksgemak en gezondheid een belangrijke rol. De kosteneffectiviteit en de waardering daarvan kan per scenario verschillen. De weg daar naartoe vraagt wellicht meer dan bij andere energieconcepten het doorlopen van alle stappen van de introductie. Extra aandacht is nodig bij veldexperimenten en demonstratieprojecten.
- Om te garanderen dat energiemaatschappijen en/of consumenten energie blijvend kunnen leveren aan derden is inzet van nieuwe technieken en/of uitbreiding van het elektriciteitsnet van belang.

Het is mogelijk op basis van reeds bekende technieken een energieleverende woning te specificeren. Het werk van Tim van Twuijver en Marcel Fuchs geeft daarvan verschillende invullingen. Het hangt echter af van wie de sturende partij is, en daarmee van het scenario, welke randvoorwaarden aan de implementatie worden gesteld. Onder meer de eigendomsverhouding en kosten voor bouw en onderhoud spelen daarin een belangrijke rol.

## 2.3 Efficiënte benutting van de gebouwschil

Om een woning energieleverend te maken is veel lokaal opgewekte duurzame energie nodig, zowel warmte als elektriciteit. Gelukkig is er een hele gebouwschil beschikbaar die hiervoor gebruikt kan worden. Eén van de doelen van onderdeel B van het WAELS-project was om technologie te ontwikkelen die de gebouwschil zo efficiënt mogelijk benut om duurzame energie op te wekken.

In dit onderdeel zijn nieuwe materialen en productieprocessen ontwikkeld voor een hybride zonnecollector, een zogenaamde PVT-module. In zo'n PVT-module zijn fotovoltaïsche (PV) panelen met een zon-thermische (T) collector gecombineerd: een PVT module produceert dus tegelijkertijd zonnestroom en zonnewarmte. Met de in WAELS ontwikkelde kennis is het mogelijk om efficiëntere PVT-modules te maken, en deze op een meer geautomatiseerde, grotere schaal te produceren.

Tevens is in het project een visie ontwikkeld op de zonnecollector van de toekomst. In enkele workshops met experts vanuit zeer uiteenlopende vakgebieden is een inventarisatie gemaakt van alle technologische ontwikkelingen die de komende jaren en decennia verwacht worden. Dit is vertaald naar een reeks nieuwe mogelijkheden, maar ook extra randvoorwaarden, voor de zonnecollector van de toekomst.

In grote lijnen zijn tijdens de workshops de volgende vijf trends gesignaleerd:

- flexibel: zowel het gebouw als de installatie kunnen zich eenvoudig aanpassen aan gewijzigde of nieuw toegevoegde componenten of veranderende gebruikerswensen
- integratie: zowel de installatiecomponenten onderling als de installatie en het gebouw zijn onderling geïntegreerd en verwoven
- intelligent: het gebouw/de installatie past zichzelf en zijn gedrag zelfstandig aan de wensen en het gedrag van de gebruiker, het weer, en de gebruiksomstandigheden aan
- modulariteit: installatie- en gebouwcomponenten zijn eenvoudig toe te voegen en uit te wisselen
- zelfstandig: het gebouw voorziet in zijn eigen energiebehoefte.

Deze trends zijn uitgewerkt tot twee visies op de zonnecollector van de toekomst. In de twee verschillende visies is allebei uitgegaan van een energiezuinige woning, in energiegebruik vergelijkbaar met de passiefhuis-standaard.

De eerste visie ("Ontwerp A") bestaat uit een systeem met verschillende componenten die onderling samenwerken om de gehele woning energieneutraal te maken. De visie is gericht op de relatief korte termijn (rond 2015) en daarom is gebruik gemaakt van een aantal technieken die nu al beschikbaar zijn. In het ontwerp zijn 3 basiscomponenten verwerkt die met elkaar de hoofdfuncties voor het bereiken van een energieneutrale woning leveren:

- PV panelen met als functie het opwekken van elektriciteit
- Vacuümbuiscollectoren met als functie het opvangen van warmte
- Thermochemische opslag met als functie het opslaan van warmte

Opslag van elektriciteit is niet benodigd aangezien het een netgekoppeld systeem betreft.

De tweede visie ("Ontwerp B") is meer gericht op de lange termijn, en richt zich vooral op de aspecten modulariteit en flexibiliteit. Er sprake van verschillende modulaire bouwelementen. Per element zijn verschillende functies aanwezig die bijdragen aan de energielevering van de woning. Zo zijn er delen die zorgen voor de opwekking van elektriciteit, het opvangen van warmte, het efficiënt verdelen van zonlicht in woonruimten, het opslaan van warmte, etc. Doordat de opdrachtgever of de gebruiker kan kiezen welke elementen worden gebruikt, en waar deze precies in de woning terecht komen, kan naar eigen inzicht een woning ontworpen worden. Op deze manier is er sprake van een soort "duurzame energie bouw pakket".

Meer over de visies, het totstandkomingsproces, en de aannames die daarbij gemaakt zijn, is te vinden in *Energie-neutraliteit in de gebouwde omgeving: Concepten voor zonenergetische systemen in de toekomst* van Jochem Nijs, dat ook in het kader van projectonderdeel B is geschreven.

### 2.3.1 Technische eisen vanuit de zonnecollector

In het volgende hoofdstuk worden punten (randvoorwaarden) genoemd waarmee technische eisen gesteld worden. Hieronder wordt reeds kort aangegeven hoe de zonnecollector staat ten aanzien van deze randvoorwaarden.

