



Rijksdienst voor Ondernemend  
Nederland

## Verkenning nationale en internationale ontwikkelingen

EOS-LT Rigoureux WP1

Datum            Juli 2009

ECN, TU Delft, TNO en DHV

In opdracht van SenterNovem (nu Rijksdienst voor  
Ondernemend Nederland)

Publicatienr    RVO-160-1501/RP-DUZA  
[www.rvo.nl](http://www.rvo.nl)

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van  
Economische Zaken.



# Rigoreus WP 1

## Verkenning nationale en internationale ontwikkelingen

# Rigoreus WP 1

## Verkenning nationale en internationale ontwikkelingen

EOS : UEOSS0671332  
SenterNovem  
juli 2009  
definitieve rapportage



<b>INHOUD</b>	<b>BLAD</b>
1 SAMENVATTING	3
2 BESTAANDE BOUW RIGOREUS AANGEPAKT	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Achtergrond	8
2.3 Probleemstelling	9
2.4 Doelstelling	10
2.5 Inhoudelijke aanpak	11
2.6 Projectorganisatie	12
2.7 Leeswijzer	12
3 PRINCIPES EN UITGANGSPUNTEN RIGOREUS	14
3.1 Principe aanpak	14
3.2 Referentiesituatie	16
3.2.1 <i>Referentiewoning</i>	16
3.2.2 <i>Referentie energieverbruik</i>	19
3.2.3 <i>Referentiebewoners</i>	21
4 VRAAGBEPERKING RUIMTE- EN TAPWATERVERWARMING	26
4.1 Minder vragen = minder nodig	26
4.2 Huidige praktijk en ambitieniveau	26
4.3 Ontwikkelingen techniek	27
4.4 Nieuwe ontwikkelingen	32
4.4.1 <i>Nationale ontwikkelingen</i>	32
4.4.2 <i>Internationale ontwikkelingen</i>	35
4.5 Ontwikkelingen gebruiker en gedrag	39
4.6 Gewenste ontwikkelingen	40
4.7 Besparingspotentieel vraagbeperking	41
4.8 Conclusie vraagbeperking	42
5 VERMINDEREN ELEKTRICITEITSVERBRUIK	43
5.1 Meer of minder elektriciteit?	43
5.2 Huidige praktijk en ambitieniveau	43
5.3 Ontwikkelingen techniek	43
5.4 Nieuwe ontwikkelingen	50
5.4.1 <i>Nationale ontwikkelingen</i>	50
5.4.2 <i>Internationale ontwikkelingen</i>	52
5.5 Ontwikkelingen gebruiker en gedrag	52
5.6 Gewenste ontwikkelingen	56
5.7 Besparingspotentieel elektriciteit	57
5.8 Conclusie elektriciteit	58
6 GEBRUIK DUURZAME BRONNEN EN PASSIEVE ZONNE-ENERGIE	59
6.1 Duurzaam en passief	59
6.2 Huidige praktijk en ambitieniveau	59
6.3 Ontwikkelingen techniek	59
6.4 Nieuwe technieken en ontwikkelingen	66



6.4.1	<i>Nationale ontwikkelingen</i>	66
6.4.2	<i>Internationale ontwikkelingen</i>	68
6.5	Ontwikkelingen gebruiker en gedrag	68
6.6	Gewenste ontwikkelingen	69
6.7	Besparingspotentieel	70
6.8	Conclusie duurzame bronnen	70
7	EFFICIËNTE REGELING/BEHEER	71
7.1	Gemakkelijk genoeg	71
7.2	Huidige praktijk en ambitieniveau	72
7.3	Ontwikkelingen techniek	72
7.4	Nieuwe ontwikkelingen	73
7.4.1	<i>Nationale ontwikkelingen</i>	73
7.4.2	<i>Internationale ontwikkelingen</i>	73
7.5	Ontwikkelingen gebruiker en gedrag	74
7.6	Gewenste ontwikkelingen	74
7.7	Besparingspotentieel	75
7.8	Conclusie regeling/beheer	76
8	EXTERNE DUURZAME BRONNEN	77
8.1	De elementen water, aarde, wind en zon	77
8.2	Huidige praktijk en ambitieniveau	77
8.3	Ontwikkelingen techniek	79
8.4	Ontwikkelingen gebruiker en gedrag	83
8.5	Gewenste ontwikkelingen	84
8.6	Besparingspotentieel	84
9	ANALYSE EN VERVOLG	85
10	REFERENTIES	88
11	COLOFON	89

**Bijlagen:**

1. Leden van de klankbordgroep
2. Aanwezige elektrische apparaten in referentiewoning

## 1 SAMENVATTING

Om de nationale en Europese ambities ten aanzien van energietransitie in de gebouwde omgeving te kunnen realiseren, zijn op een termijn van 10 tot 15 jaar renovatieconcepten noodzakelijk die een reductie van 75% op het totale energieverbruik kunnen realiseren. Dergelijke ambitieuze concepten voor de woningbouw zijn alleen haalbaar indien voor een innovatieve, samenhangende aanpak wordt gekozen waarbij maatregelen op het gebied van bouwproces, bouwkunde, installatietechniek én huishoudelijk energieverbruik hand in hand gaan. Scenariostudies onderbouwen de noodzaak hiervoor. Omdat energie in de praktijk niet leidend motief is bij renovatie, moet voor grootschalige toepassing een 'hoge ambitie' renovatieconcept bovendien voldoen aan alle prestatie indicatoren van betrokken actoren (comfort, exploitatie, woonlasten, gezondheid, etc.).

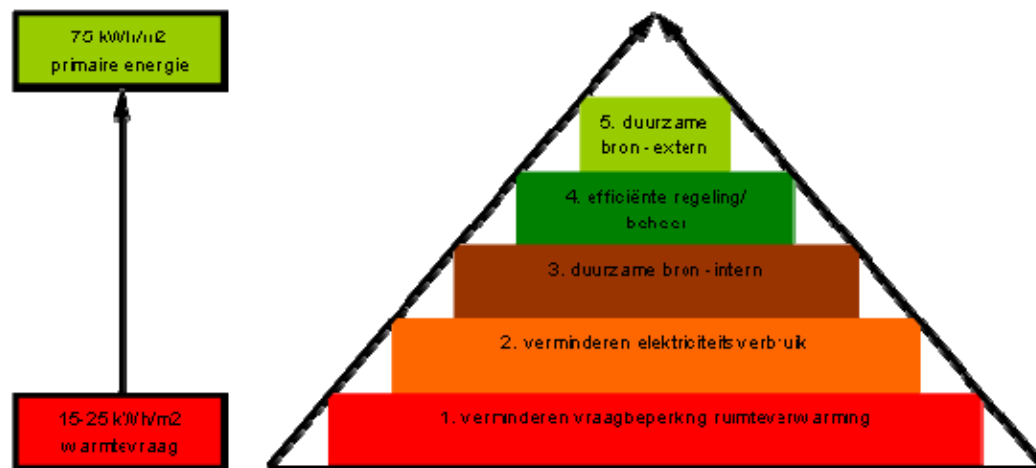
Op dit moment ontbreken zowel het inzicht (in samenhang en streefwaarden) in de prestatie indicatoren van woningcorporaties en particuliere eigenaren bij renovatie als ook renovatieconcepten met 75% reductie van het totaal energieverbruik (gebouw- en gebruiksgebonden). Dit is dan ook de focus van voorliggende studie van Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN, penvoerder), Technische Universiteit Delft, Nederlandse Organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO) en DHV BV. Deze partijen maken zich samen sterk voor verduurzaming van de bestaande bouw, een sector met een enorm potentieel voor duurzaamheid. Samen hebben ze, in opdracht van SenterNovem in het kader van de EOS-subsidieregeling, invulling gegeven aan het project RIGOUREUS.

Het Rigoureux project heeft als doel innovatieve renovatieconcepten voor woningen te ontwikkelen, waarbij een verlaging van 75% van het totale (primaire) energieverbruik wordt nagestreefd voor het segment rijtjeswoningen, inspeland op de heersende renovatiemotivatie. Met primaire energie wordt de energie-inhoud van de hoeveelheid kolen, aardolie of aardgas bedoeld, die nodig is om warmte en elektriciteit te produceren. In het energieverbruik van woningen wordt vaak onderscheid gemaakt tussen gebouwgebonden en gebruikersgebonden of huishoudelijk energieverbruik. Gebouwgebonden energieverbruik heeft betrekking op apparaten, die aan het gebouw vast 'zitten', zoals de ketel voor verwarming en warm tapwater. Gebruikersgebonden energieverbruik is het energieverbruik van alle 'stekkerapparaten', die mensen in huis hebben staan, zoals tv, audio apparatuur etc. Keukenapparatuur, zoals koelkast, magnetron etc. hoewel vaak 'ingebouwd' wordt ook tot de laatste categorie gerekend. Daarentegen wordt verlichting, hoewel deels in de vorm van 'losse' lampen tot de gebouwgebonden categorie gerekend.

In het project zijn vier niveaus te onderscheiden: verkenning, probleemdefinitie, conceptontwikkeling en conceptimplementatie. Hoewel het laatste niveau het uiteindelijke doel omvat, valt het buiten het (toegestane) directe bereik van dit projectvoorstel.

Dit rapport betreft het verkenningsniveau. Hier liggen de activiteiten rondom de vraag welke ontwikkelingen er nationaal en internationaal op het gebied van energie-efficiënt renoveren plaatsvinden of hebben plaatsgevonden, om te voorkomen dat het wiel opnieuw wordt uitgevonden en om vast te stellen waar de hiaten in het energiezuinig renoveren liggen, zowel technisch, sociaal-economisch als procesmatig.

De verschillende stappen die genomen worden om vergaand energie te besparen in renovatieprocessen zijn in onderstaande afbeelding weergegeven. Het stappenplan is afgeleid van de Kyoto-piramide.



Figuur 1.1: Kyoto-piramide (geïnspireerd op Sintef, Noorwegen).

De aanpak met betrekking tot energiereductie begint aan de basis van de piramide:

1. Verminderen vraagbeperking ruimteverwarming: Vraagbeperking heeft zowel betrekking op bouwkundige als installatietechnische onderdelen van een woning.
2. Verminderen elektriciteitsverbruik: Welke mogelijkheden zijn er om de vraag naar elektriciteit (huishoudelijke energie) te verminderen.
3. Gebruik projectgebonden duurzame bronnen en passieve zonne-energie Dit betreft project/gebouwgebonden bronnen (bijv. PV op het dak).
4. Efficiënte regeling/beheer: Dit betreft met name efficiënte regeling en beheer van elektriciteitsverbruik.
5. Duurzame bron, extern: inzet van een externe, duurzame energiebron ten behoeve van de rest-energievraag, bijvoorbeeld decentrale elektriciteitsopwekking PV of wind. Deze laatste stap wordt bij Rigoureux niet meegerekend bij de uiteindelijke energiereductie.

#### *Stap 1: Vraagbeperking ruimteverwarming*

Door een bestaande woning te transformeren tot een passiefhuis is het mogelijk ook in de bestaande bouw tot een zeer lage warmtevraag te komen. Doordat bestaande constructies en aansluitingen aangepast moeten worden, is extra controle van fysische aspecten noodzakelijk. Koudebruggen en naaddichtingen moeten kritisch bekeken worden en op uitdagende wijze worden opgelost. De energievraag voor ruimteverwarming bedraagt bij een renovatie passiefhuis maximaal 25 kWh/m<sup>2</sup>, het maximale totale primaire energieverbruik bedraagt 130 kWh/m<sup>2</sup>. Vergeleken met de waarden van de gemiddelde bestaande bouw in Nederland: meer dan 200 kWh/m<sup>2</sup> voor ruimteverwarming en meer dan 330 kWh/m<sup>2</sup> in primaire energie voor het totaal gebruik.

#### *Stap 2: Verminderen elektriciteitsverbruik*

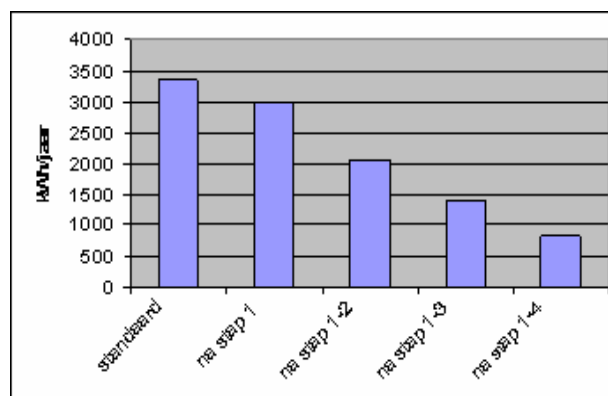
Het elektriciteitsverbruik kan in een viertal stappen worden teruggedrongen:

1. Overbodig standby-verbruik voorkomen.



2. Vervangen door energiezuinige apparaten door energiezuinigere varianten zonder het comfort van de bewoner aan te tasten.
3. Vervangen door niet-elektrische alternatieven. Een aantal apparaten kunnen vrij eenvoudig vervangen kunnen worden door niet-elektrische middelen.
4. Overbodige apparaten verwijderen. Deze stap is van grote invloed op het comfortniveau van bewoners.

Figuur 1.2 laat zien dat vergaande besparing mogelijk is in het terugdringen van het elektriciteitsverbruik. Hoewel een aantal stappen als Spartaans kan worden betiteld en vermoedelijk alleen de groep 'overtuigden' zal aanspreken, geeft de analyse aan dat het in principe mogelijk is om een besparing van 75% te bereiken op het elektriciteitsverbruik. De uitdaging is nu om het zodanig vorm te geven dat het door ook door de andere groepen wordt geaccepteerd. Hiervoor zijn technische oplossingen mogelijk en ook het woningontwerp kan zorgen dat apparaten overbodig worden.



Figuur 1.2: Elektriciteitsbesparing in 4 stappen.

#### *Stap 3: Gebruik duurzame bronnen en projectgebonden passieve zonne-energie*

Inzet van duurzame bronnen en inzet van passieve zonne-energie is essentieel om invulling te geven aan 75% energiebesparing. Gebouwegebonden duurzame bronnen kunnen in een renovatieproject toegepast worden om het verbruik van fossiele brandstoffen te beperken. De efficiëntie van de systemen zal sterk afhangen van de mate waarin gerenoveerd wordt en de eigenschappen van de woning. Wanneer zeer ingrijpend en in grote samenhang de woning wordt aangepast, kunnen veel winsten geboekt worden.

#### *Stap 4: Efficiënte regeling/beheer*

Het onderling schakelen van apparaten kan leiden tot een uitgebalanceerd systeem ter ondersteuning van de gebruiker. De uitdaging is de woning hiermee energiezuiniger te maken. Potentie voor energiebesparing is er wel, maar wordt momenteel niet toegepast.

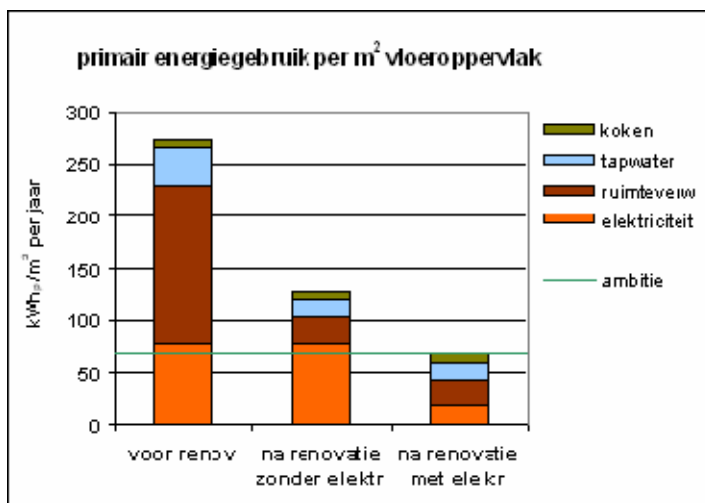
#### *Stap 5: Duurzame bron, extern*

Duurzame bronnen maken gebruik van de elementen water, aarde, wind en zon, zoals windmolens op zee, zonnecellen langs de snelweg, waterkrachtcentrales e.d. De opgewekte energie kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan het beperken van de behoefte aan primaire energiebronnen. Omdat de bronnen geen gebouwgebonden karakter hebben behoren ze niet tot het onderwerp van het project Rigoreus.

### **Energieverbruik referentiewoning**

De verschillende posten van het huidige energieverbruik (vóór renovatie) zijn voor een referentiewoning bepaald, zie linker kolom van figuur 1.3. De grootste post is de ruimteverwarming. Om deze post terug te brengen tot minder dan 25 kWh/m<sup>2</sup> per jaar zijn maatregelen op Passieffhuis niveau nodig (stap 1: vraagbeperking). De belangrijkste daarvan zijn een zeer goede thermische isolatie en luchtdichting van de gebouwschil en toepassing van gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning. Hier is nog een aantal barrières te overwinnen, zowel bouwtechnisch als economisch. Maar ook op het gebied van

bewonersacceptatie, zeker gezien de recente negatieve berichtgeving omtrent warmteterugwin-units in relatie tot gezondheidsklachten.



*Figuur 1.3: Primair energieverbruik van een huishouden in Nederland vóór en na een ambitieuze renovatie, al dan niet met aanpak van het elektriciteitsverbruik. De groene lijn geeft het ambitieniveau van het Rigoureux project aan.*

De post voor warm tapwaterbereiding kan zonder technisch grote problemen ongeveer worden gehalveerd door toepassing van een zonnecollector en/of warmteterugwinning uit het afgevoerde warm tapwater (stap 3: gebruik duurzame bronnen en passieve zonne-energie, projectgebonden).