- *Gevaarlijke stoffen:*  
In de huidige PV-panelen en zonnecollectoren worden geen gevaarlijke stoffen gebruikt. Er is geen reden om de verdere ontwikkeling van zonnecollectoren wel gebruik te gaan maken van gevaarlijke stoffen.
- *Geluidproductie:*  
In de collectoren zelf, d.w.z. op het dak, wordt geen geluid geproduceerd. Wel zijn enkele kleine pompen nodig om de opgewekte warmte naar het opslagsysteem te transporteren. Hiervoor zijn echter al zeer geluidsarme pompen op de markt beschikbaar.
- *Brandbaarheid:*  
Er worden geen brandgevaarlijke onderdelen gebruikt in zonnecollectoren of de daarbij behorende installatie.
- *Gewicht onderdelen*  
De huidige generatie PV-panelen en zonnecollectoren blijft in gewicht ruimschoots onder de maximaal toegestane dakbelasting. Het gewicht wordt daarbij vooral bepaald door de beschermende glasplaten, en het koper en aluminium dat in collectoren gebruikt wordt. De volgende generatie collectoren zal hoogstwaarschijnlijk geheel of gedeeltelijk uit kunststof worden gemaakt, en zal daarmee aanzienlijk lichter worden dan de huidige producten.
- *Omvang onderdelen*  
Voor het hier beschreven woningconcept is het belangrijk om zoveel mogelijk van het invallende zonlicht in energie—warmte of elektriciteit—om te zetten. Bij voorkeur wordt daarom het gehele dakvlak, behalve waar dat nodig is voor bijvoorbeeld ramen of dakkapellen, gebruikt voor de zonnecollectoren.
- *Levensduur*  
De huidige generatie PV-panelen en zonnecollectoren heeft reeds een bewezen levensduur van meer dan 25 jaar.
- *Demonteerbaarheid*

Dit is zeer afhankelijk van de keuzes die door de klant en/of opdrachtgever gemaakt worden. Collectoren kunnen zowel demontebaar als volledig gebouwgeïntegreerd worden uitgevoerd.

– *Onderhoud*

Het dakgebonden deel van de collectoren heeft normaal gesproken geen onderhoud of reiniging. Het bijbehorende pomp- en leidingwerk bevindt zich binnen de woning en kan tijdens een reguliere onderhoudsbeurt van de installatie eenvoudig worden meegenomen.

– *Netto levering*

De gegeven afmetingen zijn voor een systeem dat de warmtevraag voor 100% dekt, indien het systeem iets groter gedimensioneerd wordt, of als warmte overschotten in de zomer elders benut kunnen worden, is het systeem energieleverend.

## 2.4 Compacte Warmteopslag

Compacte warmteopslag is een belangrijke schakel om te komen tot energieleverende woningen. In werkpakket C is uitgebreid onderzoek gedaan naar materialen en methoden om met (thermo-)chemische stoffen warmte op te slaan. Warmteopslag in thermochemische materialen kan tien maal zo compact als warmteopslag in water.

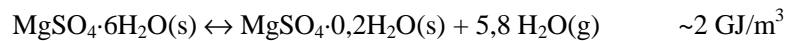
Deze paragraaf visualiseert het warmteopslagsysteem zoals dat doorgerekend is in werkpakket C. Met dit systeem in een woning is het mogelijk de volledige warmtevraag van een passiefwoning te dekken met zonne-energie. De daadwerkelijke realisatie van het beschreven opslagsysteem is nog afhankelijk van resultaten uit lopend en toekomstig onderzoek naar chemische materialen en reactoren waarmee de warmte omgezet wordt.

Het geschetste systeem is daardoor een afspiegeling van de huidige ideeën over thermochemische warmteopslag. Randvoorwaarden en eisen ten aanzien van bijvoorbeeld afmetingen, gewicht en geluidsproductie zijn een inschatting op basis van lopend en toekomstig onderzoek en worden mogelijk bijgesteld.

### 2.4.1 Beschrijving van thermochemische warmteopslag

In werkpakket C is voornamelijk onderzoek gedaan naar het zout magnesiumsulfaat,  $\text{MgSO}_4$ . Bij kamertemperatuur zijn zeven watermoleculen aan het magnesiumsulfaat gebonden,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . De basis van de thermochemische warmteopslag is het drogen en bewaren van het zout. Bij toevoeging van waterdamp aan het gedroogde zout, komt dezelfde hoeveelheid warmte vrij die eerder gebruikt is om het zout te drogen. Het drogen kan in de zomer plaatsvinden met zonnewarmte, in de winter kan het zout bevochtigd worden en de vrijkomende warmte gebruikt worden voor de verwarming van een woning.

Onderzoek heeft aangetoond dat de onderstaande reactiestap bij het hydrateren/dehydrateren van magnesiumsulfaat interessant is omdat hierbij tien maal zoveel warmte per kubieke meter zout gepaard gaat als opgeslagen kan worden in een kubieke meter water, namelijk 2GJ per  $\text{m}^3$ .