De middelste kolom in figuur 1.3 laat zien wat het effect op het totale energieverbruik is indien we op passiefhuis niveau renoveren en een zonnecollector inzetten. De post van elektriciteitsverbruik is nu overheersend geworden en het is duidelijk dat ook deze moet worden aangepakt om de ambitie van 65 kWh/m<sup>2</sup> per jaar te bereiken (stap 2: verminderen elektriciteitsverbruik).

Het netto elektriciteitsverbruik zou van 3350 kWh naar zo'n 800 kWh per jaar moeten worden teruggebracht om de doelstelling te kunnen halen. Dit kan worden bereikt door het dak 'vol te leggen' met zo'n 30 m<sup>2</sup> PV-panelen. Echter, niet alle daken zijn groot genoeg voor 30 m<sup>2</sup> PV of hebben een geschikte oriëntatie. Ook om financiële of andere redenen kan toepassing van PV geen haalbare optie zijn. Het loont dus zeer de moeite om te zien of er innovatieve technieken bestaan of te ontwikkelen zijn om het elektriciteitsverbruik in huis te verminderen.

Voor het laten slagen van een aantal maatregelen om het elektriciteitsverbruik te verminderen, is een zekere mate van gedragsverandering noodzakelijk en dat lijkt niet langer een onmogelijke opgave. Het toepassen van efficiënte regeling kan hierbij ondersteunen (stap 4: efficiënte regeling/beheer). Een cruciale vraag is echter onder welke voorwaarden mensen bereid zijn energie te besparen en eventueel hun gedrag daar (ten dele) voor aan te passen.

Voor het halen van ambitieuze doelstellingen als die van het Rigoureux project moet de bewoner de beschikking krijgen over technische maatregelen en hulpmiddelen. Maar de bewoner moet zelf ook wat: hij moet bereid zijn open te staan voor (wellicht kleine) gedragsveranderingen om de potentie van de maatregelen ten volle uit kunnen te buiten. Het nadenken over dit soort oplossingen, op het raakvlak van techniek en gedrag is een belangrijk element van het ontwikkelen van concepten in het kader van het Rigoureux project.

## 2 BESTAANDE BOUW RIGOREUS AANGEPAKT

### 2.1 INLEIDING

Hoewel alom bekend is dat een betekenisvolle reductie van het energieverbruik alleen bereikt kan worden middels ingrijpende verbetering van de bestaande woning- en gebouwenvoorraad, is de aandacht voor duurzaamheid in de bouwsector nog steeds vooral op nieuwbouw gericht. Bovendien kenmerkt de huidige renovatiepraktijk zich door verbetering van gebouwkwaliteit uit comforttechnische of economische overwegingen (levensduur, verkoopwaarde, verhuurbaarheid). Dientengevolge ligt de huidige renovatiepraktijk op kwantitatief en kwalitatief te laag niveau en blijft verbetering van het energieverbruik door renovatie beperkt tot hooguit 25% ('educated guess').

Om de nationale en Europese ambities ten aanzien van energietransitie in de gebouwde omgeving te kunnen realiseren, zijn op een termijn van 10 tot 15 jaar renovatieconcepten noodzakelijk die een reductie van 75% op het totale energieverbruik kunnen realiseren. Dergelijke ambitieuze concepten voor de woningbouw zijn alleen haalbaar indien voor een innovatieve, samenhangende aanpak wordt gekozen waarbij maatregelen op het gebied van bouwproces, bouwkunde, installatietechniek én huishoudelijk energieverbruik hand in hand gaan. Scenariostudies onderbouwen de noodzaak hiervoor. Omdat energie in de praktijk niet leidend motief is bij renovatie, moet voor grootschalige toepassing een 'hoge ambitie' renovatieconcept bovendien voldoen aan alle prestatie indicatoren van betrokken actoren (comfort, exploitatie, woonlasten, gezondheid, etc.).

Op dit moment ontbreekt het inzicht (in samenhang en streefwaarden) in de prestatie indicatoren van zowel woningcorporaties als particuliere eigenaren bij renovatie als ook renovatieconcepten met 75% reductie van het totaal energieverbruik (gebouw- en gebruiksgebonden). Dit is dan ook de focus van voorliggende studie van TNO, TU Delft, DHV en ECN. Deze partijen maken zich samen sterk voor verduurzaming van de bestaande bouw, een sector met een enorm potentieel voor duurzaamheid. Samen hebben ze, in opdracht van SenterNovem in het kader van de EOS-subsidieregeling, invulling gegeven aan het project RIGOREUS.

*Renovatie-Innovatie in de Gebouwde Omgeving  
&  
Reductie Energiegebruik door Unieke Systeemintegratie  
= RIGOREUS*

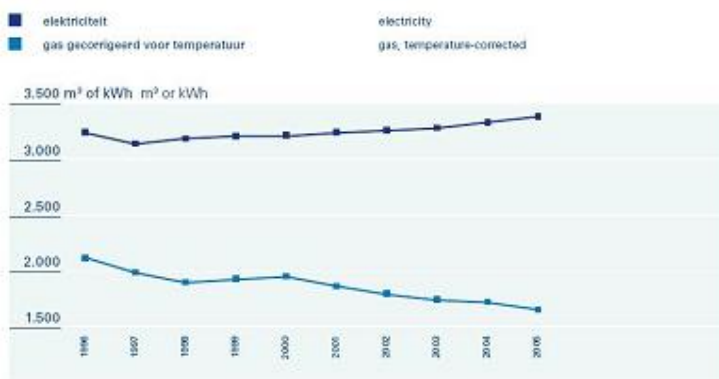
*Een EOS-LT onderzoeksproject  
van  
ECN, TNO, DHV en TUD*

## 2.2 ACHTERGROND

In de gebouwde omgeving wordt veel energie verbruikt; circa een derde van het totale Nederlandse energieverbruik (1000 PJ/jaar). De energieprestatie van gebouwen is in de afgelopen decennia sterk verbeterd, maar het potentieel voor nog betere energieprestaties is nog lang niet uitgeput, zeker in de bestaande bouw. De urgentie om alle maatregelen voor verbetering van de energieprestatie in te zetten, en daarmee aan te sluiten op nationaal en internationaal gevoerd beleid (Kyoto, EPBD), neemt toe. De noodzaak voor transitie naar een duurzame energiehuishouding in de gebouwde omgeving wordt erkend. Deze studie, "RIGOREUS", is een conceptuele studie, bedoeld als eerste stap in vergaande verduurzaming van de bestaande bouw.

Recentelijk is een studie verricht naar het effect van verwachte ontwikkelingen in de gebouwde omgeving, het energieverbruik tot aan 2050 en de mogelijkheden om op natuurlijke mutatiemomenten een versnelling in energiereductie te realiseren, leidend tot energieneutraliteit medio deze eeuw. De belangrijkste resultaten uit deze studie voor de renovatie zijn:

- Eengezinsrijtjeswoningen vormen ruim 50% van de woningvoorraad (grootste segment).
- In 2050 is de categorie woningen gebouwd tussen 1945-1974 een dominante groep (ca. 25% van totaal aantal woningen in 2050), zowel in aantal als in energieverbruik (bij 'business as usual').
- Bij het huidige renovatietempo moeten rond 2015 renovatiepakketten beschikbaar komen waarmee het netto energieverbruik na renovatie met een factor 4 omlaag gaat (75% reductie ten opzichte van het totaal van gebouw- en gebruiksgebonden energie, minus duurzaam opgewekte energie).
- Huidige trend is een autonome daling van gebouwgebonden energie en stijging van gebruikersgebonden energie. Dit laatste wordt dus een essentieel aspect bij het verduurzamen van de gebouwde omgeving.



Figuur 2.1: Trend gemiddeld elektriciteitsverbruik en gasverbruik.

Het segment eengezinsrijtjeswoningen gebouwd voor 1975 blijkt een technisch redelijk homogene groep woningen te zijn met een veelal matige tot slechte energetische kwaliteit. Uit een nadere energiebalansanalyse blijkt dat de gezochte factor-4 renovatiepakketten alleen realiseerbaar zijn als ook het huishoudelijk energieverbruik teruggebracht kan worden. Dit impliceert dus de noviteit van het doorbreken van traditioneel gescheiden aanpak van de systemen: gebouw, installatie én huishoudelijke apparatuur. Knelpunt is de diversiteit in eigendom met per doelgroep verschillende drijfveren voor renovatie.

### **2.3 PROBLEEMSTELLING**

De bovengenoemde uitkomsten schetsen de kloof met de huidige praktijk, waarin reductie van energieverbruik niet een leidend argument is voor renovatie. Momenteel kan een reductie met 25% als 'best practice' aangemerkt worden. Daarnaast kleven er ook niet-technologische problemen aan de aanpak van gebruikersgebonden energie bij renovatie.

Om bovenstaande kloof te kunnen overbruggen is het nodig dat renovatieconcepten en -technieken ontwikkeld worden die:

- A. Optimaal aansluiten bij de eigenschappen en mogelijkheden van de bestaande woningvoorraad, de behoeften van eigenaren en bewoners en de maatschappelijke opgave van verduurzaming.
- B. De klassieke systeemgrens tussen bouwtechnisch-, installatietechnisch- en aanpak van gebruikersgebonden energieverbruik doorbreken.
- C. Een versnelling van het transitieproces in de bestaande bouw teweeg kunnen brengen.

*Ad A* Aanpak van de bestaande bouw moet allereerst aansluiten bij de motivatie voor renovatie. Bovendien kent renovatie van bestaande woningen een aantal specifieke knelpunten cq. eisen waardoor technieken uit de nieuwbouw niet of minder toepasbaar zijn. Verduurzaming van de bestaande bouw begint dus bij inzicht in randvoorwaarden en prestatie indicatoren voor renovatieconcepten. Omdat de bouw gekenmerkt wordt door een complex samenspel van actoren is het voor een succesvolle innovatie noodzakelijk dat deze aan alle actoren een voordeel biedt.

*Ad B* Door de systeemgrens te doorbreken, kan het gebouw bijdragen aan de invulling van het gebruikersgerelateerde energieverbruik en erop reageren. Deze interactie leidt tot nieuwe oplossingen die nodig zijn voor drastische reductie van het energieverbruik. Ontwikkeling van de benodigde nieuwe technologie is een belangrijke taak voor de verschillende kennisinstellingen. Na identificatie van de meest kansrijke ontwikkelingen zullen deze concreet uitgewerkt worden binnen het consortium-werk vallend binnen het thema "Innovatieve systemen en hun componenten". De concrete realisatie van de concepten is voor deze projectaanvraag niet aan de orde.

*Ad C* Om een versnelling teweeg te brengen is het nodig dat concepten breed toepasbaar zijn. Vanwege de omvang en relevantie voor het 75% reductie-renovatiepakket zijn eengezinsrijtjes-woningen uit de periode 1945-1975 het uitgangspunt. Voor zover de concepten niet op alle segmenten toepasbaar zijn, kunnen ze werken als voorbeeld en katalysator voor andere segmenten.

## 2.4 DOELSTELLING

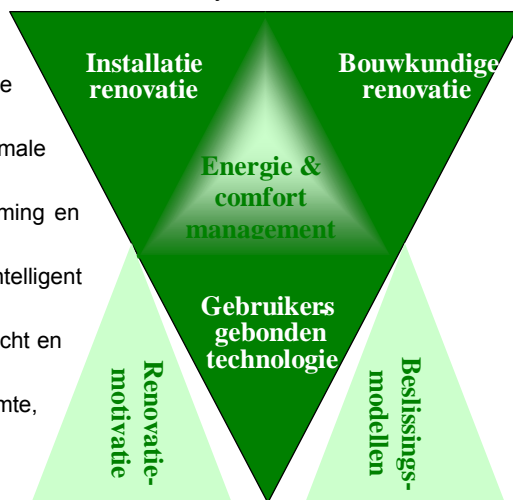
*Doelstelling van het project is de ontwikkeling van innovatieve renovatieconcepten, gericht op een sterke reductie (- 75% ten opzichte van totaal energiegebruik) in fossiel energiegebruik voor het segment rijtjeswoningen, inspeland op de heersende renovatiemotivatie.*

Essentieel hierbij is dat:

- De conceptontwikkeling vraag- en probleemgestuurd is, energiereductie en doelgroep zijn bepalend.
- Er gezocht wordt naar innovatieve oplossingen, inclusief nog te ontwikkelen oplossingen, waarbij gebouw, installatie en huishoudelijk energieverbruik integraal benaderd worden.
- De renovatieconcepten flexibel kunnen worden aangepast op de situatie en aansluiten op het bouwproces (dan wel aanleiding zijn voor procesinnovatie).
- De renovatieconcepten een win-win combinatie vormen van de motivatie voor renovatie (verhuurbaarheid, herstel, comfortverhoging, etc.) en de te bereiken energiereductie.
- Opgedane kennis ook ontsloten wordt naar de aanbodzijde (o.a. architecten, bouwers en installateurs), gebruikers en overheden.

Technologieën die bij conceptontwikkeling zeker aan bod zullen komen, zijn

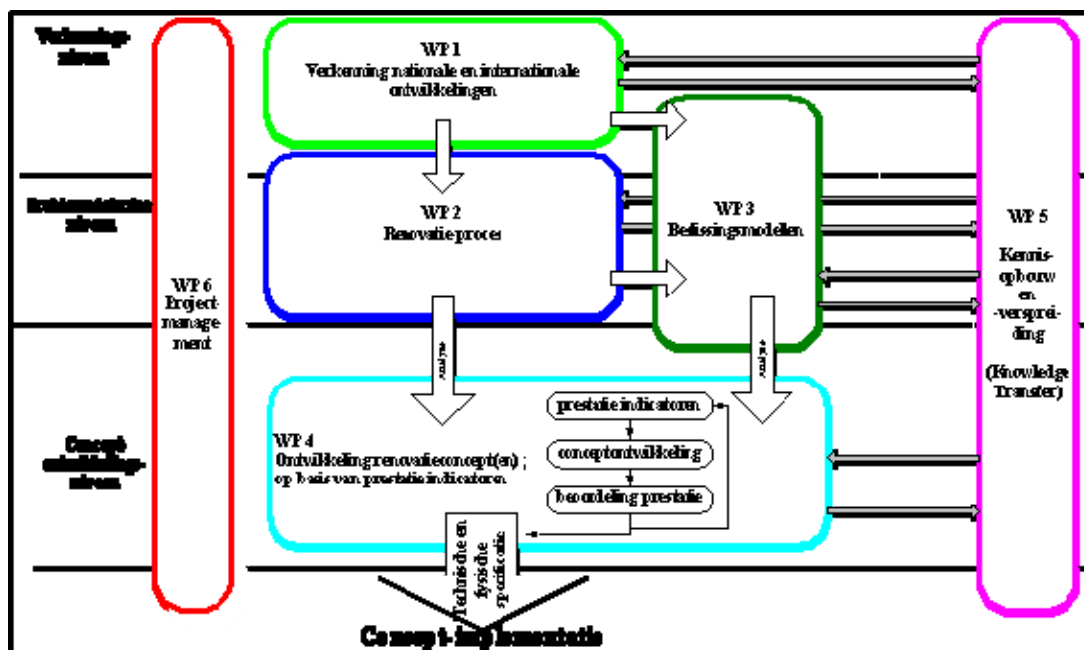
- Hoogwaardige, dunne (variabele) schilisolatie.
- Optimale benutting van de zon (passieve verwarming, warm water, zonnekoeling).
- Compact ventilatiesysteem met minimale warmteverliezen en hulpenergie.
- Compact afgiftesysteem voor ruimteverwarming en –koeling.
- Reductie van stand-by verliezen door intelligent geschakelde elektragroepen.
- Terugwinning energie uit ‘afvoerstromen’ (lucht en water).
- Lokale duurzame opwekking van warmte, elektriciteit en koude.



Figuur 2.2: Scope Rigoreus.

## 2.5 INHOUDELIJKE AANPAK

In het project zijn vier niveaus te onderscheiden: verkenning, probleemdefinitie, conceptontwikkeling en conceptimplementatie, zie figuur 2.2. Hoewel het laatste niveau het uiteindelijke doel omvat, valt het buiten het (toegestane) directe bereik van dit projectvoorstel.



Figuur 2.3: Schematische structuur van het project.

Op het **verkenningsniveau** liggen de activiteiten rondom de vraag welke ontwikkelingen er nationaal en internationaal op het gebied van energie-efficiënt renoveren plaatsvinden of hebben plaatsgevonden, om te voorkomen dat het wiel opnieuw wordt uitgevonden en om vast te stellen waar de hiaten in het energiezuinig renoveren liggen, zowel technisch, sociaal-economisch als procesmatig. Onderhavige rapportage richt zich op dit niveau.

Op het **probleemdefinitie-niveau** wordt in kwalitatieve en in kwantitatieve termen beschreven, welke barrières zich (zullen) voordoen bij energiezuinig renoveren volgens de in dit projectvoorstel gedefinieerde besparingsdoelstellingen.

Op dit niveau en op het **conceptontwikkelingsniveau** zal een grondige analyse plaatsvinden van de vastgestelde problemen, teneinde concepten te definiëren waarmee de gestelde doelen bereikt worden en die niet op barrières zullen stuiten. De concepten worden uiteindelijk technisch en fysiek gespecificeerd, waarbij de sociaal-economische en procesmatige randvoorwaarden worden aangegeven.

In de fase van **conceptimplementatie** (buiten dit projectvoorstel) worden de concepten feitelijk uitgevoerd en getest.

Door de genoemde niveaus loopt een werkpakket **Kennisopbouw en -verspreiding**. Naast de gebruikelijke activiteiten als conferentiebijdragen en artikelen bevat dit werkpakket de activiteiten die samenhangen met de Nederlandse deelname aan IEA SHC Task 37 "Advanced Housing Renovation".