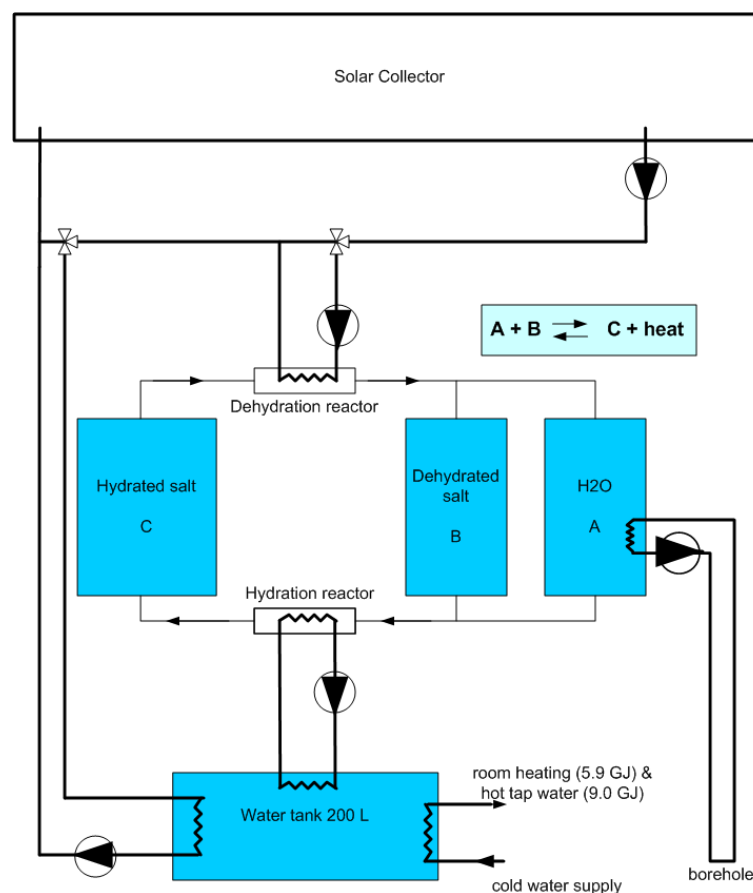


Het onderzoek naar deze reactie is gedaan op een laboratoriumschaal, de hoeveelheden zout zijn klein, van enkele milligrammen tot een paar gram. Bovendien zijn de reacties langzaam, het kan tot vijf uur duren voordat al het zout gehydrateerd is. Hierdoor is het zout of de omstandigheden waaronder de reactie plaatsvindt nog niet geschikt voor toepassing.

Toch is ook reeds onderzocht hoe een thermochemische opslag in een woning gerealiseerd kan worden. Op basis van een aantal aannames zoals de energiedichtheid van de reactie, de snelheid van de reactie en de mogelijkheid de hoeveelheid zout op te schalen naar enkele kubieke meters, is een woning met thermochemische seizoensopslag doorgerekend. De berekeningen geven inzicht in de benodigde vermogens van de reactoren, het aantal vierkante meter zonnecollector, de benodigde temperatuurniveaus enzovoorts. Deze systeem studie is de basis van de beschrijving van een thermochemische opslag in een woning in de volgende paragraaf.

#### 2.4.2 Beschrijving van een woning met een thermochemische seizoensopslag

In een systeemstudie zijn de thermochemische reactor en de thermochemische opslag 'black boxes' die ideaal gedrag vertonen. De opslagcapaciteit is gelijk gekozen aan de enthalpie van de reactie van magnesiumsulfaat:  $2\text{GJ/m}^3$ . Figuur 3 geeft schematisch de onderdelen van het opslagsysteem.



Figuur 3: Schematische weergave van thermochemische seizoensopslag.

Het systeem bestaat uit een vacuümbuis zonnecollector die in staat is een temperatuur van 150°C te leveren. Met zonne-energie wordt in de dehydratatie reactor het zout gedroogd. Het gedehydrateerde zout wordt apart opgeslagen van het vochtige zout.

Om de opgeslagen warmte te onttrekken, wordt de hydratatie reactor gebruikt. Het eerder uitgestookte water kan wel of niet bewaard worden, in elk geval is het belangrijk dat het water als waterdamp bij de hydratatie wordt aangeboden. Een manier om waterdamp te generen is via een bodemwarmtewisselaar, maar ook de ventilatielucht van de woning zou als 'vochtbron' kunnen dienen. Naar de meest efficiënte manier van het verkrijgen van voldoende waterdamp wordt nog onderzoek gedaan.

Uitgangspunt voor de warmtevraag is een passiefwoning met een warmtevraag van 6GJ voor ruimteverwarming en 10GJ voor warm tapwater. Om aan de tapvraag en de tapvermogens te kunnen voldoen is een klassieke waterboiler van 200 liter opgenomen in het systeem. De zonnecollectoren laden eerst de boiler en het overschot aan energie wordt opgeslagen in de thermochemische opslag.

Dit systeem is doorgerekend met verschillende collectoroppervlakken, reactorvermogens en zouthoeveelheden. Hierbij is een configuratie bepaald waarbij de totale warmtevraag voor 100% gedekt kan worden met zonne-energie. De uitgangspunten waar het systeem hiervoor aan moet voldoen staan in de volgende paragraaf.

#### 2.4.3 Technische eisen vanuit het opslagsysteem:

Zoals genoemd, zijn sommige onderdelen in het schema van figuur 3 nog niet beschikbaar. De technische eigenschappen voor deze onderdelen wordt ingeschat, maar kunnen in de loop van de tijd aangepast worden.

De zouthydraten zitten in opslagvolumes, er is minimaal 3m<sup>3</sup> zout nodig om 6GJ aan warmte te kunnen opslaan bij een energiedichtheid van 2GJ/m<sup>3</sup>. Als het droge en vochtige zout apart opgeslagen worden, is minimaal 6m<sup>3</sup> opslagvolume nodig. De tapvraag wordt dan gedekt uit de waterboiler van 200 liter. Afgaande op de nauwkeurigheid van de schatting wordt gesteld dat een volume van 10m<sup>3</sup> voldoende moet zijn voor een compacte seizoensopslag. De vorm van de opslagvaten is nog niet bekend, maar die hoeft niet cilindrisch te zijn.

Voor het transport van het zouthydraat naar de reactor moet nog een techniek uitgewerkt worden. De verwachting is dat dit met een vijzel (wormwiel), een pomp of blazend gedaan zou kunnen worden. Uit voorlopige ontwerpstudies naar mogelijke reactoren blijkt dat deze relatief klein kunnen zijn, ongeveer het volume van een kleine verwarmingsketel. Mogelijk verlopen de reacties beter onder een lage druk van ca 2mbar, dit zou impliceren dat het systeem ook een vacuümpomp nodig heeft.

De zonnecollector van het systeem moet een hoge temperatuur leveren, in de studies naar zouthydraten is uitgegaan van 150°C. Met een collector oppervlak van 15 tot 18m<sup>2</sup> kan voldoende warmte opgewekt worden om de seizoensopslag volledig te laden. De warmte wordt afgegeven op een temperatuur van 40°C, geschikt voor ruimteverwarming.

Tot slot heeft de hydratierector waterdamp nodig, hiervoor moet een duurzame bron gevonden worden. Indien water verdampt wordt met energie uit de opslag, kost dat zoveel energie dat de beschreven seizoenopslag niet meer toereikend is. Een mogelijkheid is om water te verdampen met warmte uit de bodem, of om vochtige ventilatielucht te benutten als bron voor waterdamp.

#### Randvoorwaarden gesteld vanuit werkpakket A

In het volgende hoofdstuk worden punten (randvoorwaarden) genoemd waarmee technische eisen gesteld worden. Hieronder wordt reeds kort aangegeven hoe de thermochemische warmteopslag staat ten aanzien van deze randvoorwaarden.

- *Gevaarlijke stoffen:*  
de meeste zouthydraten zijn ongevaarlijk. Magnesiumsulfaat bijvoorbeeld is niet giftig en niet corrosief. Sommige zouthydraten kunnen corrosief zijn, maar zijn ongevaarlijk als ze goed afgeschermd zijn in een container.
- *Geluidproductie:*  
het ontwerp zal gericht zijn op een minimale geluidsproductie. Het transport van het zout en de reactoren zijn wel potentiële geluidsbronnen.
- *Brandbaarheid:*  
zouthydraten zijn onbrandbaar.
- *Gewicht onderdelen*  
Eerste schattingen gaan uit van 8000 kg zouthydraat voor een seizoenopslag. Daar komt ongeveer 1000 kg aan installatie bij.
- *Omvang onderdelen*  
Eerste schattingen gaan uit van 3 m<sup>3</sup> zouthydraat voor een seizoenopslag. Inclusief zout, watertank en reactor zal het hele systeem ongeveer 10m<sup>3</sup> in beslag nemen.
- *Levensduur:*  
Nog onbekend, het systeem wordt ontworpen op 15 tot 20 jaar. Er wordt uitgegaan van een systeem waar het zout tussentijds niet vervangen hoeft te worden.
- *Demonteerbaarheid*  
Is nog onbekend, het zal een randvoorwaarde kunnen zijn die bij het ontwerp wordt meegenomen.
- *Omvang distributiesysteem binnen de woning*  
Eerste schetsen gaan uit van een zonnecollector van 15m<sup>2</sup> en een regulier lage temperatuur verwarmingssysteem (vloerverwarming). De zoutvoorraden moeten opgenomen worden in de woning. Leidingen van de zoutvoorraden, naar de collector en naar het verwarmingssysteem zijn nodig. De reactor zal de omvang van een regulier HR ketel hebben.
- *Type distributiesysteem buiten de woning*  
Het systeem zou ook buiten de woning geplaatst kunnen worden, daar is nu niet specifiek onderzoek naar gedaan.
- *Onderhoud*  
Onbekend in dit stadium, het is de bedoeling een systeem te ontwikkelen dat niet meer onderhoud nodig heeft dan nu met het verwarmingssysteem het geval is.
- *Netto levering:*  
De gegeven afmetingen zijn voor een systeem dat de warmtevraag voor 100% dekt, indien het systeem iets groter gedimensioneerd wordt, of als warmte overschotten in de zomer elders benut kunnen worden, is het systeem energieleverend.

## 3 Technische randvoorwaarden per scenario

Naast de generieke randvoorwaarden voor de techniek die gelden voor alle scenario's (zie vorig hoofdstuk) zijn er ook technische randvoorwaarden die per scenario verschillen. Doel van dit hoofdstuk is om per scenario de technische randvoorwaarden zodanig te concretiseren dat specifieke prestatie eisen kwantitatief kunnen worden beschreven. Een voorbeeld van een kwantitatief beschreven prestatie is het maximale aantal decibel is dat een installatie mag produceren. In dit rapport is specifiek getracht de randvoorwaarden te benoemen ten aanzien van de technieken uit werkpakket B zonne-energieopwekking en werkpakket C compacte warmteopslag. Veel van deze randvoorwaarden hebben echter ook betrekking op andere technische invullingen van de WAELS woning.

### 3.1 Prestaties

Prestatie eisen waaraan een energieopwekkingsysteem en warmteopslagsysteem moet voldoen zijn een invulling van concrete technische randvoorwaarden. Hiermee kan een productontwikkelaar goed uit de voeten.

In deze paragraaf worden de technische prestaties van energieopslag en -opwekkingstechnieken benoemd die van belang zijn in een woning. De prestaties rondom energie en financiën per installatiesysteem zijn zeer belangrijk, maar worden hier buiten beschouwing gelaten.

Hieronder volgt het overzicht van technische prestaties die vastgesteld zijn door het projectteam. Deze prestaties worden per scenario beschouwd.