Concrete uitwerking van ontwikkelde concepten valt buiten dit onderzoek. Componentontwikkeling en conceptimplementatie worden daarom elders opgepakt. Het is de overtuiging van de deelnemers dat, gezien het ambitieniveau in dit project, het totale traject van kennisontwikkeling tot grootschalige implementatie minimaal 10 jaar duurt.

## 2.6 PROJECTORGANISATIE

### Projectteam

Het project is een samenwerking tussen Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN, penvoerder), Technische Universiteit Delft, Nederlandse Organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO) en DHV BV.

### Klankbordgroep

Bij woningrenovatie zijn in de praktijk veel verschillende partijen direct betrokken: bewoner, huiseigenaar (particuliere eigenaar, corporatie), opdrachtgever (projectontwikkelaar, woningcorporatie, particuliere eigenaar), uitvoerder (aannemer, installateur etc.) en toeleverancier (van componenten). Via een klankbordgroep wordt een vertegenwoordiging van deze keten actief bij het project betrokken. Hiertoe zijn bij aanvang van het project de reeds aanwezige contacten in de uitgebreide netwerken van ECN, TNO, TU Delft en DHV benaderd. Bijlage 1 geeft een overzicht van leden van de klankbordgroep.

## 2.7 LEESWIJZER

Deze rapportage is het resultaat van werkpakket WP1 van het project Rigoureux: Verkenning nationale en internationale ontwikkelingen.

Op het gebied van energiezuinig renoveren hebben zich sinds het eind van de jaren '80 nationaal en internationaal interessante ontwikkelingen voorgedaan. Veel daarvan is vastgelegd in internationaal toegankelijke publicaties, zoals CADDET en EU rapporten. Soms is literatuur slechts in de landstaal beschikbaar en is de buitenlandse geïnteresseerde aangewezen op informatie uit internationale gremia, zoals IEA werkgroepen en EU-projectgroepen. En soms ook blijft interessante en relevante informatie geheel verborgen. Om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de ontwikkelingen op het vlak van energiezuinig renoveren en reductie van gebruiksgebonden energie, wordt het project gestart met een verkenning van nationale en internationale ontwikkelingen. Belangrijkste doel is vast te stellen wat er in essentie ontbreekt in de geanalyseerde concepten, gezien vanuit Nederlands perspectief, om de energiebesparingsdoelstellingen zoals in dit projectvoorstel vastgelegd, te kunnen realiseren.

De nationale en internationale ontwikkelingen zijn op basis van onderstaande punten in kaart gebracht:

- Literatuurstudie.
- Verkrijgen van input uit lopende projecten.
- Gericht enquêteren van SHC Task 37 en ECBCS Task 50 deelnemers en andere relevante personen in het internationale netwerk teneinde relevante ontwikkelingen op te sporen.
- Systematische vastlegging van interessante ontwikkelingen.
- Vaststellen bruikbaarheid van deze ontwikkelingen vanuit Nederlands perspectief in overleg met klankbordgroep en andere relevante personen.





Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van principes en uitgangspunten die zijn gehanteerd in het project Rigoureux. De hoofdstukken 4 t/m 8 geven nationale en internationale ontwikkelingen op systematische wijze weer, uitgaande van de volgende onderwerpen:

Hst 4: Vraagbeperking ruimteverwarming

Hst 5: Verminderen elektriciteitsverbruik

Hst 6: Gebruik duurzame bronnen en passieve zonne-energie, projectgebonden

Hst 7: Efficiënte regeling/beheer

Hst 8: Externe duurzame bronnen

Elk hoofdstuk heeft een gelaagde opbouw (van grof naar fijn) en bevat, na een korte introductie, doorgaans 5 delen:

- Inleiding
- Huidige praktijk en ambitieniveau
- Uitwerking, bestaande uit een deel technische uitwerking en een uitwerking met betrekking tot gedrag/gebruik.
- Nieuwe ontwikkelingen
- Gewenste ontwikkelingen
- Besparingspotentieel
- Conclusie

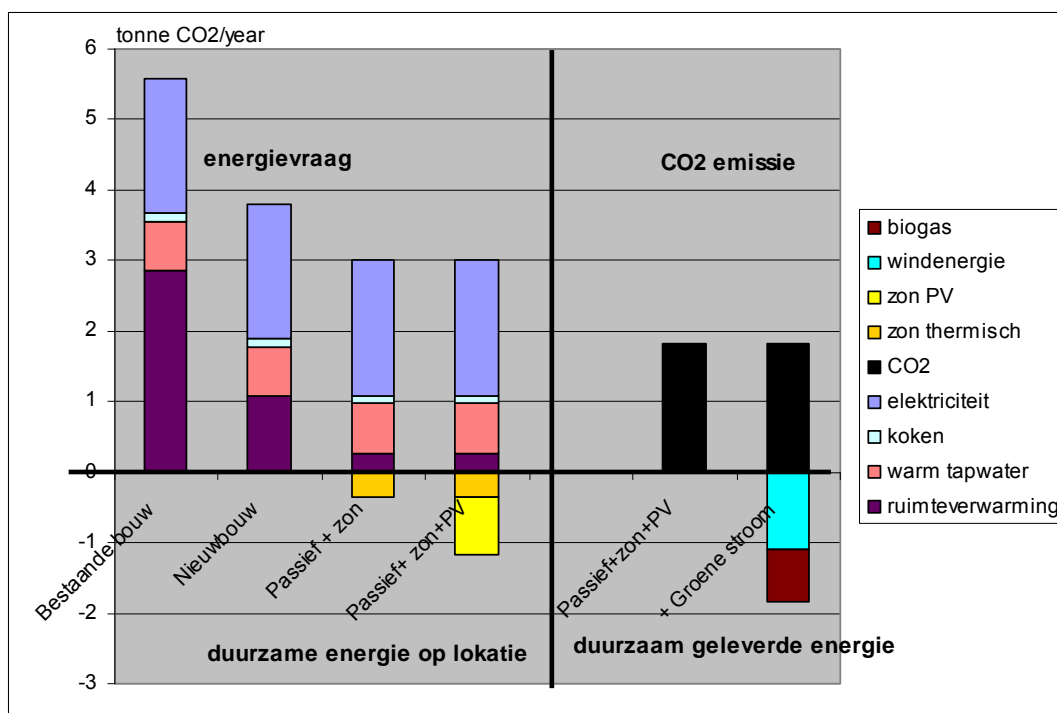
In het deel uitwerking worden de nationale en internationale ontwikkelingen kort beschreven. In deze rapportage is geprobeerd alle bronnen zo zuiver mogelijk weer te geven.

Samen met de uitkomsten van WP 2 en 3 (Renovatie-proces en Beslissingsmodellen) zijn de resultaten van deze rapportage input zijn voor WP 4 "Conceptuele systeemverkenning, definitie en specificatie van het systeemontwerp".

### 3 PRINCIPES EN UITGANGSPUNTEN RIGOUREUS

#### 3.1 PRINCIPE AANPAK

De doelstelling van Rigoureux is het ontwikkelen van concepten waarmee 75% energiereductie wordt gerealiseerd. Om hieraan invulling te geven is onderstaand figuur van belang. Het figuur betreft vier kwadranten. Linksboven staan vier kolommen, de energievraag uitgedrukt in CO<sub>2</sub>/jaar van bestaande bouw en drie energiezuinige varianten. Linksonder is de inzet van duurzame energie weergegeven bij twee energiezuinige energievarianten. Rechtsboven staat de resulterende CO<sub>2</sub>-uitstoot weergegeven van de energiezuinigste variant met passieve bronnen, zonne energie en PV pannelen. De CO<sub>2</sub>-uitstoot is de optelsom van energievraag en inzet van duurzame energie. Rechtsonder betreft de inzet van duurzaam geleverde energie, bijvoorbeeld middels groene stroom of windenergie (op zee). Indien we de duurzaam geleverde energie (groene stroom) toekennen aan de resulterende energievraag (van rechtsboven), dan spreken we van energieneutraal.



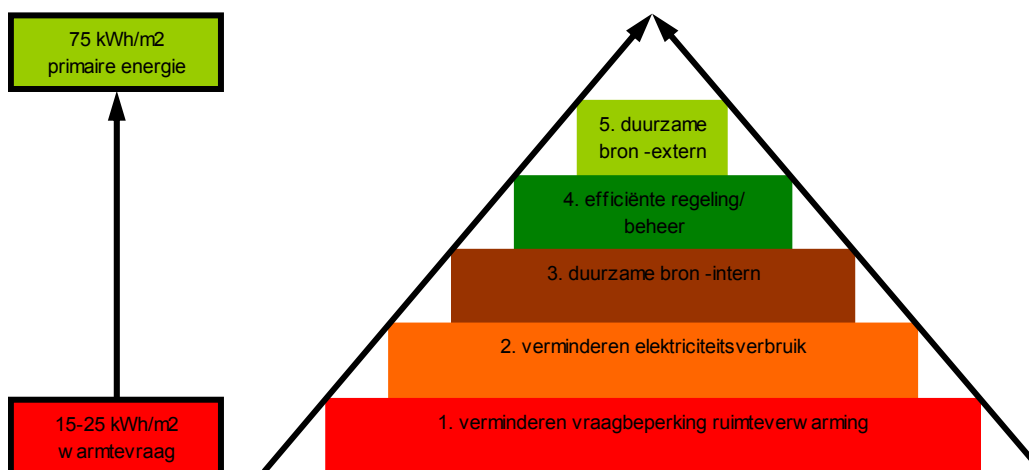
Figuur 3.1: Resulterende CO<sub>2</sub>-vraag bij reductie energievraag en opwekking duurzame energie.

Dit laatste punt, inzet van duurzaam geleverde energie, is onderdeel van (politieke) discussie. In hoeverre kun je inkoop van CO<sub>2</sub>-reductie toerekenen aan het gebouw? Het gebouw zelf wordt er niet beter van als groene stroom geleverd wordt. De gedachte die bij het project Rigoureux wordt gevolgd is, dat als er een economische verhouding is met de techniek (wijk heeft zelf geïnvesteerd in windmolen), dat dan opbrengst van de techniek wordt toegerekend aan project. Indien deze financiële binding ontbreekt, is de techniek onderdeel van de algemene nutsvoorziening en resulteert het plaatsen van deze techniek in het iets verbeteren van de landelijke mix.

Voor het project Rigoureux zijn hierover de volgende afspraken gemaakt:

- Er wordt duidelijk aangegeven wat we doen door onderscheid te maken in verschillende energiestromen.
- Focus van onderzoek ligt op het linker deel van grafiek (woninggebonden).
- Energieopbrengst van duurzaam geleverde energie wordt enkel dan toegekend, indien er een economische verhouding is. Met andere woorden, alleen als gebruikers direct geïnvesteerd hebben in de techniek. Groene stroom valt hier niet onder en wordt derhalve niet meegerekend. Een windmolen in de tuin die zelf is aangeschaft wel.

De verschillende stappen die genomen worden om vergaand energie te besparen in renovatieprocessen zijn in onderstaande afbeelding weergegeven. Het stappenplan is afgeleid van de Kyoto-piramide. De aanpak met betrekking tot energiereductie begint aan de basis van de piramide.



Figuur 3.2: Kyoto-piramide (geïnspireerd op Sintef, Noorwegen).

#### Toelichting figuur

1. Vraagbeperking ruimteverwarming: Vraagbeperking heeft zowel betrekking op bouwkundige als installatietechnische onderdelen van een woning.
2. Verminderen elektriciteitsverbruik: Welke mogelijkheden zijn er om de vraag naar elektriciteit (huishoudelijke energie) te verminderen.
3. Gebruik duurzame bronnen en passieve zonne-energie projectgebonden: Dit betreft project/gebouwgebonden bronnen (bijv. PV op het dak).
4. Efficiënte regeling/beheer: Met name efficiënte regeling en beheer van elektriciteitsverbruik.
5. Duurzame bron, extern: inzet van een externe, duurzame energiebron ten behoeve van de rest-energievraag, bijvoorbeeld decentrale elektriciteitsopwekking PV of wind. Deze laatste stap wordt bij Rigoureux niet meegerekend bij de uiteindelijke energiereductie.

### Voorbeeld energiereductie 75%

Onderstaande tabel laat globaal zien wat 75% energiebesparing betekent voor een rijtjeswoning uit genoemde periode.

Tabel 3.1: voorbeeldberekening energiebesparing.

		Referentie	Rigoreus	
Gasverbruik	2000 m <sup>3</sup>	20.000	20.000	kWh primair
Elektriciteitsverbruik	3500 kWh	10.000	10.000	kWh primair
Totaal		30.000	30.000	kWh primair
75% Besparing Rigoreus			-/ 22.500	kWh
Energiebudget			7.500	kWh
Gebruiksoppervlak		100	100	m <sup>2</sup>
		300	75	kWh/m <sup>2</sup>

Om renovatiepakketten met 75% energiebesparing te realiseren, is het doorbreken van de traditioneel gescheiden aanpak van de systemen gebouw, installatie en huishoudelijke apparatuur noodzakelijk. Om knelpunten te signaleren en oplossingen te sturen zijn de maatregelen (en vooral de concepten zoals beschreven wordt in WP4) beoordeeld op elf aspecten:

- Energiebesparing.
- Investeringskosten.
- Comfort.
- Gezondheid.
- Onderhoud.
- Bouwvriendelijkheid.
- Renovatiesnelheid.
- Ruimtebeslag.
- Verkoop-/verhuurbaarheid.
- Gebruiksvriendelijkheid.
- Gebruikersafhankelijkheid.

## 3.2 REFERENTIESITUATIE

### 3.2.1 Referentiewoning

Nederland telt zo'n 6,5 miljoen bestaande woningen waarin nog zeer veel energie te besparen is. De voorbeeldwoningen zoals ontwikkeld door SenterNovem zijn gehanteerd als theoretische onderlegger om energiebesparing in kaart te brengen. De volgende voorbeeldwoningen zijn opgesteld, zie tabel 3.2.

Dit onderzoek gaat uit van twee referentie-tussenwoningen van SenterNovem uit de bestaande bouw, zoals hieronder beschreven [1].

*Tabel 3.2: Voorbeeldwoningen bestaande bouw, SenterNovem.*

Omschrijving	gebouwd voor 1966	bouwperiode 1966 - 1988	bouwperiode 1989 - 2000
Grote vrijstaande woning	gebouwd voor 1966	bouwperiode 1966 - 1988	bouwperiode 1989 - 2000
Kleine vrijstaande woning	gebouwd voor 1966	bouwperiode 1966 - 1988	bouwperiode 1989 - 2000
Twee-onder-één-kapwoning	gebouwd voor 1966	bouwperiode 1966 - 1988	bouwperiode 1989 - 2000
Rijwoning	gebouwd voor 1946 bouwperiode 1946- 1965	bouwperiode 1966 - 1975 bouwperiode 1976 – 1979 bouwperiode 1980 - 1988	bouwperiode 1989 - 2000
Maisonnette	gebouwd voor 1966	bouwperiode 1966 t/m 1988	bouwperiode 1989 t/m 2000
Galerijflat	gebouwd voor 1966	bouwperiode 1966 t/m 1988	bouwperiode 1989 t/m 2000
Portiekflat	gebouwd voor 1966	bouwperiode 1966 t/m 1988	bouwperiode 1989 t/m 2000
Overige flat	gebouwd voor 1966	bouwperiode 1966 t/m 1988	bouwperiode 1989 t/m 2000

### **Rijwoning gebouw bouwperiode 1946 – 1965**

De rijwoningen gebouwd in de periode 1946 tot 1965 vertegenwoordigen met 669.000 woningen ruim 10% van de Nederlandse woningvoorraad. Van deze woningen valt 61% (400.000 woningen) in de sociale verhuur, 34% zijn koopwoningen en slechts 5% wordt particulier verhuurd. De woningen die in deze categorie vallen, hebben vaak vier kamers, een beloopbare zolder en een kelder. Door de woningnood na de oorlog maakte de bouwnijverheid in deze periode een grote omslag van traditionele bouw naar meer industriële bouw. Hierbij lag de nadruk op een efficiënter bouwproces om de grote hoeveelheid nieuwbouw te kunnen realiseren. Een aspect van deze efficiency verbetering is de opkomst van de 'systeembouw'. Opvallend in deze bouwperiode is dat de toepassing van houten vloeren afneemt.

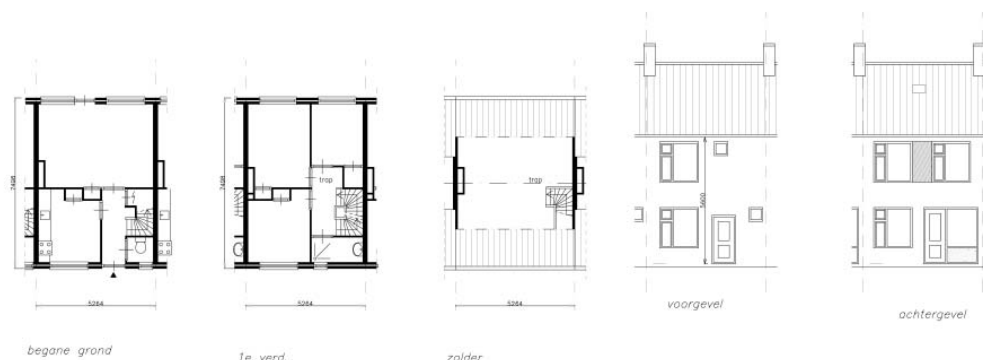
#### *Oorspronkelijke energetische niveau*

In de periode tot 1966 werden er nog geen eisen aan de energiezuinigheid van woningen gesteld. De woningen werden daarom niet geïsoleerd. In de woningen die voor 1960 gebouwd zijn, kwamen vaak stalen kozijnen met enkel glas voor. Veel woningen werden in die tijd nog uitgerust met lokale gaskachels, geiser of elektrische boilers en natuurlijke ventilatie. Centrale verwarming werd op beperkte schaal toegepast.