- Gevaarlijke stoffen: de toepassing van materialen in de installatie die schadelijk zijn voor de gezondheid van mens.
- Geluidproductie: het geluid dat een installatie produceert.
- Brandbaarheid: de mate van ontvlambaarheid van de materialen.
- Gewicht onderdelen: de hoeveelheid massa die door de installatie toegevoegd wordt.
- Omvang onderdelen: de hoeveelheid ruimte die de installatie fysiek in neemt
- Levensduur: de tijdsduur dat de installatie (technisch) functioneert
- Demonteerbaarheid: de ontmantelbaarheid van de installatie
- Omvang distributiesysteem binnen de woning: de hoeveelheid ruimte die de installatie voor het transporteren van energie binnen de woning in neemt.
- Type distributiesysteem buiten de woning: het soort systeem waarmee de energie die geproduceerd is in de woning, naar andere locaties wordt getransporteerd.
- Onderhoud: het onderhouden (structurele schoonmaak en onderdeelvervanging) van het installatiesysteem.
- Netto levering: de hoeveelheid energie die een WAELS woning per jaar opwekt en levert aan derden verminderd met de hoeveelheid energie die de bewoners van de woning zelf gebruiken.

Per technische prestatie is een vraag geformuleerd, die voor zo ver mogelijk in ieder scenario moet worden beantwoord.

- Gevaarlijke stoffen: In hoeverre mogen materialen gebruikt worden die schadelijk zijn voor de gezondheid van mens?
- Geluidproductie: Wat is het maximale geluidsniveau dat geaccepteerd wordt?
- Brandbaarheid: Wat is de maximale maat van ontvlambaarheid van de materialen die wordt geaccepteerd?

- Gewicht onderdelen: Hoeveelheid massa wordt door de installatie toegevoegd aan de woning?
- Omvang onderdelen: Hoeveelheid ruimte mag de installatie fysiek in nemen?
- Levensduur: welke levensduur kan of moet gegarandeerd zijn?
- Demonteerbaarheid: Is de installatie eenvoudig te ontmantelen?
- Omvang distributiesysteem binnen de woning: Hoe groot is de installatie voor het transporteren van energie binnen de woning?
- Type distributiesysteem buiten de woning: Welke typen distributiesystemen worden er buiten de woning toegepast?
- Onderhoud: In hoeverre kan onderhoud worden uitgevoerd?
- Netto levering: Hoeveel energie moet een woning per jaar minimaal netto leveren?

### 3.2 Grensstellende partij

Om te kunnen bepalen in een scenario wat de minimale prestatie eis is, moet vast staan welke betrokken partij (of partijen) uiteindelijk de ondergrens stelt aan een specifieke prestatie. Deze partijen zijn vastgesteld door de volgende vragen te stellen:

- Wie accepteert een slechte prestatie niet?
- en
- Kan deze partij het gebruik van het systeem stoppen?

In de onderstaande tabel staat de uitkomst van deze exercitie. Opmerkelijk is dat in bijna alle gevallen de toeleverende industrie (in de tabel aangeven met “industrie”) genoemd staat als grensstellende partij. De toeleveranciers bepalen in hoeverre het economisch haalbaar is een bepaalde prestatie te leveren. De overige grensstellende partijen zullen veelal keuzes maken binnen het aanbod van de industrie. Als de eisen hoger worden, zal de industrie daar weer inspelen, echter weer binnen de eigen grenzen.

Tabel 1: Overzicht van technische prestaties voor energieopslag- en opwekkingstechnieken met bijbehorende grensstellende partijen

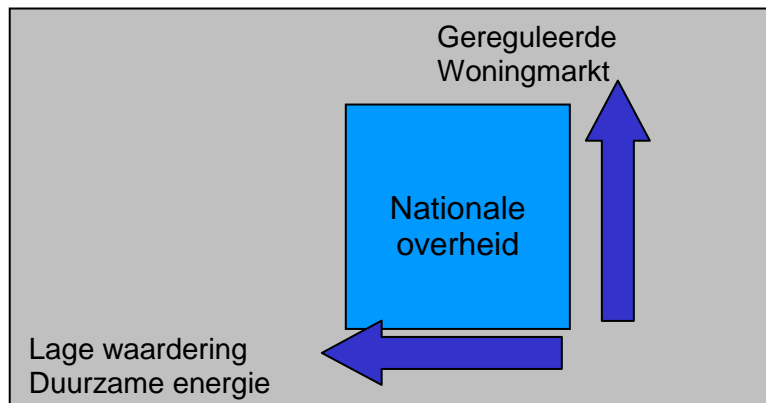
<b>Prestatie</b>	<b>Grensstellende partij</b>	<b>Redenatie</b>
Gevaarlijke stoffen	Overheid, industrie	Veiligheid van de burger staat altijd voorop bij nationale overheid
Geluidproductie	Bewoner, industrie	Geluid is een comfort aspect. Bewoner bepaalt acceptatie van het gebruik en de lange termijn toepassing. Immers bij teveel geluid gaat de stekker eruit.
Brandbaarheid	Overheid, industrie	Veiligheid van de burger staat altijd voorop bij nationale overheid
Gewicht onderdelen	Opdrachtgever, industrie	Opdrachtgever bepaald haalbaarheid van het project.
Omvang onderdelen	Opdrachtgever, bewoner, industrie	Primair bepaalt opdrachtgever de haalbaarheid van het project. Op lange termijn beïnvloed bewoner de opdrachtgever.
Levensduur	Eigenaar, industrie	Eigenaar van het systeem wil investering voor systeem "terugverdienen" met geld, maatschappelijke status of comfort
Demonteerbaarheid	Eigenaar, industrie	De eigenaar van het systeem is als enige gebaat bij het kunnen vervangen van het systeem
Omvang distributiesysteem in woning	Opdrachtgever, bewoner, industrie	Primair bepaalt opdrachtgever de haalbaarheid van het project. Op lange termijn beïnvloed bewoner de opdrachtgever.
Type distributiesysteem buiten woning	Energiebedrijf Overheid	Energiebedrijf, eigenaar van het distributiesysteem en is verantwoordelijk voor de distributie. Nationale overheid wil leveringszekerheid en veiligheid voor burgers.
Onderhoud	Eigenaar, industrie	Eigenaar van het systeem wil investering voor systeem "terugverdienen" met geld, maatschappelijke status of comfort
Netto levering	-	De vragende partij naar een WAELS woning is benoemd per scenario. Deze partij zal tijdens initiatie van een WAELS de prestatie t.a.v. netto energielevering bepalen.

### 3.3 Prestatie eisen per scenario

In deze paragraaf is het resultaat van de invulling van de prestatie eisen per scenario weergegeven. Het kader van waaruit de eisen geformuleerd zijn bestaat uit de scenario's waarvan in hoofdstuk 2 een samenvatting is opgenomen en de eerder benoemde grensstellende partijen. Aanvullend op samenvatting wordt per scenario kort een aantal aspecten benoemd die van belang zijn voor de technische eisen.

### 3.3.1 Prestaties Scenario 1: Nationale Overheid als vragende partij

De nationale overheid kan alles eisen op woningniveau, maar zal geen specifieke technieken voorschrijven of verbieden. Wel schrijft ze prestatie eisen voor. Er is meer draagvlak voor 'sparen voor later' dan voor 'nu energie opwekken'. De overheid schrijft strenge eisen voor met betrekking tot opslag, maar ook met betrekking tot aspecten die invloed hebben op het gedrag van de bewoner ten aanzien van energiebesparing. Comfort is de drijfveer voor het gedrag van een bewoner.



Tabel 2: Overzicht van eisen binnen scenario 1

<b>Prestatie</b>	<b>Eis</b>
Gevaarlijke Stoffen	Of verboden of alleen toepassing van gevaarlijke stoffen toestaan onder strikte regels
Geluidproductie	Hoge eisen voor de toe te passen installaties, want de overheid luistert naar de grensstellende partij m.b.t. het gebruik van het installatiesysteem.
Brandbaarheid	Of verboden of streng gereguleerd
Gewicht onderdelen	Wordt niet voorgeschreven door de nationale overheid, opdrachtgevers hebben weinig invloed. Een drijfveer voor de industrie is dat een licht systeem gewenst wordt door aannemers en der halve concurrentievoordeel kan geven
Omvang onderdelen	Wordt niet voorgeschreven door de nationale overheid, opdrachtgevers en bewoners hebben weinig invloed. Een drijfveer voor de industrie is dat een klein systeem gewenst wordt door opdrachtgevers en bewoners en der halve concurrentievoordeel kan geven
Levensduur	Eigenaar van het systeem heeft weinig belang bij een lange levensduur. De nationale overheid stelt geen eisen aan de levensduur van het product.
Demonteerbaarheid	Eigenaar van het systeem heeft weinig belang bij demonteerbaarheid. De nationale overheid stelt geen eisen aan de demonteerbaarheid van het product.
Omvang distributiesysteem	Wordt niet voorgeschreven door de nationale overheid, opdrachtgevers en bewoners hebben weinig invloed. Een drijfveer voor de industrie is dat een klein systeem gewenst wordt door opdrachtgevers en bewoners en der halve concurrentievoordeel kan geven
Type distributiesysteem	De nationale overheid eist dat alle woningen een aansluiting op het distributiesysteem hebben en bepaald de hoogte van de vergoeding voor energieafgifte door woningen aan het distributiesysteem
Onderhoud	Eigenaar van het systeem heeft weinig belang bij onderhoud. De nationale overheid stelt als eis dat onderhoud van installaties beperkt en eenvoudig moet zijn, anders plegen bewoners helemaal geen onderhoud.
Netto levering	De nationale overheid stelt uniforme regels t.a.v. minimale netto energie levering op bij oplevering van nieuwbouwwoning.

**Samenvattend:**

Technische eisen die raken aan welzijn en comfort zal de nationale overheid specifiek voorschrijven. De invulling van de overige technische prestaties (exclusief

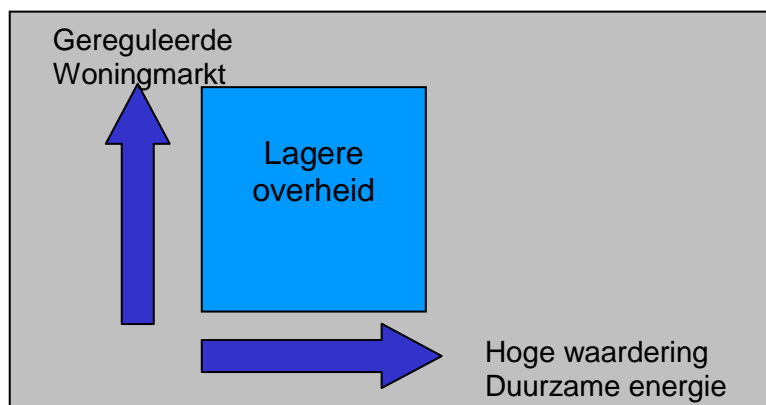
energieopwekking of opslagprestaties en financiële prestaties) wordt overgelaten aan de markt.

De nationale overheid zal uniforme eisen stellen ten aanzien van veiligheid en uniforme strenge eisen ten aanzien van comfort.

Daarnaast zal ze een uniforme minimale netto energieleverings eis bij nieuwbouw stellen.

### 3.3.2 Prestaties scenario 2: Gemeentes als vragende partij

De lokale overheden willen het imago van hun stad of regio een impuls geven en de burgers faciliteren. Zowel energie besparen, energie leveren als energieopslag wordt gewaardeerd en toegepast in WAELS. Bewoners zijn bereid iets over te hebben en/of de consequenties te dragen van een WAELS, maar hebben niet alles voor het zeggen omdat het een gereguleerde markt is. Gemeenten bepalen in belangrijke mate hoe en wat er gebouwd mag worden (bijvoorbeeld 'ELS-wijken'). Hun credo is dat niets mag, tenzij het duurzaam is. Bijvoorbeeld vergunningaanvragen voor verbouwingen met een energieleverend, -besparend, en/of -opslagsysteem worden eerder verleend. Er zijn veel leveranciers in deze vragersmarkt van energiesystemen, waarbij onderscheidend vermogen voornamelijk bij de renovatiemarkt groter wordt als meer aan gebruikerswensen tegemoet wordt gekomen.