#### *Huidige energetische niveau van deze woningen*

Veel van deze woningen zijn in de loop der jaren energetisch verbeterd. Het accent ligt hierbij op na-isolatie van de gevel, de begane grondvloer en het dak en kierdichting. Ook het plaatsen van dubbelglas, met name op de begane grondverdieping, is populair. Bij veel woningen in deze categorie zijn de gaskachels inmiddels vervangen door centrale verwarming. Dit leidt tot een hoger comfort, maar ook tot een hoger energieverbruik.



Figuur 3.3: Plattegrond en aanzicht referentiewoning 1946-1965.

### Rijwoning gebouw bouwperiode 1966 – 1975

De rijwoningen gebouwd in de periode 1966-1975 vertegenwoordigen met 654.000 woningen bijna 10% van de Nederlandse woningvoorraad. De helft (50%) is in particulier bezit, ongeveer 41% (265.000 woningen) wordt in de sociale sector verhuurd en 9% in de particuliere sector. De woningen die in deze categorie vallen, hebben vaak vijf kamers, een beloopbare zolder en geen kelder. Kenmerkend aan deze bouwperiode is dat de systeembouw steeds meer wordt toegepast. Dit is vooral zichtbaar in de vloeren, die in beton worden uitgevoerd, en de kozijnvullingen met sandwichpanelen.

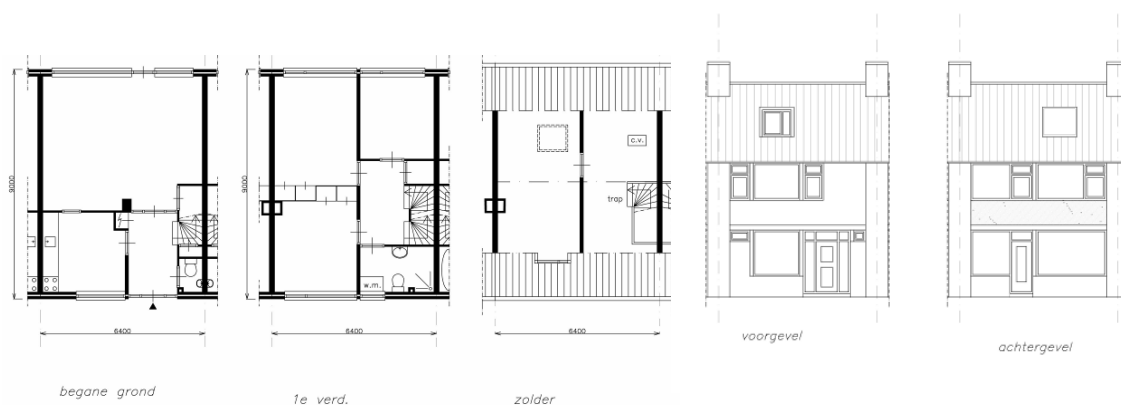
#### Oorspronkelijke energetische niveau

Sinds 1965 worden er eisen gesteld aan de energetische kwaliteit van woningen. Deze eisen waren echter nog niet erg hoog. De woningen die in deze categorie vallen werden, naar huidige maatstaven, matig geïsoleerd. Dubbelglas werd nog nauwelijks toegepast. Veel woningen werden in die tijd nog uitgerust met lokale gaskachels, centrale verwarming werd in toenemende mate toegepast.



#### Huidige energetische niveau van deze woningen

Veel van deze woningen zijn in de loop der jaren energetisch verbeterd. Het accent ligt hierbij op na-isolatie van de gevel, de begane grondvloer en het dak. Ook het plaatsen van dubbelglas, met name op de begane grondverdieping, is populair. Bij veel woningen in deze categorie zijn de gaskachels inmiddels vervangen door centrale verwarming met VR- of HR-ketels. Dit leidt tot een hoger comfort, maar ook tot een hoger energieverbruik. Hierin is de particuliere verhuursector wel achtergebleven bij de sociale sector en de eigen woningbezitters.



Figuur 3.4: Aanzichten en plattegronden referentietussenwoning.

### 3.2.2 Referentie energieverbruik

Voor de referentiewoningen is een referentie energieverbruik vastgesteld. Tabel 3.3 geeft dit referentieverbruik voor de energieposten ruimteverwarming, tapwaterverwarming, koken, gebouwgebonden elektriciteitsverbruik en huishoudelijk elektriciteitsverbruik. De onderbouwing voor deze verbruiken wordt vervolgens toegelicht.

Tabel 3.3: *Energieverbruik, gas en elektriciteit, referentiewoningen.*

Energieverbruik	Referentiewoning 1946-1965	Referentiewoning 1966-1975
Ruimte- /tapwaterverwarming	1776 m <sup>3</sup> /jaar	2056 m <sup>3</sup> /jaar
Koken	60 m <sup>3</sup> /jaar	60 m <sup>3</sup> /jaar
Gebouwgebonden elektriciteit	220 kWh/jaar	229 kWh/jaar
Huishoudelijk elektriciteit	3671 kWh/jaar	3671 kWh/jaar
Totaal	1836 m <sup>3</sup> /jaar 3891 kWh/jaar	2116 m <sup>3</sup> /jaar 3900 kWh/jaar

### Referentie gasverbruik

In de publicatie 'Voorbeeldwoningen bestaande bouw, 2007' van SenterNovem, is voor de twee typen referentiewoningen het energieverbruik berekend. Uitgegaan wordt van onderstaande verbruiken:

#### Rijwoning 1946-1965

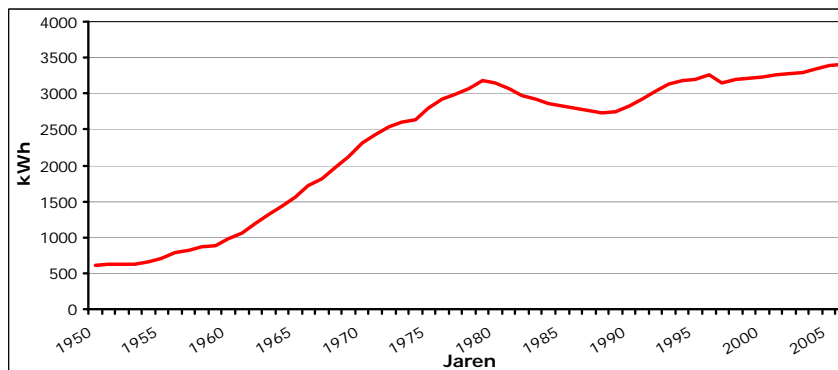
- Gasverbruik in m<sup>3</sup> gas per jaar: 1776 m<sup>3</sup>/jaar
- Hulpenergie in kWh per jaar: 220 kWh/jaar

#### Rijwoning 1966-1975:

- Gasverbruik in m<sup>3</sup> gas per jaar: 2056 m<sup>3</sup>/jaar
- Hulpenergie in kWh per jaar: 229 kWh/jaar

### Referentie huishoudelijk elektriciteitsverbruik

Het huishoudelijk energieverbruik maakt geen onderdeel uit van bovengenoemde publicatie. Figuur 3.5 laat zien hoe het gemiddelde elektriciteitsverbruik van huishoudens de afgelopen decennia zich heeft ontwikkeld. Door het energiezuiniger worden van apparatuur is de stijging de laatste jaren minder maar nog steeds neemt het energieverbruik toe, zie onderstaande grafiek.

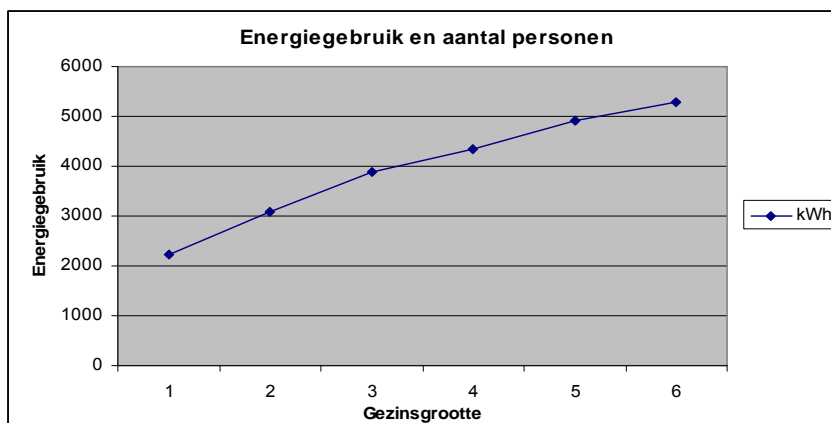


Figuur 3.5: Gemiddeld elektriciteitsverbruik huishoudens [2].

Het gemiddelde elektriciteitsverbruik, gebaseerd op gezinsgrootte van 2,3 bewoners, bedraagt 3402 kWh voor 2006 [3]. Het energieverbruik is afhankelijk van de gezinsgrootte. Figuur 3.6 geeft het energieverbruik afhankelijk van aantal personen [4]. Het aantal bewoners van de twee referentiewoningen bedraagt:

- Rijwoning 1946-1965: 2,8 personen
- Rijwoning 1966-1975: 3,0 personen

Voor dit project gaan we uit van een gemiddeld elektriciteitsverbruik van 3671 kWh per jaar. Dit is exclusief het energieverbruik door hulpinstallaties van ca. 220 kWh/jaar. Onderstaande tabel 3.6 geeft de onderverdeling van het elektriciteitsverbruik in de referentiesituatie.



Figuur 3.6: Elektriciteitsverbruik afhankelijk van gezinsgrootte [BEK 2000].



*Tabel 3.4: Onderverdeling elektriciteitsverbruik per apparatencategorie in de referentiewoning.*

Omschrijving	Referentie [kWh/jr]
Kookapparatuur	96
Keukenapparatuur	136
Hobby	8
Persoonlijke verzorging	16
Audio/ video/ communicatie	629
Verwarming/ warmwater	271
Binnenhuisklimaat	26
Koelvriesapparatuur	589
Reiniging	1213
Overig	46
Verlichting gloeilamp	446
Verlichting halogeenlamp	142
Verlichting spaarlamp	13
Verlichting TL	41
<b>Totaal</b>	<b>3672</b>

*Toelichting tabel:* Het totale huishoudelijke energieverbruik is opgebouwd uit verschillende posten. Voor de referentiesituatie zijn de apparaten welke in meer dan de helft van de huishoudens aanwezig is geselecteerd. In de gegevens van het BEK is voor ieder apparaat in de lijst een penetratiegraad weergegeven. Dit geeft aan in hoeveel procent van de huishoudens een apparaat aanwezig is. De aangehouden waarden komen voor zover mogelijk overeen met de waarden zoals gehanteerd voor PEGO.

### 3.2.3 Referentiebewoners

Bij de huishoudens ligt een energiebesparingpotentieel dat nog onaangeroerd blijft. Immers, het overgrote deel van de bevolking is (nog) onvoldoende energiebewust. Een moeilijk aan te sturen facet is het bewonersgedrag. Energie (elektriciteit, gas, benzine e.d.) wordt net als drinkwater als vanzelfsprekend beschouwd: steeds beschikbaar en niet duur. Bij gebrek aan tastbare signalen wordt het onbewust verbruik gestimuleerd, en neigt zelfs naar verspilling.

#### **Benadering energiebesparingsgedrag**

Er worden in de literatuur drie benaderingen onderscheiden met betrekking tot energie (besparings-)gedrag van onder andere gezinnen:

1. De economen bestuderen vooral de inkomens- en prijsrespons. Zij proberen na te gaan met hoeveel procent het energieverbruik zal dalen als de energieprijzen met één procent stijgt, of zal stijgen als het inkomen met één procent toeneemt.
2. De ingenieurs berekenen voor elke energiezuinige techniek de extra kosten en de energiebesparing ten opzichte van een gewone techniek en gaan na in hoeveel jaar men een investering in een energiezuinige techniek kan terugverdienen. Immers, energie besparen is ook geld besparen.
3. De sociologen en psychologen veronderstellen dat er een wisselwerking bestaat tussen de opvattingen en houdingen (attitodefactoren) die mensen hebben en het energiegedrag dat ze vertonen.

Deze drie benaderingen bestrijken elk een beperkt aantal aspecten of bepalende factoren van het energie gerelateerd gedrag van mensen. Elk afzonderlijk kan slechts een deel van de variatie in het energiegedrag verklaren. In deze rapportage wordt zover mogelijk ingegaan op bovengenoemde benaderingen.

### Gezinssituaties

Voor ieder gezin geldt een ander energieverbruik. Een alleenstaande verbruikt minder energie dan een gezin met enkele kinderen. De energiebesparing varieert daarmee ook per situatie. Als referentie zijn er drie gezinssituaties gedefinieerd:

1. De **starter** op de woningmarkt: deze mensen hebben nog een hele toekomst voor zich, en kunnen kiezen uit het hele gamma van alternatieven: van duurzaam bouwen tot energie- en milieubewust gedrag.
2. Het **2-oudergezin met kinderen** (gesettelden): deze mensen hebben reeds een aantal belangrijke keuzes gemaakt (partner, kinderen, werk, huisje, verenigingsleven, ...) en hun leven verloopt volgens een aantal vaste patronen. Hun keuzemogelijkheden zijn eerder beperkt tot relatief kleine investeringen en gedragsaanpassingen.
3. De **ouderen** zonder inwonende kinderen (55-plussers): een groter wordende groep mensen die opnieuw voor een aantal keuzes staat: in het veel te grote huis met tuin blijven wonen of verhuizen naar een appartementje in de stad, volop genieten van het leven (reizen) of toch eerder de kleinkinderen opvangen? Voor hen zijn vooral gedragswijzigingen van belang.

Naast deze drie groepen hebben we nog twee specifieke groepen samengesteld:

4. **Huurders met laag inkomen** of bewoners van sociale woningen: mensen met een laag inkomen die zelf geen eigenaar zijn, zullen minder geneigd zijn te investeren, maar zullen vooral letten op het prijskaartje.
5. **Overtuigden**: mensen die niet alleen 'in woord' maar ook en vooral 'in daad' energiezuinig leven. Kunnen zij een 'voorbeeldfunctie' voor anderen vervullen?

In relatie tot al dan niet energiezuinig handelen, spelen een aantal overwegingen een rol. Zo werken *financiële overwegingen* in beide richtingen. Enerzijds is bij de minder kapitaalkrachtigen de zorg om de factuur niet te hoog laten oplopen nu reeds een stimulans om op energie te besparen. Anderzijds is er bij kapitaalkrachtigen de overweging: ik kan het betalen, waarom zou ik dan besparen. In huishoudens waar men bewust energieverbruik tracht te beperken kunnen *milieuoverwegingen* een zorg zijn. Relationele factoren en voorbeeldgedrag helpen ook om energie te willen besparen. Verder kan de *interesse in techniek* in die afweging een rol spelen.

Algemeen geldt voor de vijf groepen (starters, gezinnen, ouderen, huurders met laag inkomen en overtuigden), dat velen niet wakker liggen van energievraagstukken. De aanlevering van energie wordt als een dienst ervaren, iets wat er in de ogen van mensen altijd zal zijn, iets waar men recht op heeft. *Comfort* op dat vlak is een verworven recht.

Energie is sterk verbonden met ervaringen van comfort. Het is het gevoel van gemak, tijds winst en welbehagen dat op de voorgrond staat, niet het energieverbruik dat hiervoor nodig is. De definitie van comfort verschilt echter per groep, zie kader.

**Wat is comfort?**

<i>Starter:</i>	<i>Comfort is zo weinig mogelijk menselijke energie verbruiken, is een schoonmaakster hebben.</i>
<i>Gezin:</i>	<i>Comfort is jezelf niet moe maken, is wat aangenaam is, is wat meer dan strikt nodig is.</i>
<i>Ouderen:</i>	<i>Comfort is tijdwinst.</i>
<i>Huurders/lage inkomens:</i>	<i>Comfort is wat snel en makkelijk is. Elektriciteit zelf is een comfort.</i>
<i>Overtuigen:</i>	<i>Comfort voel je niet, je voelt alleen gebrek aan comfort.</i>

[5]

Uit deze definities blijkt dat comfort voornamelijk wordt geassocieerd met 'tijdswinst' en 'gemak'. Zowel de ligging van het huis (bv. nabij openbaar vervoer), als de inrichting van het huis, als de toestellen die gebruikt worden, kunnen bijdragen tot dit comfortabele gevoel. Wat comfortabel is, is in de eerste plaats datgene wat je helpt de noodzakelijke dagelijkse klussen (eten bereiden, afwassen, kleren wassen, poetsen...) zo snel mogelijk en met zo weinig mogelijk menselijke energie te klaren. Het is ook het zo snel en makkelijk mogelijk omtoveren van een vervelende situatie (bv. een koude, donkere kamer) naar een prettige situatie (een warme, lichte kamer). Tenslotte is ook dat comfortabel, wat het op een aangename manier samen zijn met andere mensen mogelijk of makkelijker maakt (gezellig samen eten, voldoende ruimte(n) in huis voor de bezigheden van alle bewoners, contact via telefoon, computer). In relatie tot wooncomfort is warmte het belangrijkste aspect [5].

*Typologie van levensstijlen*

Onderstaand een beschrijving van een aantal kenmerken met betrekking tot de levensstijl van de genoemde groepen.

1. **Starter:** Voor starters ligt er nog veel open. Belangrijk onderwerp is de (zowel praktische als gezellige) inrichting van de nieuwe of toekomstige stek.
2. **Gezin:** Toestellen en aspecten van wooncomfort worden voornamelijk met betrekking tot het gezin bekeken (koken voor de gezinsleden, samen rond de tafel zitten, televisie kijken, voldoende ruimte voor alle gezinsleden, een wasmachine die vaak draait...). Deze groep combineert vaak gezin met werk. Apparaten die helpen de hun beschikbare tijd op een zo gunstig mogelijke manier in te delen worden dan ook bij uitstek beschouwd als bijdragend tot het wooncomfort.
3. **Ouderen:** In deze groep scoort de categorie 'bruingoed' erg hoog. Er wordt vooral vaak naar de radio geluisterd, omdat men graag muziek hoort, als verstrooiing, om het gevoel te hebben niet alleen te zijn, om contact te houden met de buitenwereld. Wat het gezinsleven betreft, lopen de redeneringen binnen deze groep nagenoeg gelijk aan die van de 'gesettelden'. Alleen wordt hier gesproken over de kinderen die op bezoek komen en wordt er ook al eens iets gedaan voor de kleinkinderen (kleinkinderen komen eten, televisie kijken, er wordt voor hen gewassen). Ook hier is tijdswinst van belang. 55+'ers maken ook de vergelijking met hoe het vroeger was. De huidige situatie is wat hen betreft veel comfortabeler: een bad of een douche is handiger dan een teiltje, een elektrische boor werkt veel sneller dan een handboor. Tenslotte zitten oude gewoonten er diep in: de elektrische verwarming, die vroeger mode was, maar nu nogal kostelijk is, wordt niet meer vervangen; dat geeft teveel rompslomp. Opvallend, en enigszins verrassend, is ook dat warmte in deze groep beduidend minder genoemd wordt dan in andere groepen.
4. **Huurders/sociale woningen/lage inkomens:** Deze groep heeft minder zeggingschap over de ruimte die hen ter beschikking staat. De koelkast betreft een handig instrument om tijd te winnen. Men kan er voeding in bewaren zodat men minder vaak naar de winkel moet. Men kan er porties in bewaren zodat men minder vaak moet koken.

5. **Overtuigden:** De overtuigden weten een energievriendelijke levenswijze te combineren met comfortabel wonen. Zij gaan anders met energie om dan de andere groepen. Deze groep doet alles wat binnen hun mogelijkheden ligt om zoveel mogelijk energie te besparen. Dit doet niets af aan hun gevoel van comfortabel leven, in zekere zin draagt het er zelfs toe bij. Allereerst zijn zij ervan overtuigd dat energievriendelijk leven niet betekent 'minder comfortabel leven'. Daarenboven zouden zij zich schuldig voelen, mochten zij hun groene principes verzaken.

Handelingen die bewoners uitvoeren en die een invloed hebben op hun energieverbruik in de woning kunnen worden onderverdeeld in:

- eenmalige investerings- en aankoopbeslissingen: beslissingen omtrent investeringen in de energie-efficiëntie van de woning (isolatie, beglazing...) en de aankoop van elektrische toestellen en verlichting.
- dagelijkse gebruikshandelingen: de dagelijkse beslissingen en handelingen omtrent het gebruik van energieverbruikende apparaten (vb. instellen van de thermostaat voor verwarming) en hun onderhoud.

#### *Indirect energieverbruik en transport*

Het *direct* energieverbruik van huishoudens is de energie die gebruikt wordt voor activiteiten zoals het verwarmen van de woning, douchen of baden, verlichting en TV kijken. Het *indirect* energieverbruik van huishoudens is de energie die nodig is voor de productie en de levering van de goederen en diensten die de huishoudens consumeren. Het energiebeslag van huishoudens is de som van hun direct en indirect energieverbruik. Voor Nederlandse huishoudens bedraagt volgens onderzoek van Wiltling (1996) het indirect energieverbruik ongeveer 55 % van het energiebeslag. Deze studie beperkt zich tot het directe energieverbruik 'in en om de woning'.

#### *Rebound effect*

Het rebound effect houdt in dat besparingen op het energieverbruik, bijvoorbeeld door technologische verbeteringen, (deels) teniet wordt gedaan doordat de effectieve prijs van de energiefunctie daalt (dezelfde energieprestatie kost minder). Klassieke voorbeelden van het rebound effect bij huishoudens zijn het uitgespaarde geld gebruiken voor een (energieverslindend) vliegtuigreisje, of het geld dat men bespaart door alle gloeilampen te vervangen door spaarlampen in tuinverlichting te steken, zodat men uiteindelijk misschien nog meer energie verbruikt (rebound effect > 100 %) dan voorheen. Ondanks het feit dat het rebound effect, of meer algemeen de relatie tussen gedragsverandering en technologische innovatie, belangrijk is, is in verband met gebrek aan informatie dit niet meegenomen in deze studie.

#### **Inzetten van beleidsinstrumenten**

Met betrekking tot het veranderen van gedrag, kunnen beleidsinstrumenten worden ingezet. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden in structurele strategieën en cognitief-motivationale strategieën.

*Structurele strategieën* zijn gericht op het beperken of verruimen van de gedragsmogelijkheden en reguleren daarmee direct of indirect het gedrag (SCP, 1996). Structurele strategieën veranderen de context, de omstandigheden of de omgevingskenmerken waarin een gedragskeuze plaatsvindt, zodat het gewenste gedrag aantrekkelijker of beter mogelijk wordt, en/of zodat het ongewenste gedrag onaantrekkelijker of minder goed mogelijk wordt. Men spreekt in dit verband ook van pull-maatregelen: het belonen van de gewenste gedragsoptie, bijvoorbeeld door een prijsverlaging van een energiezuinig product; en van push-maatregelen: het bestraffen van een ongewenste gedragsoptie, bijvoorbeeld door het duurder maken van een milieu-onvriendelijk product.

De structurele strategieën deelt men traditioneel als volgt in:

- *Fysieke instrumenten*: deze instrumenten zijn gericht op het veranderen van de fysieke omgeving en op de kwaliteit van de gedragsalternatieven. Typische voorbeelden zijn technische verbeteringen aan bouwmaterialen of huishoudtoestellen zodat energiezuinig gedrag makkelijker wordt gemaakt (pull-maatregel), of aanpassingen aan de verwarmingsinstallatie zodat energie-onvriendelijk gedrag (te hoge temperaturen) onmogelijk wordt gemaakt (push-maatregel);
- *Financiële instrumenten*: deze instrumenten maken het gewenst gedrag financieel aantrekkelijker, of het ongewenst gedrag financieel onaantrekkelijker. Typische voorbeelden van pull-maatregelen zijn subsidies voor zonneboilers, fiscale voorzieningen (investeringsaftrek voor energiebesparende maatregelen) of kortingen op de prijzen van energiezuinige producten. Typische voorbeelden van push-maatregelen zijn heffingen of verhogingen van de indirecte belastingen (BTW, accijnzen, ...);
- *Juridische instrumenten*: deze instrumenten sturen het gedrag in een bepaalde richting d.m.v. wettelijke geboden, verboden, normen en voorschriften. Overtredingen worden (in principe) bestraft. Een typisch voorbeeld zijn de isolatienormen voor nieuwe woningen;
- *Organisatieveranderingen*: deze instrumenten wijzigen de maatschappelijke structuren en de werkwijzen van organisaties. Een typisch voorbeeld is het bevorderen van telewerken.

De verantwoordelijkheid voor het op gang zetten van structurele strategieën ligt bij de overheid.

*Cognitief-motivationale* strategieën zijn beleidsinstrumenten gericht op het veranderen van individuele voorkeuren en percepties, dus op het veranderen van de afwegingen die de individuen maken (SCP, 1996). Men noemt deze cognitief-motivationale strategieën soms ook wel “sociale instrumenten”. De cognitief-motivationale strategieën proberen met behulp van informatie invloed uit te oefenen op de perceptie van de voor- en nadelen van verschillende gedragsalternatieven. Hun grootste voordeel is meteen ook hun grootste nadeel: de gedragsverandering vindt vrijwillig plaats, via zelfregulering. Ze spreken de individuen aan op hun eigen specifieke verantwoordelijkheden. Ze zijn dan ook het meest effectief als het gewenste gedrag niet te veel extra moeite, tijd of geld kost, en men voldoende mogelijkheden heeft om het gedrag te vertonen.

Men onderscheidt traditioneel twee typen cognitief-motivationale strategieën:

- *Voorlichting, educatie en communicatie*: deze instrumenten veronderstellen dat gedrag beredeneerd is en dat men daarom gedrag kan veranderen door het beïnvloeden van de perceptie van de kosten-baten afweging die eraan ten grondslag ligt. De gegeven informatie kan gericht zijn op het opheffen van kennisgebreken of mispercepties, op het veranderen van de preferenties van mensen, of kan als doel hebben mensen te overreden bepaald gedrag wel of niet te vertonen. Deze instrumenten op zich brengen zelden een gedragsverandering teweeg – zeker niet wanneer de informatie niet aansluit bij de opvattingen en achtergronden van de doelgroep, er geen concrete voorbeelden zijn en de gedragsverandering relatief veel moeite kost – maar ze kunnen wel energie- en klimaatproblemen op de publieke en politieke agenda plaatsen en een draagvlak creëren voor eventueel verdergaande structurele maatregelen.
- *Sociale modellering en ondersteuning*: deze instrumenten veronderstellen dat mensen niet te veel willen afwijken van de sociale groep waartoe ze (willen) behoren, en richten zich daarom op het beïnvloeden van de sociale kosten en baten van een individu, welke samenhangen met de wijze waarop belangrijke anderen het gedrag beoordelen. Sociale ondersteuning zijn maatregelen gericht op het beïnvloeden van de ‘sociale norm’, i.e. de verwachtingen die men heeft over de sociale goed- of afkeuring van anderen van het betreffende gedrag; of ze maken zichtbaar welke mensen zich al energiezuinig gedragen. Sociale ondersteuning zet mensen ertoe aan het gewenste gedrag ‘eens uit te proberen’. Sociale modellering vestigt de aandacht van de mensen op ‘het goede voorbeeld geven’, bijvoorbeeld door de overheid, of door mensen naar wie men opkijkt zoals ‘Bekende Nederlanders’.

## 4 VRAAGBEPERKING RUIMTE- EN TAPWATERVERWARMING

### 4.1 MINDER VRAGEN = MINDER NODIG

De eerste stap in de kyoto piramide (figuur 3.2) om het energieverbruik te verminderen is het zorgen voor minder behoefte aan energie. De warmtebehoefte voor ruimteverwarming kan vergaand teruggedrongen worden door de warmteverliezen in de woning zoveel mogelijk te beperken. Vraagt de referentietussenwoning ca. 200 kWh/m<sup>2</sup> voor ruimte- en tapwaterverwarming, bij een passiefhuis wordt dit teruggebracht tot 25 kWh/m<sup>2</sup>. Dit geeft aan dat met betrekking tot ruimte- en tapwaterverwarming nog veel energie te besparen is.

#### **Passiefhuisrenovatie**

Het toepassen van het passiefhuisconcept op bestaande bouw leidt tot energiezuinige woningen met een comfortabel binnenklimaat. De energievraag voor ruimteverwarming bedraagt maximaal 25 kWh/m<sup>2</sup>. Het maximale totale primaire energieverbruik bedraagt 130 kWh/m<sup>2</sup>. Vergelijk deze waarden met de bestaande bouw, ook in Nederland: meer dan 200 kWh/m<sup>2</sup> voor ruimteverwarming en meer dan 330 kWh/m<sup>2</sup> in primaire energie voor het totaal gebruik. Voorbeelden uit de huidige renovatie praktijk in Nederland leren dat we op basis van Bouwbesluit-gerelateerde eisen op 100 kWh/m<sup>2</sup> voor ruimteverwarming uitkomen. Met andere woorden, we laten vandaag de dag zelfs bij hoog niveau renovatie de helft van de besparingsmogelijkheden nog liggen.

Essentiële kenmerken van het passiefhuisconcept zijn een goede tot zeer goede isolatie met een warmteweerstand (Rc) van dichte delen van 6,5 tot 10 m<sup>2</sup>K/W en een U-waarde van het glas: 0,8 W/m<sup>2</sup>K en kozijnen met een isolatie waarde van minder dan 0,9 W/m<sup>2</sup>K, luchtdicht maken van de gebouwschil en gebalanceerde ventilatie met warmte terugwinning. Voor tapwaterbereiding wordt meestal een zonneboiler toegepast. Een passiefhuisstandaard kan worden bereikt met een verscheidenheid aan technologieën, ontwerpen en materialen. De energiebesparing volgt uit een integrale aanpak van het beperken van transmissie- en lekverliezen, benutten van passieve winsten, doordacht ventileren, gebruik van efficiënte huishoudtoestellen en de aanwending van hernieuwbare energie [Passiefrenovatie: comfortabel energieconcept voor de bestaande bouw, Stedebouw & Architectuur, september 2007].

### 4.2 HUIDIGE PRAKTIJK EN AMBITIENIVEAU

#### *Huidige praktijk*

De referentiewoning gaat uit van de bouwkundige kenmerken van de woning, zoals beschreven in hoofdstuk 3.

In de huidige situatie is de woning voorzien van een centraal verwarmingssysteem. Een ketel zorgt voor de verwarming van het cv-water en het bereiden van warm tapwater. Vanaf het centrale verwarmingspunt wordt de warmte getransporteerd naar de ruimten waar met een hoog temperatuur verwarmingssysteem de warmte wordt afgegeven aan de ruimte. De energievraag bedraagt ca. 2000 m<sup>3</sup> gas, dit komt overeen met ca. 200 kWh/m<sup>2</sup>.

#### *Ambitieniveau*

Om invulling te geven aan stap 1: vraagbeperking, worden zowel bouwkundige als installatietechnische maatregelen voorzien. Mogelijkheden zijn schilisolatie, isolerende beglazing, energiezuinig ventilatiesysteem, toepassen van een laag temperatuur verwarmingssysteem met inzet van een duurzame warmtebron.

Om het energieverbruik vergaand terug te dringen is het belangrijk warmtewinsten te maximaliseren en warmteverliezen te voorkomen. Om dit te bereiken worden het passiefhuis als basis genomen. Het passiefhuis is voorzien van een zeer goed isolatiepakket waardoor warmteverliezen door transmissie nauwelijks nog voorkomen. Daarnaast is huis voorzien van gebalanceerde ventilatie met hoog rendement warmteterugwinning om ventilatieverliezen te beperken.

Voorbeelden van passiefhuizen zijn te vinden in onder andere Duitsland en Oostenrijk. In deze landen is ook veelvuldig passiefhuisrenovatie toegepast.

#### **Voorbeeldprojecten passiefhuisrenovatie**



Projecten in het buitenland laten zien dat passiefhuisrenovatie goed mogelijk is, zoals de projecten Hannover en Mannheim in Duitsland laten zien. Ook in België, Oostenrijk en Zweden zijn projecten gerealiseerd. In Nederland worden de eerste voorzichtige stappen naar passiefhuisrenovatie genomen. Zo is DHV, in opdracht van BAM, betrokken bij een haalbaarheidsstudie van portiekwoningen in Pendrecht tot passiefhuizen en bij een passiefhuis-renovatieproject op Noordereiland te Rotterdam [Passiefrenovatie: comfortabel energieconcept voor de bestaande bouw, Stedebouw & Architectuur, september 2007].

*Figuur 4.1: In het centrum van Hannover is een appartementengebouw gerenoveerd volgens het passiefhuisconcept.*

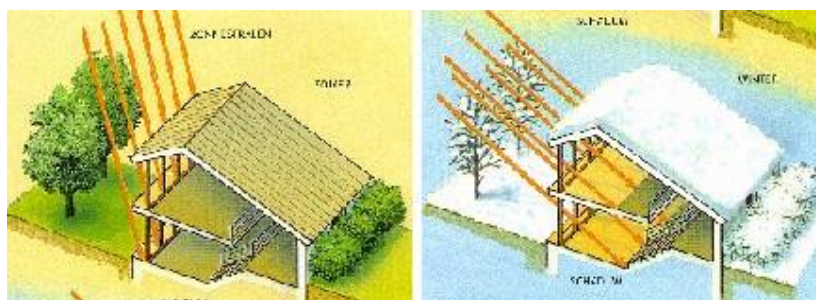
### **4.3 ONTWIKKELINGEN TECHNIEK**

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van bouwkundige en installatietechnische technieken en ontwikkelingen die gericht zijn op vraagbeperking van ruimteverwarming en tapwaterverwarming. Op deze technieken wordt vervolgens kort een toelichting gegeven.

#### **Oriëntatie en bouwvorm**

Om de vraag naar energie voor verwarming van de woning te beperken is het belangrijk zo veel mogelijk gebruik te maken van passieve zonne-energie. Door de leefruimten op het zuiden te oriënteren kan een aangamer leefklimaat ontstaan in de woning zonder dat deze extra verwarmd moet worden.





*Figuur 4.2: Oriëntatie van de woning en zoninstraling.*

Bij renovatie is het onmogelijk de oriëntatie van een gebouw aan te passen. Veelal wordt bij renovatie de indeling van de woning licht aangepast. Hierbij kan rekening gehouden worden met de oriëntatie van de leeffuncties aan de zuidzijde. Ook extra ramen in de gevel kunnen worden aangebracht om de zontoetreding tot de woning te vergroten. Om oververhitting tijdens de zomerperiode te voorkomen, moeten zonwerende voorzieningen worden getroffen (zie afbeelding 4.2).

Compact bouwen is het kiezen van een zodanige bouwvorm dat de verhouding tussen het gebruiksoppervlak (vloeroppervlak) en het verliesoppervlak ((buiten-)gevels, vloeren en daken) zo gunstig mogelijk is. Hierdoor worden transmissieverliezen (warmtestroom door een constructie) tot een minimum beperkt. Schakelen en stapelen en het beperken van sprongen of uitstulpingen in gevels en daken verkleinen het buitenoppervlak. In een renovatieproces is het belangrijk zo min mogelijk uitbouwen te realiseren wanneer de woning vergroot wordt.