Tabel 3: Overzicht van eisen binnen scenario 2

<b>Prestatie</b>	<b>Eis</b>
Gevaarlijke Stoffen	Of verboden of alleen toepassing van gevaarlijke stoffen toestaan onder strikte regels
Geluidproductie	Eis bewoner wordt vertaald in lokale bouwverordening. Dit kan projecten specifiek zijn. Bewoner zal in dit scenario eerder een geluid accepteren vanwege de waardering van duurzame energie dan in scenario 1 nationale overheid als vragende partij of 4 energiebedrijven als vragende partij.
Brandbaarheid	Of verboden of streng gereguleerd.
Gewicht onderdelen	Wordt niet voorgeschreven door de lokale overheid, opdrachtgevers hebben weinig invloed. Een drijfveer voor de industrie is dat een licht systeem gewenst wordt door aannemers en der halve concurrentievoordeel kan geven
Omvang onderdelen	-
Levensduur	-
Demonteerbaarheid	-
Omvang distributiesysteem	-
Type distributiesysteem	-
Onderhoud	-
Netto levering	-

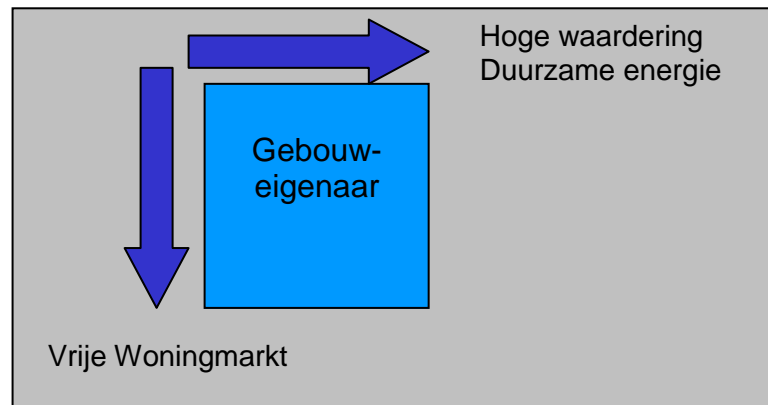
#### Samenvattend:

De nationale overheid stelt uniforme eisen ten aanzien van veiligheid en de lokale overheden stellen diverse eisen ten aanzien van comfort.

Diverse minimale netto energieleveringseisen worden door lokale overheden verordend. Ook stellen ze diverse eisen ten aanzien van levensduur en demonteerbaarheid ter bescherming consument.

#### 3.3.3 Prestaties scenario 3: Eigenaar als vragende partij

De koopwoningenmarkt is een vragersmarkt, waarin de wensen van de bewoners en huizenkopers ook ingewilligd kunnen worden. Gebouweigenaar maakt gebruik van totale pallet aan mogelijkheden op energiegebied zoals energie besparen, energie leveren en energieopslag. Soms is de waardering van een energiesysteem alleen economisch op korte termijn, maar systemen kunnen ook potentiële meerwaarde leveren op lange termijn door waardering andere gronden. Demontabele en vervangbare systemen, waarbij de prijs, gemak en effect het succes van het product bepalen, zijn populair, omdat dit het beste past bij de wensen van de gebouweigenaar. Er zijn veel alternatieve systemen, omdat functionele eisen verschillen per woningtype. In de huursector is onderhoudsarm en robuust van belang.



Samenvattend:

De nationale overheid stelt uniforme eisen ten aanzien van veiligheid.

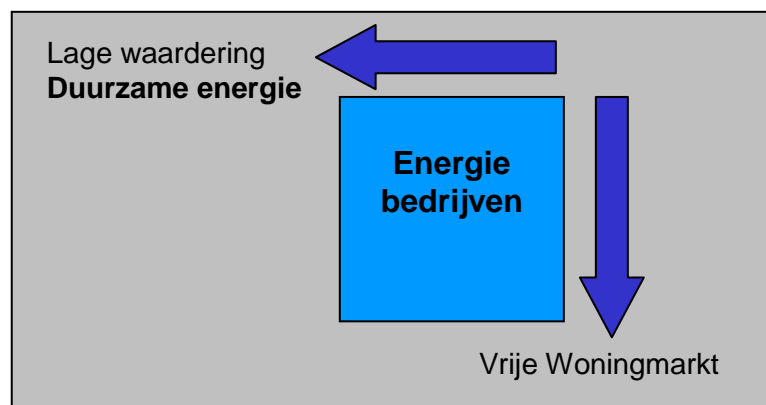
Gedifferentieerde eisen t.a.v. netto energielevering, voortkomend vanuit de consument

Diverse eisen, waaronder eisen ten aanzien van comfort, komen voort vanuit de macht van de consument

### 3.3.4 Prestaties scenario 4: Energiebedrijf als vragende partij

Energiebedrijven benutten het grote potentieel voor opwekking dat de gebouwde omgeving biedt. De eisen aan woning zijn vanuit regelgeving minimaal vastgelegd.

Energieopwekking is voor energiebedrijven economisch van belang. Ze willen hiervoor zoveel het oppervlak van de buitenschil van een woning benutten. De opwekking is primair elektra, maar kan ook warmte zijn. (elektriciteit is beter transporteerbaar en verhandelbaar) Energieopslag en energiebesparing op woningniveau is niet relevant voor energiebedrijven. Bewoners vragen hier ook niet naar. Comfort van een woning en dus ook van energieopwekkingsystemen is belangrijk i.v.m. de acceptatie en macht van een bewoner.