### **Thermische isolatie**

Een belangrijke ingreep om de warmtevraag te beperken is het (beter) isoleren van de gebouwschil. De luchtsponw in de muur kan worden gevuld met een isolerend materiaal waardoor de warmteweerstand van de schil toeneemt. Hiermee wordt de warmtevraag beperkt maar dit is niet genoeg om een vergaande vraagbeperking te bewerkstelligen. Voor passiehuizen is de warmtevraag 75% lager dan voor reguliere woningen.

Bij bestaande bouw kan isolatie aan de binnenzijde of aan de buitenzijde worden toegevoegd. Isoleren aan de binnenzijde levert vaak problemen op. Bij het isoleren aan de binnenzijde hebben we te maken met het verkleinen van de bestaande ruimtes, ruimtes die vaak al niet groot zijn. Bovendien worden met het toevoegen van isolatie aan de binnenzijde, koudebruggen geïntroduceerd. Deze koudebruggen zorgen voor ongewenste warmteverliezen en risico's van vocht- en schimmelproblemen. Het oplossen van koudebruggen vraagt veel aandacht. Een oplossing is het voorkomen van koudebruggen, door bijvoorbeeld het afzagen van balkons en nieuwe balkons koudebrugvrij te bevestigen. Bij passiefrenovatie is een dergelijke aanpak noodzakelijk om in de richting van de energieprestatie van 25 kWh/m<sup>2</sup> te komen. Bij projecten waarbij de woningplattegrond wordt aangepast, biedt isoleren aan de binnenzijde vaak mogelijkheden.

Een alternatief is het isoleren aan de buitenzijde. Bouwfysisch gezien heeft deze aanpak de voorkeur. Het voordeel hiervan is dat koudebruggen worden ingepakt. De bestaande indeling van de woningplattegrond wordt niet beïnvloed. Wel hebben we te maken met het straatbeeld. Buitengevelisolatie levert niet altijd het gewenste beeld. Indien de woning direct gelegen is aan de straat, kan het aan de buitenzijde toevoegen van een dik isolatiepakket problemen opleveren, omdat de aangrenzende stoep smaller wordt. Ook bij



buitenisolatie is het koudebrugvrij maken van de balkons noodzakelijk. In bijna alle gerealiseerde passiefrenovatieprojecten zijn nieuwe balkons voor een bestaand gebouw geplaatst [6].

### Passiefhuisdeuren

De isolatiewaarde van deuren kan worden verbeterd door het toepassen van isolerende voordeuren. Een stap verder is het toepassen van passiefhuisdeuren.

### Isoleren ramen

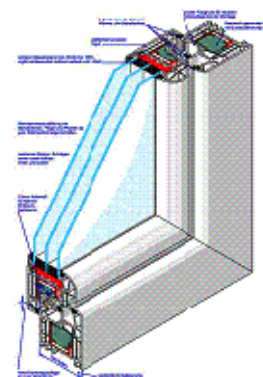
Zuidgerichte superisolerende ramen hebben de eigenschap dat ze meer warmte kunnen binnenlaten dan ze verliezen, en zijn een onontbeerlijke bron van passieve warmtewinsten. Drievoudig HR+++-glas met een U-waarde van  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  kan ook in onverwarmde ruimten in de woning (verkeersruimten, berging) worden toegepast. De ZTA (zon toetredingsfactor) bedraagt meestal  $> 0,5$ .

Drievoudige beglazing kan zijn samengesteld uit drie ruiten van elk 4 mm, gescheiden door twee spouwen van 16 mm. De buitenste ruiten zijn aan de zijde van de spouw voorzien van een coating. De spouwen zijn gevuld met het edelgas argon dat beter thermisch isoleert dan lucht. Om koudebrug werking zoveel mogelijk te vermijden zit het glas dieper in de sponning. De warmtedoorgangscoefficiënt van het glas zonder randeffecten bedraagt  $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  [7].

Een variant op drievoudige beglazing is dubbele beglazing met één of meerdere in de luchtspouw gespannen kunststoffolies. Zo wordt de spouwbreedte van de verschillende spouwen beperkt en valt het nadeel van het extra gewicht van de glasplaten weg. De folies moeten wel perfect gespannen zijn en mogen niet vervormen in de loop der jaren. In Duitsland en België zijn meerdere merken drievoudige beglazing voorhanden. Ook in Nederland is drievoudige beglazing verkrijgbaar.

### Kozijnen

Kozijnvervanging wordt bij renovatie veelvuldig toegepast. Ten behoeve van vergaande vraagbeperking kunnen passiefhuiskozijnen worden toegepast. Passiefhuiskozijnen kunnen gemaakt worden uit verschillende materialen en materiaalsamenstellingen. De kozijnprofielen zijn in hout, aluminium en kunststof leverbaar. Door kozijnprofielen samen te stellen en te voorzien van bijvoorbeeld een kurk of PUR tussenlaag, verbetert de thermische prestatie. Houten ramen bestaan vaak uit een samenstelling van hout en isolatiemateriaal, waarbij dat laatste zowel kurk, PUR of een ander materiaal kan zijn. Er bestaan ook vol-houten ramen, die rekenen op de extra isolatiecapaciteit van enkele ingesloten luchtkamers. De houten ramen kunnen, om onderhoud of esthetische redenen, voorzien worden van een aluminium buitenprofiel. Voor kunststofraamkaders is het essentieel dat de grote luchtkamers opgevuld worden met isolatiemateriaal [PHP-technologiewijzer, Schrijnwerk]. Op de Duitse markt is een groot scala aan beglazingen en kozijnen beschikbaar die voldoen aan de hoge isolatiewaarden.



Figuur 4.3: Kontur 5000  $U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  [8].

### Luchtdichtheid

Energie- en warmteverliezen kunnen worden beperkt door extra aandacht te besteden aan naad- en kierdichting. Door het toepassen van tochtstrips en kierdichtingen kan het bestaande gebouw beter luchtdicht worden gemaakt. Naast het goed detailleren van aansluitingen is een nauwkeurige uitvoering van belang. Ter voorkoming of beperking van vochtproblemen is een continu functionerende ventilatie van groot belang. Inschatting energiebesparing: 0-20%.

In het bijzonder dient ook gelet te worden op de keuze van buitendeuren. Passiefhuis-deuren bevatten meestal een onderregel, die de luchtdichte sluiting verzekert en een extra luchtdichting wanneer het slot wordt vergrendeld. Het sluitwerk zelf moet uiteraard ook thermisch ononderbroken zijn en op een dergelijke wijze bevestigd zijn, zodat geen kritische punten in het luchtscherm worden doorboord [PHP-technologiewijzer, Schrijnwerk].

### **Koudebruggen en details**

#### *Aansluiting kozijn-gevel*

Een raam bestaat niet alleen uit beglazing en een kozijn, maar ook uit een aansluiting op de gevel en de afstandhouder. Een onderbreking van de thermische isolatie ter plaatse van de aansluiting wordt in de huidige bouwstandaard geaccepteerd. Bij vergaande isolatie in de gevel, zoals bij een passiefhuis, is ook deze aansluiting kritisch en zal de aansluiting zonder koudebrug uitgevoerd moeten worden.

#### *Inbouw raam in de wand*

Niettegenstaande de Uw-waarde reeds een beeld geeft van het warmteverlies van de beglazing in specifieke combinatie met de kozijnen, pleit het Duitse Passivhaus Instituut nog voor de invoer van een bijkomende karakteristiek. De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt drukt het extra warmteverlies uit, veroorzaakt bij de specifieke inbouw van het raam in de wand. Om dit tot een minimum te kunnen reduceren worden de ramen zo geplaatst dat hun thermische onderbreking zowel in verticale als horizontale doorsnede naadloos aansluit op de doorlopende thermische isolatielaag in de dubbele gevel van de houtskeletbouw. De vaste kaderdelen aan de buitenzijde zijn integraal ingebouwd achter een isolerende slag [7].

### **Verwarmingssysteem**

#### *Laag temperatuur verwarmingssysteem*

Van een laag temperatuur verwarmingssysteem (LTV) wordt gesproken als de aanvoertemperatuur niet hoger is dan 55 °C. Er zijn verschillende lage temperatuur afgiftesystemen mogelijk: vloer- of wandverwarming, LT-radiatoren, LT-convectoren en LT-luchtverwarming. Door het vergroten van het verwarmingselement kan met een lagere temperatuur eenzelfde energieafgifte gerealiseerd worden. Het is belangrijk dat het warmteafgevend oppervlak zo groot mogelijk is. Een groter oppervlak zorgt ervoor dat de aanvoertemperatuur lager kan zijn. Indien bij renovatie energiebesparende maatregelen worden toegepast, zoals schilisolatie, zal de warmtevraag worden gereduceerd, waardoor de benodigde capaciteit geringer is.

Duurzame energiebronnen werken efficiënter en kunnen een groter deel van het jaar gebruikt worden wanneer ze een lagere temperatuur hoeven op te wekken. Vloerverwarmings- en wandverwarmingssystemen verwarmen eerst een bouwdeel alvorens de warmte wordt afgegeven aan de ruimte. Door deze indirecte werking zijn deze systemen veelal trager dan traditionele systemen. Nachtverlaging zorgt hierdoor niet automatisch meer voor een energiebesparing doordat het opwarmen van bouwdelen veel energie kost.

Ten aanzien van thermisch comfort en luchtkwaliteit presteren LT-systemen in het algemeen beter dan traditionele systemen. LT-systemen zorgen voor een gelijkmatige temperatuurverdeling over de ruimte. Vloer- en wandverwarming hebben een groot stralingsaandeel in de verwarming, waardoor de ruimtetemperatuur lager kan worden ingesteld

Bij renovatie van een woning kan de bestaande vloer enkele centimeters worden opgehoogd waardoor een laag LTV systeem kan worden geïnstalleerd. Om warmteverliezen naar beneden te voorkomen is het belangrijk dat de vloer aan de onderzijde goed geïsoleerd is.

### **Ventilatiesysteem**

#### *Gebalanceerde ventilatie*

Met een gebalanceerd ventilatiesysteem is het mogelijk de warmte van de retourlucht te gebruiken om de ventilatielucht voor te verwarmen. Met hoog rendement warmteterugwinning kan tot 95% van de energie hergebruikt worden. Wanneer een woning wordt gerenoveerd en warmteterugwinning wordt toegepast moeten leidingen aangelegd worden voor het gebalanceerde ventilatiesysteem. Dit kan tot problemen leiden omdat leidingen niet meer in de vloerconstructies geïntegreerd kunnen worden. Mogelijk kan gebruik worden gemaakt van aanwezige kanalen waardoor de installaties zo veel mogelijk aan het zicht worden onttrokken.



*Figuur 4.4: Het project Lewenborg betreft een naoorlogse wijk in Groningen. Voor het project is een renovatieconcept ontwikkeld, waarop in werkpakket 2 uitvoering wordt ingegaan. Onderdeel van het concept is het toepassen van een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning.*

Voor woningen met gebalanceerde ventilatie is een hogere luchtdichtheid wenselijk vanwege de centrale inblaas van lucht. Met betrekking tot de EPN kan als richtgetal worden aangehouden voor woningen met gebalanceerde ventilatie een  $q_{v,10/m^2}$  van  $0,625 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ . Indien er aangetoond kan worden dat er een zeer goede kier- en naaddichting wordt toegepast kan een minimale  $q_{v10;kar/m^2}$  toegepast worden van  $0,40 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ . In Duitsland worden blowerdoor metingen uitgevoerd om de luchtdichtheid te meten. Voor het verkrijgen van het Passiefhuis keurmerk is een blowerdoor test verplicht.

#### *Gezondheidsrisico en ventilatiesystemen*

In de Nederlandse situatie is er discussie over gebalanceerde ventilatiesystemen. Er zijn onderzoeken die uitwijzen dat het toepassen van gebalanceerde ventilatiesystemen gezondheidsrisico's met zich meebrengt. Deze discussie wordt alleen in Nederland gevoerd, in het buitenland komt dit onderwerp niet ter sprake.

Een gebalanceerd ventilatiesysteem vraagt wel om een correct ontwerp, een correcte uitvoering volgens dit ontwerp en een goed onderhoud. In vergelijking met o.a. Duitsland kan de uitvoering in Nederland op veel punten worden verbeterd. Ander punt dat speelt, is dat de gemiddelde Nederlander geen interesse heeft voor de techniek in huis. Een Duitser is daarentegen trots op zijn installatie en is bereid hiervoor het dubbele te betalen vergeleken met de Nederlander.

### *Rookkanaal dichtzetten*

Een rookkanaal zorgt ervoor dat het binnenklimaat direct in verbinding staat met het buitenklimaat. Omdat de woning zeer luchtdicht moet worden uitgevoerd is het belangrijk dat ook dit kanaal wordt afgesloten.

## **4.4 NIEUWE ONTWIKKELINGEN**

### *4.4.1 Nationale ontwikkelingen*

#### **WTW douche (diverse uitvoeringen; rendement 20-30%)**

Een techniek die in Nederland sinds kort wordt toegepast, is douchewaterwarmteterugwinning (DWTW). Bij de DWTW wordt warmte uit afvalwater gebruikt om koud toevoerwater voor te verwarmen. De WTW-unit kan bestaan uit een buis-in-buis warmtewisselaar die verticaal wordt gemonteerd ter plaatse van onderliggende verdieping, zie figuur 4.5 [9].

De voorwaarde voor toepassing van deze buis-in-buis warmtewisselaar is dat deze verticaal geplaatst wordt in een vertrek een verdieping lager dan de badkamer. Voor appartementen wordt daarom vaker een systeem gebruikt waarbij de warmtewisselaar is geïntegreerd in de douchebak, zie figuur 4.6 [9]. Warmte uit douchewater kan bij een collectief systemen worden teruggewonnen met een zogenaamd douchekeanon, zie figuur 4.7 [10].



*Figuur 4.5: Buis in buis WTW.*

*Figuur 4.6: Douchebak WTW.*

*Figuur 4.7: Douchekeanon.*

#### **Gratis filter**

Vanuit BAM woningbouw bestaat het idee om alle bewoners van woningen met een gebalanceerd ventilatiesysteem gedurende 5 jaar periodiek gratis een filter ter vervanging toe te sturen.

### Warmteterugwinning uit (afval)waterstromen

Concrete invulling is de uitwerking van een door ECN geïntegreerd ontwerp voor warmteterugwinning uit (afval)waterstromen met geïntegreerde compacte warmteopslag (vanwege ongelijktijdigheid in energievraag en –aanbod). Deze unit kan warmte uit afvalstromen van huishoudelijke apparatuur en tappunten (douche, keuken) terugwinnen, bewaren en benutten voor voorverwarming van water.

### Decentrale ventilatie met WTW

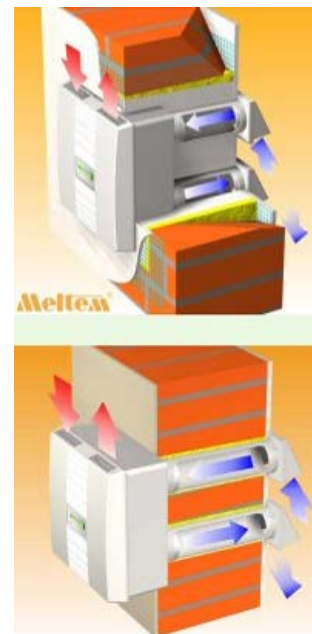
Meltem-WRG is een compacte, decentrale ventilatie unit met WarmteTerugWinning met de volgende kenmerken:

- Individueel instelbare ventilatie (15 – 100m<sup>3</sup>/hr)
- Schone lucht, vrij van fijn stof
- Ook voor allergie patiënten door diverse filters (G4, F6, F7)
- Geen tocht, geen lawaai
- Geeft inbrekers geen kans om binnen te komen
- Milieuvriendelijk en economisch efficiënt door goede WTW (76%)
- Energiezuinige EC-motoren voor gering stroomverbruik
- Zeer onderhoudsvriendelijk
- Diverse regel- en bedieningsmogelijkheden, ook in netwerken

De units worden aan of in een gevel in de te ventileren ruimte geplaatst. Toevoer en afvoer van lucht gaat rechtstreeks via de gevel, zonder kortsluiting van lucht door uitgekiende plaatsing en vormgeving van de openingen.

- Geen ventilatiekanalen door het gebouw
- Ook geschikt om achteraf te plaatsen

Figuur 4.8: Decentrale ventilatie met WTW [11].



### Passieve koeling

Een techniek in ontwikkeling is een systeem voor passieve koeling via de gebalanceerde ventilatiesysteem met warmteterugwinning (wtw) in de particuliere woning. Voor deze techniek definitief op de markt verschijnt, moeten eerst de lopende tests zijn afgerond. Het door de ontwikkelaar omschreven uitgangspunt voor het technisch ontwerp lijkt op het eerste gezicht eenvoudig. Het gebalanceerde ventilatiesysteem kan worden voorzien van een compacte unit, ongeveer zo groot als die voor de wtw. Deze unit regelt de 'gratis' passieve koeling via de ventilatielucht. Het gebruikt vrijwel geen energie in vergelijking met losse airco's.

Het koelvermogen van een actieve airconditioning is groter dan van passieve koeling via de ventilatie. Bij het laatste systeem kan bij een buitentemperatuur van ruim dertig graden de binnentemperatuur zo'n dertig procent worden teruggekoeld. Dat is voor de gevoelstemperatuur vrijwel altijd ruim voldoende [12].

### **Warmtepomp in bestaande cv-installatie**

Lucht/waterwarmtepomp die geen ondersteuning meer nodig heeft van de traditionele hr-ketel. De binnenunit van dit systeem kan zelfs de plaats van de ketel innemen in bestaande watergevulde verwarmingsinstallaties. Mits deze cv-installatie is uitgerust als lage-temperatuurverwarming. In dat geval, of als de bestaande installatie wordt voorzien van ltv-convectoren of fancoil radiatoren, kan het systeem niet alleen 's winters verwarmen maar ook 's zomers actief koelen.

De besparing bij de gemiddelde warmte/koelbehoefte in een eengezinswoning in ons land komt neer op zo'n € 350 per jaar. Dat blijkt na twee jaar praktijkervaring in Scandinavische landen, waarvan de resultaten werden omgerekend naar onze gemiddelde weersomstandigheden en energietarieven.

Uit: brief aan minister Cramer, Stichting Natuur en Milieu en de Nederlandse Woonbond, 28 februari 2007.

#### **Krachtig energiebesparingsbeleid spaart milieu en geld**

De stichting Natuur en Milieu en de Nederlandse Woonbond vragen de ministers Cramer (ROM) en Vogelaar (Wonen, Wijken en Integratie) om concrete actie. Het is de hoogste tijd voor krachtige maatregelen om energiebesparing in de bestaande woningvoorraad te stimuleren, zo schrijven zij in een open brief.

Natuur en Milieu en de Nederlandse Woonbond vinden het hoog tijd voor concrete actie en krachtig beleid, zoals:

- Het ontwikkelen van energieprestatie-eisen (gekoppeld aan het energieprestatiecertificaat) voor bestaande woningen.
- Het tot uitdrukking laten komen van de energiezuinigheid van een woning in het Woningwaarderingstelsel (WWS). Een onzuinige woning leidt tot aftrek van punten in het WWS, wat een lagere wettelijk toegestane maximumhuur oplevert. Dat prikkelt verhuurders tot het doen van investeringen.
- Het maken van meerjarenafspraken met woningcorporaties. Zij hebben bij monde van Aedes een bod aan de samenleving gedaan, dat kan dienen als uitgangspunt voor afspraken met resultaatverplichting over energiebesparingsmaatregelen.
- Ambitieuze verplichte energiebesparingsdoelstellingen – of een vergelijkbaar instrument met dezelfde garanties – voor energiebedrijven. Volgens de Algemene Energieraad bestaat in de gebouwde omgeving een rendabel energiebesparingspotentieel van 230 PJ.
- Het instellen van een door marktpartijen gefinancierd fonds dat energiebesparende maatregelen stimuleert. Uit dit fonds kunnen diverse woningeigenaren, waaronder particuliere verhuurders, hulp krijgen bij de financiering van bijvoorbeeld woningisolatie en zuinige verwarming.
- Vergroening van het fiscaal stelsel voor eigenaar-bewoners, als de koper de vrijgekomen middelen direct inzet om energiebesparende maatregelen te bekostigen. Dit kan onder meer door differentiatie van de overdrachtsbelasting.
- Initiatiefrecht voor woningverbetering door huurders. Die kunnen dan zelf maatregelen aanreiken aan de verhuurder.

Belangrijk is daarbij dat de plannen in nauw overleg met de betrokken bewoners worden ontwikkeld, omdat de ambitieuze doelstellingen zeker niet gehaald zullen worden als er te weinig draagvlak voor is onder de bewoners.



#### 4.4.2 Internationale ontwikkelingen

##### **Passiefhuisconcepten in het buitenland**

Het passiefhuis heeft zijn grootste bekendheid gekregen door het pionierswerk dat op dit gebied in Duitsland en Oostenrijk is gedaan. In een door de EU medegefinancierd project CEPHEUS (Cost Effective Passive Houses as European Standard) is door middel van demonstratieprojecten aangetoond, dat het passiefhuis een technisch en financieel haalbaar concept is. Na de positieve resultaten in de Duitstalige landen en in Zweden volgden weldra andere landen.

De technologie is dus bekend en beproefd, maar in Nederland is het passiefhuis nog niet echt van de grond gekomen. Daarvoor zijn verschillende, samenhangende redenen aan te wijzen. Men bouwt Nederland in vergelijking met Duitsland goedkoop. Niet alleen de organisatie van de bouw en van het opdrachtgeverschap maken de Nederlandse bouw relatief goedkoop, ook hecht men in Duitsland meer waarde aan kwaliteit in de afbouw dan gemiddeld in Nederland. Wanneer de meerkosten voor passief bouwen in Duitsland 8% bedragen, is dat in Nederland een veel hoger percentage. In Duitsland wordt vaak voor particuliere opdrachtgevers gebouwd, die bewust een keuze hebben gemaakt voor een energiezuinige woning. In Nederland worden woningen in groten getale door projectontwikkelaars gebouwd, die de woningen vervolgens aan anonieme kopers verkopen. Bij menig projectontwikkelaar bestaat de vrees, dat het duurdere passiefhuis minder aftrek zal vinden dan een even grote, maar goedkopere standaardwoning. In de huursector kan bovendien de meerinvestering niet altijd in de huur worden doorberekend. Corporaties zien zich dan geconfronteerd met ongedekte posten in hun exploitatieopzet, waar de voordelen van een lagere energierekening voor de huurder zijn.

Doordat het passiefhuis in Nederland nog vrij onbekend is, zal de bouw van passiefhuizen door partijen die de kwaliteit van de woning kunnen beïnvloeden -architect, aannemer, installateur- niet automatisch aanbevolen worden. Doorgaans zijn deze partijen zelf vooralsnog onbekend met de bouwkundige principes van het passiefhuis, terwijl ook in de bouwkundige opleidingen geen aandacht besteedt wordt aan de technologie van het passief bouwen.

Door de zeer beperkte vraag naar passiefhuizen blijft ook het aanbod van passiefhuis-specifieke bouwproducten achter. Voor een ruime keuze aan passiefhuiskozijnen, dito ramen en-deuren kan men alleen over de landsgrenzen terecht.

Niettemin lijkt het passiefhuis ook in Nederland voet aan de grond te krijgen, mede dank zij de inspanningen van de Stichting Passiefbouwen.nl. In veel Europese landen zijn initiatieven genomen om het passiefhuisconcept onder de aandacht te brengen. Er zijn verschillende Europese samenwerkingsprojecten die zich verspreiding van het passiefhuisconcept ten doel hebben gesteld (zie o.m. [www.europeanpassivehouses.org](http://www.europeanpassivehouses.org)). Daarnaast wordt in IEA-verband aan verspreiding en ontwikkeling van zowel passiefhuis-nieuwbouwconcepten als renovatie naar passiefhuisstandaard gewerkt (o.m. IEA SHC taak 37).

*Figuur 4.9: Naoorlogse gestapelde woningen in Ludwigshafen (Duitsland) zijn gerenoveerd volgens de passiefhuisprincipes. De aangestorte balkons zijn bij de woning getrokken, en een nieuwe balkonconstructie met grotere balkons is voor de geïsoleerde gevels geplaatst [Foto: Chiel Boonstra].*



### **Dunne isolatie**

Isolatiematerialen hebben verschillende eigenschappen. Er is een zeer dun isolatiemateriaal op de markt waarvan de producent (Franse firma) een Rc-waarde claimt van  $5 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Andere en onafhankelijke testen hebben echter uitgewezen dat de Rc-waarde slechts  $1,71 \text{ m}^2\text{K/W}$  bedraagt (inclusief 2 keer een luchtpouw). Het is dus van belang de werkelijke waardes van materialen te kennen of te achterhalen.

De vacuümisolatie die op de Duitse bouwmarkten algemeen verkrijgbaar is, bestaat uit een mantel van metaalfolie / dunne metaalplaat (aluminium) en een kern van kunststof cellen, die moeten voorkomen dat het vacuümpaneel in elkaar wordt gedrukt. De isolatiewaarde van het paneel is enige malen hoger dan van isolatiepanelen van kunststofschuim of minerale wol van vergelijkbare dikte.

Een specifieke variant hierop is ontwikkeld door het Nederlandse bedrijf Level: de schakelbare vacuümisolatie. Dit bestaat uit een roestvaststalen sandwichpaneel, waarin een waterstofemitter is opgenomen. Door een elektrische stroom scheidt de emitter waterstof af, waardoor de isolatiewaarde van het paneel vermindert. Wanneer de stroom wordt uitgeschakeld, bindt de waterstof zich weer en krijgt het paneel zijn oude isolatiewaarde terug.

### **Passiefhuisdeuren**

Oostenrijk heeft een passiefdeuren met een dubbele sluiting rondom en een houten drempel, afgewerkt met een aluminium profiel waartegen de dichtingen aandrukken, zodat deze winddicht afsluit. Vaak betreft een dergelijke uitvoering enkel de voordeur. 'Andere' deuren zijn ramen. Deze kunnen zijn uitgevoerd met gezandstraald glas of een geïsoleerd paneel die de glasplaat vervangt. Bij passiefhuis-deuren is de onderste drempel geen koudebrug meer.

Ook zijn in Oostenrijk passiefhuis-deuren beschikbaar die gemaakt zijn uit uitsluitend natuurmaterialen, waarbij toepassingen van kunststoffen en schuimen zijn vermeden. De deur is ongeveer 10 cm dik en heeft een U-waarde van  $0,77 \text{ W/m}^2\text{K}$  (deurblad en kozijn, gemeten overeenkomstig EN 10077).

### **Kozijnen**

In Oostenrijk zijn passiefhuis-kozijnen ontwikkeld, bestaande uit hout met een aluminium afwerking. Het passiefhuis-venster is een volhouten kozijn en zowel het vaste als het draaiende deel bestaat volledig uit hout. De aangenomen isolatiewaarde van het kozijn is gebaseerd op 98 mm houtdikte met ingesloten luchtkamers die de koudebrug onderbreken. De raamprofielen zijn smal. De kozijnen zijn voorzien van een dubbele dichting, een dichtingsprofiel in het midden en een aanslagprofiel aan de binnenzijde van het draaiende deel. De waterslag uit aluminium garandeert bij het draaiende en vaste deel sobere aansluitmogelijkheden [<http://www.passivhausfenster.at>].

### ***Voorzetgevels/vervangen van gevels***

Binnen het IEA-ECBCS-programma is Taak 50 van start gegaan, waarin een aantal landen samenwerkt in de ontwikkeling van geprefabriceerde daksystemen, met geïntegreerde ventilatievoorzieningen, warmwatervoorzieningen en zonne-energiesystemen. Daarnaast richt men zich op hoogwaardig geïsoleerde voorzet-gevelsystemen, met geïntegreerde leidingsystemen voor verwarming, koeling en ventilatie. Op deze manier tracht men een energieprestatie te bereiken voor renovatie, die gelijk is aan die van nieuwbouw. Bovendien kan een hoge kwaliteit bereikt worden door de verregaande mate van prefabricage, zolders kunnen beter bruikbaar worden waardoor er leefruimte aan de woning wordt toegevoegd, en het renovatieproces kan aanzienlijk worden versneld, waardoor bewoners minder overlast ondervinden en renovatie sneller zullen accepteren (<http://www.ecbcs.org/annexes/annex50.htm>).

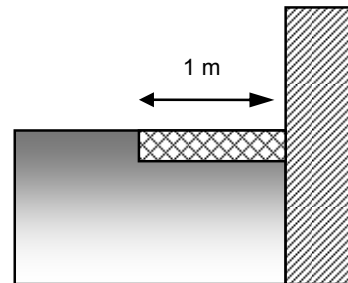


### Wtw riolering

In het IEA programma Energy Efficient Housing is in Pietarsaari, Finland een woning ontwikkelt die warmte onttrekt met een warmtepomp uit het riool van het naast gelegen flatgebouw. Daartoe is in het diepriool een warmtewisselaar gelegd. Op deze manier wordt de restwarmte die via de riolering uit een gebouw vrijkomt, ingezet voor ruimteverwarming van een ander gebouw.

### Fundering

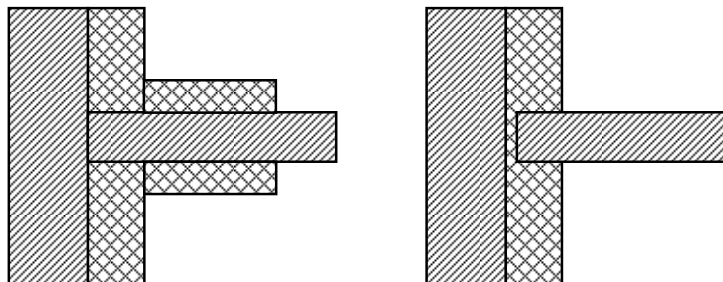
In Duitsland wordt ca. 1 meter uit de gevel de isolatie horizontaal doorgezet. Hiermee wordt een koudebrug bij de fundering voorkomen. Gezien de bodemgesteldheid in Nederland zal deze techniek voor Nederland nader onderzocht moeten worden. Kritisch zijn de grondopbouw en hoge grondwaterstanden in Nederland. Een zandpakket is gunstig.



*Figuur 4.10: Voorbeeld isolatie fundering in Duitsland.*

### Binnengevelisolatie

Mogelijkheden voor binnengevelisolatie op passiefhuisniveau zijn het loszagen van de gevel en geïsoleerd bevestigen van de (nieuwe) gevel. Alternatief is het omzetten van de isolatie boven en onder de verdiepingsvloer.

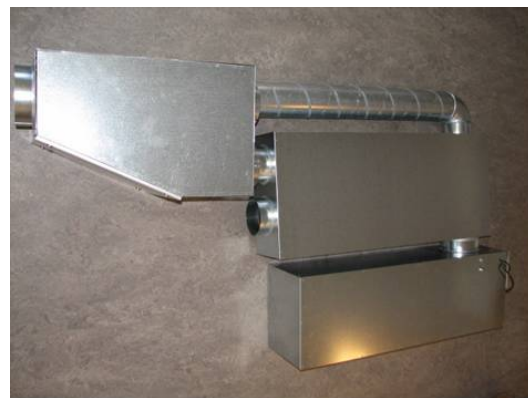


*Figuur 4.11: Voorbeeld aansluiting verdiepingsvloer op gevel.*

### Low-cost wtw uit Denemarken

In het FP6 Demohouse project wordt door de Deense partner Cenergia in samenwerking met de Deense firma Ecovent een kosten-effectieve wtw ontwikkeld. Richtprijs is 3.000 euro inclusief installatie.

Om kosten te besparen is de unit uitgevoerd in drie delen (filterdoos, warmtewisselaar en ventilator) en wordt zonder luxe afwerking geleverd. De unit wordt aangesloten op de bestaande afzuigventilatie opening. Eerste beproevingen in een appartement geven goede resultaten: hoog rendement van warmteterugwinning, lage energieopname van de ventilatoren en een laag geluidsniveau.



*Figuur 4.12: WTW unit Denemarken.*

### Prefab CO<sub>2</sub>-neutraal rooftop appartement



In hetzelfde Demohouse project is een lichtgewicht prefab CO<sub>2</sub>-neutraal rooftop appartement ontwikkeld.

Door het optoppen van bestaande appartementsgebouwen wordt extra woonruimte gecreëerd. De opbrengst bij verkoop kan worden gebruikt voor financiering van extra energiebesparende maatregelen in de rest van het gebouw. Het dakelement is in één dag te plaatsen om overlast voor bewoners te minimaliseren.

*Figuur 4.13: Demohouse.*

### Oostenrijk: decentrale WTW unit

In Oostenrijk is een decentrale WTW unit per ruimte op de markt, en toegepast in renovatieprojecten in sociale woningbouw. Onderstaande foto van een project in de buurt van Graz toont de unit op een paar manieren:



*Figuur 4.14: WTW unit zonder afdekkap en WTW unit in gebruik, binnenzijde en buitenzijde [foto's: Chiel Boonstra].*

Op de afbeelding is zichtbaar hoe de luchtstromen van binnen naar buiten en omgekeerd langs elkaar lopen waarbij warmte-uitwisseling plaatsvindt. Het rendement van de warmterugwinning is volgens mondelinge opgave rond de 60%. De toepassing is vooral interessant omdat deze kan worden uitgevoerd in bewoonde toestand, en er geen kanalsysteem in de woning hoeft te worden aangebracht.

De luchttoevoer en luchtafvoer geschieden vlak boven elkaar, zie foto buitenzijde. Volgens de Nederlandse regelgeving is een grotere afstand nodig om vermenging van toe- en afvoer te vermijden. Het is echter de vraag in hoeverre een klein percentage menging in deze toepassing daadwerkelijk een probleem is.

#### 4.5 ONTWIKKELINGEN GEBRUIKER EN GEDRAG

##### Besparingsmogelijkheden gebruikersgedrag

Met betrekking tot het gebruik van de woning, zijn er eenvoudige maatregelen die resulteren in energiebesparing met betrekking tot ruimteverwarming en ventilatie. Dit zijn o.a.:

- Zet de kamerthermostaat een uur voor vertrek of slapen gaan op een lagere waarde, bijvoorbeeld 13 tot 15 graden. Het huis koelt dan niet teveel af en warmt 's ochtends relatief snel weer op. De besparing hangt af van de isolatiegraad van de woning en kan enkele tientallen euro's per jaar bedragen.
- De thermostaat overdag één graad lager, bespaart gemiddeld zeven procent op de stookkosten. Voor de referentiewoning met 1200 m<sup>3</sup> gas per jaar voor ruimteverwarming is dat 84 m<sup>3</sup> gas of een kleine € 60 per jaar.
- Zeker als het huis geen dubbele beglazing heeft, gaat er veel warmte verloren via de ramen. Sluit 's avonds de gordijnen en houd zo de warmte binnen. Sluit deuren
- Zet de pomp van de centrale verwarming in de zomer uit. Laat de pomp wel één keer per maand even lopen om te voorkomen dat deze vast gaat zitten. Bij een combiketel kan de pomp niet worden uitgezet.
- Als men langer dan vijf dagen van huis is, kan de waakvlam van de geiser en de CV-ketel uit, en in de zomer ook. Dat bespaart ongeveer 90 kubieke meter gas: zo'n € 60 per jaar.
- Isoleer verwarmingsleidingen in niet verwarmde ruimtes (zoals kelder, zolder, garage).
- Plaats een buitenvoeler zodat de temperatuur van de ketel automatisch wordt aangepast aan de weersomstandigheden.
- Laat de verwarmingsinstallatie tijdig onderhouden en controleren, bij voorkeur net na de zomer.
- Plaats reflecterende radiatorfolie tegen de buitenmuur achter de radiatoren, zodat de warmte wordt gereflecteerd i.p.v. in de buitenwand verdwijnt.
- Verlaag de temperatuur in niet bewoonde kamers (bv logeerkamers of kamers van afwezige kinderen), en, indien niemand thuis, de hele woning. Let er hierbij op dat de kamers in de winter vorstvrij blijven.