Samenvattend:

De nationale overheid stelt uniforme eisen ten aanzien van veiligheid.

Diverse strenge eisen ten aanzien van comfort komen voort vanuit de macht van de consument

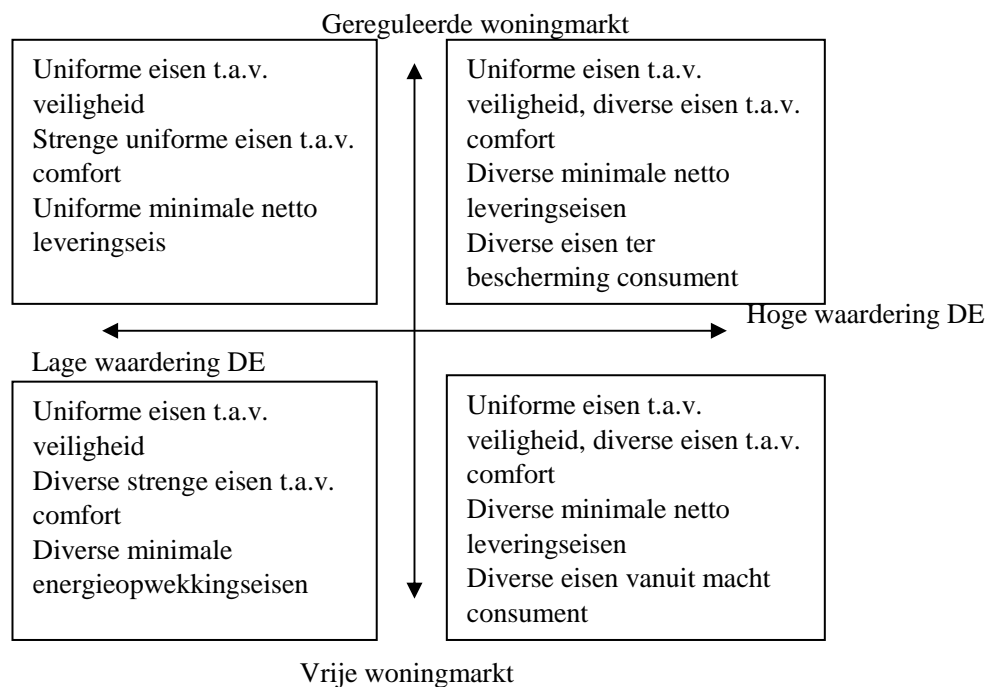
Energiebedrijven eisen dat opwekkingsystemen demonteerbaar zijn

Gedifferentieerde eisen t.a.v. minimale energieopwekking worden gesteld door de energiebedrijven.

## 4 Afsluiting

### 4.1 Samenvatting

Dit rapport sluit aan op het TNO rapport 2008-D-R0634/B, toekomstscenario's voor de WAELS woning. Aanvullend op dat rapport is per scenario onderzocht welke de technische randvoorwaarden zijn. In figuur 4 is het niveau waarop de technische prestaties per scenario beschreven zijn, weergegeven.



Figuur 4: Samenvattend overzicht van kwalitatieve beschrijving van technische eisen voor energieopwekking- en opslagtechnieken per scenario

## 4.2 Conclusie

Dit rapport geeft globale randvoorwaarden voor de inpassing van technieken in de WAELS woning. Deze randvoorwaarden zullen bij een verdere uitwerking meer concreet gemaakt kunnen worden, enerzijds vanuit de wettelijke eisen vanuit bijvoorbeeld Bouwbesluit, anderzijds vanuit eisen die een opdrachtgever of bepalende partij stelt.

Per prestatie lijken er binnen de vier verschillende scenario's geen verschillen te zitten in de grensstellende partijen. Daarnaast bleek het niet mogelijk om met eenduidige onderbouwingen te komen tot het beantwoorden van de vragen (zoals: Wat is het maximale geluidsniveau dat geaccepteerd wordt?) die gesteld zijn in paragraaf 3.1 ten aanzien van het prestatieniveau.

Deze vragen en bijbehorende antwoorden zijn bovendien vaak projectspecifiek, en zijn daarom niet generiek te omschrijven.

## 4.3 Mogelijke vervolgstappen

In een vervolgproject kunnen de globale randvoorwaarden nader worden ingevuld tot concrete eisen. Uitwerking hiervan binnen concrete demoprojecten lijkt hiervoor een passend middel.

De in dit rapport geformuleerde eisen zouden nader kunnen worden ingevuld en geconcretiseerd. Dit kan leiden tot een meer uniforme invulling van een programma van eisen voor een energieleverende woning.

In een parallelle rapportage wordt meer concreet ingegaan op eisen ten aanzien van installaties in de woningbouw, in het bijzonder de energieleverende woning. Dat rapport kan dienen als eerste basis voor de verdere technische invulling.

## 5 Referenties

Tim van Twuijver: Woning als Energieleverend systeem:  
Analyse van de barrières en de kansen voor de grootschalige toepassing  
van energieleverende nieuwbouwwoningen, TU Eindhoven, oktober 2007

Marcel Fuchs: Houses as Energy Delivering Systems, - a conceptual design, TU Delft,  
June 2008.

Jochem Nijs: Energieneutraliteit in de Gebouwde Omgeving, 'concepten voor  
zonenergetische systemen in de toekomst', Universiteit Twente, 10-7-2007

TNO rapport 2008-D-R0634/B, toekomstscenario's voor de WAELS woning.

TNO rapport 2008-D-R0635/B, Woningen als Energieleverend Systeem, Faciliteren  
van Installaties.