*Uit: Persbericht 6 februari 2007*

##### **Eenderde huurders betaalt te hoge energierekening**

Veel huurwoningen zijn slecht geïsoleerd. Stichting Natuur en Milieu en de Nederlandse Woonbond starten vandaag de actie Ik stook niet voor de buitenlucht!. Zij roepen huurders op om te testen of hun gasrekening te hoog is. Landelijk registreren zij voor welke woningen dat het geval is. In april bieden de organisaties de resultaten samen met de lokale huurdersorganisaties aan de woningcorporaties en de politiek.

Het is de taak van woningcorporaties om te zorgen voor goede isolatie of voor bijvoorbeeld een zuinige HR-ketel. Helaas doen ze dat te weinig. Isoleren zou te duur zijn, zeker als een woning op de nominatie staat om te worden gesloopt. Isoleren hoeft echter niet duur te zijn en verdient zich bijna altijd snel terug. Zo is gevelisolatie al rendabel in 5 jaar.

Met betrekking tot **warm tapwater** zijn de volgende maatregelen mogelijk.

##### *Dagelijks gebruik*

- Per keer staan wij gemiddeld 8,5 minuten onder de douche. Kortere douchen bespaart warm water én energie.
- Douchen verbruikt ca. de helft minder water en energie dan een bad (57 liter voor 5 minuten douchen versus 120 liter voor een bad).

- Een bad kost meer warm water dan een douche. Ligt men graag lang in bad, isoleer dan de kuip aan de buitenkant. Het water blijft dan langer warm.
- Een spaardouchekop verbruikt nog minder (5-7 liter/ minuut i.p.v. 10-18 liter/ minuut).
- Laat warm (en koud!) water niet onnodig stromen en vang het op in een afgesloten wastafel of spoelbak.

#### *Aanschaf*

Kleine investeringen betreffen het gebruik van debietbegrenzers voor de tappunten van warm water, het plaatsen van thermostatische kranen (men stelt de kraan van tevoren in op de gewenste temperatuur en de 'zelfdenkende' kraan mengt het koude en warme water veel sneller dan de één- en tweegreepsmengkranen) en het isoleren van de warmwaterleidingen (waarbij men de afstand tussen warmwatertoestel en de aftappunten zo kort mogelijk houdt).

## **4.6 GEWENSTE ONTWIKKELINGEN**

In voorgaande paragraaf zijn een aantal ontwikkelingen aan bod gekomen. Om tot vergaande energiebesparing te komen, zijn extra ontwikkelingen gewenst. Nieuwe technieken, die voor zover bekend, nog niet worden ontwikkeld, echter wel potentie hebben in het kader van energiebesparing. Onderstaand een overzicht van gewenste en/of mogelijke ontwikkelingen.

#### *Gewenste ontwikkelingen vraagbeperking ruimteverarming:*

- Gebalanceerde ventilatiesystemen, zoals onderdeel van het passiefhuisconcept, vragen om onderhoud om binnenluchtvervuiling, eventuele gezondheidsrisico's te voorkomen. Een hoger elektriciteitsverbruik van de ventilator moet worden voorkomen. Ventilatie + verwarming op voordeursleutel of aanzetten op afstand kan hier een oplossing voor bieden.
- Brongerichte afzuigventilatie.
- Vocht/CO<sub>2</sub> gestuurde ventilatie; luchtkwaliteitgestuurde ventilatie.
- Aparte ventilatie bepaalde ruimten (zonering).
- Waszone met apart ventilatie/verwarmingsregime.
- Verminderen ventilatie hoeveelheid afzuigkap.
- WTW op wasmachine/vaatwasser; WTW op oven/magnetron.
- Deurdrangers.
- Beperken transmissieverliezen door automatische gordijnen/luiken op alle verdiepingen (regeling in woonkamer).
- De woning wordt feitelijk helemaal kierdicht gemaakt. Wat zijn de risico's indien ventilatie uitvalt en welke veiligheid moet worden ingebouwd?

Een ander idee betreft het filter van een WTW-unit voorzien van een rol-filter. Het apparaat rolt automatisch iedere maand of stapsgewijs het filterdoek een stukje verder, zodat in het apparaat steeds een schoon filter aanwezig is. De vergelijking kan worden gemaakt met een 'handdoekenrol'. Een nieuwe filterrol zal periodiek (1x per jaar) moeten worden vervangen. Dit systeem voorkomt dat bewoners zelf iedere maand of eens in de drie maanden zelf het filter moeten vervangen, iets wat de meeste bewoners op dit moment niet doen.

#### *Met betrekking tot het ontwerp en gebruik van de woning kan worden gedacht aan:*

- Kas op dak.
- Slimme locatie voor aanzuiging van de ventilatielucht (zomer: koel, winter: warm).
- Binnenkomen via achterdeur/bijkeuken.

- Voorpoortaal.
- Fietsfaciliterende voorzieningen.
- Temperatuur-zonering woonkamer/slaapkamer(s).
- Klimatisering per vertrek
- Dubbele façade; Prefab gevels.

In het kader van het PEP project zijn specifiek voor Nederland barrières benoemd voor toepassing van passiefhuizen. De grootste barrière is de traditionele spouwmuur. Lagere U-waarden resulteren in dikkere muren. Door af te wijken van de spouwmuurconstructie en andere afwerkingmaterialen en constructies toe te staan kunnen te dikke, moeilijk te realiseren spouwmuren worden vermeden. Het ontwikkelen van hoogwaardige isolatie met een beperkte dikte, zoals bijvoorbeeld vacuümisolatie is een oplossing voor het knelpunt van zeer goede thermische isolatie met de bijbehorende dikte van het isolatiemateriaal. Geschikte kozijnen zijn nauwelijks verkrijgbaar. Ook is er in de bouwkolom onvoldoende kennis aanwezig over koudebruggen en luchtdichting.

*Gewenste ontwikkelingen met betrekking tot materialen betreffen onder andere:*

- Vacuüm beglazing; vacuümisolatie.
- Dunne hoogwaardige isolatie.
- Hoogwaardige dikke isolatie.
- Koudebrug onderbreking bij binnenisolatie.

*Ontwikkelingen met betrekking tot tapwater betreffen:*

- Douche: spaardouches; drukdouche; pulsedouche; stoomdouche; neveldouche.
- Badisolatie.
- Hergebruik badwater; recirculering badwater.
- Tapwatersysteem op 40 °C, legionella vrij.
- Muntjes automaat voor tapwater.
- Een zonnecollector kan het energiegebruik van warm tapwaterbereiding met een factor twee reduceren. Voor een nog hogere besparing kan het gebruik van hoog-rendements collectoren zoals vacuümpanelen en optimalisatie van de hellingshoek voor de wintersituatie nog winst opleveren.

*Voorkomen koeling:*

- Inbraakvrije spuiventilatie.
- Schakelbare isolatie.
- Koelbehoefte beperken / zonwering.
- Plafonventilator / grote prettige luchtstroom.
- Zonnekoeling.
- Verbeteren warmte-uitwisseling met thermische massa.

#### **4.7 BESPARINGSPOTENTIEEL VRAAGBEPERKING**

Het toepassen van het passiefhuisconcept op bestaande bouw leidt tot energiezuinige woningen met een comfortabel binnenklimaat. De energievraag voor ruimteverwarming bedraagt maximaal 25 kWh/m<sup>2</sup> (ten opzichte van 15 kWh/m<sup>2</sup> voor het passiefhuisconcept bij nieuwbouw). Het maximale totale primaire energiegebruik bedraagt 130 kWh/m<sup>2</sup>.



Vergelijk deze waarden met de bestaande bouw, ook in Nederland: meer dan 200 kWh/m<sup>2</sup> voor ruimteverwarming en meer dan 330 kWh/m<sup>2</sup> in primaire energie voor het totaal verbruik.

Voorbeelden uit de huidige renovatie praktijk in Nederland leren dat we op basis van Bouwbesluit-gerelateerde eisen op 100 kWh/m<sup>2</sup> voor ruimteverwarming uitkomen. Met andere woorden, we laten vandaag de dag zelfs bij hoog niveau renovatie de helft van de besparingsmogelijkheden nog liggen.

### **Besparingspotentieel en type bewoners**

Van de vijf beschreven gezinssituaties (zie hoofdstuk 3), is een inschatting gemaakt met betrekking tot de bereidheid om invulling te geven de mogelijkheden met betrekking tot vraagbeperking in relatie tot ruimteverwarming. Hierbij is beoordeeld op de acceptatie van de maatregel en niet op de benodigde investering.

De maatregelen met betrekking tot beperking van de energievraag hebben met name relatie van verhoging van het comfort tegen lagere energiekosten. Deze comfortverhoging zal positief worden ontvangen. Kritische punten zijn het ruimtebeslag bij het toepassen van bijvoorbeeld binnengevel isolatie of isolatie aan de binnenzijde van het dak. Ook het toepassen van een gebalanceerd ventilatiesysteem vraagt ingrijpen in de woning. Het combineren van isolatiemaatregelen met het vergroten van de woning (isoleren van het dak inclusief dakopbouw) bevordert de acceptatie van bewoners. Het in WP2 onderzochte project Rustenburg Oostbroek onderbouwd dit. In dit project is een goed geïsoleerde dakopbouw onderdeel van het renovatieproject.

Indien een gebalanceerd ventilatiesysteem wordt toegepast, is het onderhoud van het systeem een aandachtspunt. Het blijvend veranderen van gewoontes, zoals beschreven in besparingsmogelijkheden gebruikersgedrag, zullen middels diverse stimuleringsmaatregelen moeten worden gewaarborgd.

## **4.8 CONCLUSIE VRAAGBEPERKING**

Door een bestaande woning te transformeren tot een passiefhuis is het mogelijk ook in de bestaande bouw tot een zeer lage warmtevraag te komen. Doordat echter bestaande constructies en aansluitingen aangepast moeten worden is extra controle van fysische aspecten noodzakelijk. Koudebruggen en naaddichtingen moeten kritisch bekeken worden en op uitdagende wijze worden opgelost.

Het toepassen van nieuwe installaties en duurzame bronnen moet bijdragen tot het beperken van warmteverliezen en het toepassen van duurzame bronnen.

In het kader van het PEP project zijn specifiek voor Nederland barrières benoemd voor toepassing van passiefhuizen [13]. Markt gerelateerde barrières betreffen:

- De Nederlandse huizenmarkt kan worden gekarakteriseerd als een aanbodgestuurde markt. Projectontwikkelaars realiseren veel grootschalige huizenprojecten. Vaak spelen gemeenten een rol bij de ambities bij deze projecten en kopen bewoners/consumenten wat er aangeboden wordt zonder enige interesse in en kennis van passiefhuizen.
- De Nederlandse consument associeert de Nederlandse traditionele spouwmuur met kwaliteit en weet niet beter.
- Barrières gerelateerd aan nationale normering betreffen dat huizen nu worden gebouwd volgens het (vrijwillige) GIW-certificaat. Dit certificaat geeft aan dat het 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 GIW-eisen, is het mogelijk dat het Passiefhuis niet voldoet aan de verwarmingscapaciteit beschreven in deze GIW-eisen. Dit kan de positie van passiefhuizen in de markt verzwakken.

## **5 VERMINDEREN ELEKTRICITEITSVERBRUIK**

### **5.1 MEER OF MINDER ELEKTRICITEIT?**

Onderdeel van Rigoureux is reductie van het fossiele energieverbruik door huishoudelijke apparatuur, o.a. door de traditionele grens tussen gebouw- en gebruiksgebonden energie c.q. oplossingen te doorbreken. Elementen zijn:

- Reductie van energieverbruik door het voorkomen van apparaatgebruik (bijvoorbeeld airco's of verlichting), zuiniger maken van apparaten of het voorkomen van stand-by verliezen.
- Duurzame(r) opwekking van warmte voor huishoudelijke apparatuur (vervanging van elektriciteit).
- Terugwinning van warmte na gebruik in huishoudelijke apparatuur (bijv. water uit wasmachines).
- Terugkoppeling over gevolgen apparaatgebruik aan bewoner(s).

### **5.2 HUIDIGE PRAKTIJK EN AMBITIENIVEAU**

#### *Huidige praktijk*

Voor de referentiesituatie is een configuratie opgesteld van verschillende aanwezige elektrische apparaten, zie hoofdstuk 3. De aanwezigheid van apparaten is gebaseerd op het Basisonderzoek Elektriciteitsverbruik Kleinverbruikers [BEK, EnergieNed, 2000]. In bijlage 2 zijn alle aanwezige apparaten weergegeven. Per apparaat is aangegeven wat de penetratiegraat volgens het BEK is, hoeveel er in de referentiesituatie gebruikt worden en wat het energieverbruik van de apparaten is per jaar. Het totale elektriciteitsverbruik per jaar bedraagt 3672 kWh/jaar voor een huishouden. Hier komt nog 220 kWh aan hulpenergie bij.

#### *Ambitieniveau*

Behalve het stijgende energieverbruik een halt toe te roepen, is het doel van dit project het totale energieverbruik per huishouden met 75% te verminderen. Het elektriciteitsverbruik zal daarom aanzienlijk omlaag moeten. Dit hoofdstuk geeft in stappen aan, hoe dit energieverbruik kan worden gereduceerd tot 25% van de referentiesituatie. Vergaande energiebesparing in het huishoudelijke energieverbruik heeft echter consequenties voor het comfort. De uitdaging is om oplossingen te vinden die én het comfort verhogen én het energieverbruik reduceren.

### **5.3 ONTWIKKELINGEN TECHNIEK**

Onderstaand wordt aangegeven hoe in een viertal stappen de elektriciteitsbehoefte kan worden teruggedrongen.

1. Overbodig standby-verbruik voorkomen.
2. Vervangen door energiezuinige apparaten. Als aanwezige apparaten worden vervangen door energiezuinigere varianten wordt duidelijk wat het besparingspotentieel is met de huidige stand van de techniek en zonder het comfort van de bewoner aan te tasten.
3. Vervangen door niet-elektrische alternatieven. Een aantal apparaten kunnen vrij eenvoudig vervangen kunnen worden door niet-elektrische middelen.
4. Overbodige apparaten verwijderen. Deze stap is van grote invloed op het comfortniveau van bewoners.



### Stap 1: Overbodig standby-verbruik voorkomen

Veel apparaten zijn uitgevoerd met een zogenaamde standby-modus. In deze modus is het apparaat eenvoudig opnieuw in te schakelen. Nadeel van deze instelling is, dat het apparaat in deze modus energie verbruikt. Omdat het een soort wachtstand betreft, is het energieverbruik dat met deze functie gemoeid is, overbodig. Met vrijwel hetzelfde gemak worden TV en stereo-installatie na gebruik helemaal uitgeschakeld waardoor dit standby-verbruik wordt voorkomen.

In principe kan alle elektriciteit die verbruikt wordt wanneer apparaten aan staan, terwijl ze niet worden gebruikt, gezien worden als standby-verbruik. Bewegingssensoren of tijdschakelaars kunnen dit verbruik voorkomen maar ook automatisch schakelbare stopcontacten kunnen zorgen dat de voeding onderbroken wordt wanneer niemand in de buurt is of wanneer het nacht is. Een vakantieschakelaar kan voorkomen dat tijdens vakantieperioden apparaten stroom verbruiken.

Het totale energieverbruik in de referentiewoning kan door het voorkomen van standby-verbruik met ruim 10% teruggedrongen worden, zie tabel 5.1.

Tabel 5.1: Elektriciteitsverbruik en besparing bij toepassen van standby-killers.

Apparaatgroep	Ref.	besparing stap1	rest
	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]
Kookapparatuur	96	27	69
Keukenapparatuur	136	22	114
Hobby	8	2	6
Persoonlijke verzorging	16	4	12
Audio/ video/ communicatie	629	189	440
Verwarming/ warmwater	271	50	221
Binnenhuisklimaat	26	0	26
Koelvriesapparatuur	589	6	583
Reiniging	1213	0	1213
Overig	46	10	36
Verlichting gloeilamp	446	0	446
Verlichting halogeenlamp	142	79	63
Verlichting spaarlamp	13	0	13
Verlichting TL	41	0	41
<b>Totaal</b>	<b>3672</b>	<b>389</b>	<b>3283</b>

#### Technische oplossingen beperken standby-verbruik

De standby-stand levert voor veel apparaten een extra gebruikersgemak. De standby tijd kan verkort worden met verschillende middelen (standby-killers).

- Wanneer de bewoner zijn huis verlaat kan alle apparatuur uitgeschakeld worden wanneer een hoofdschakelaar gekoppeld wordt aan het deurslot. Met het afsluiten van de deur kan alle (overbodige) apparatuur uitgeschakeld worden.
- Wanneer de bewoner thuis is kan een bewegingssensor gebruikt worden om de TV uit te schakelen wanneer de gebruiker niet in de buurt of in een ander vertrek is.
- Een tijdschakelaar kan gebruikt worden om overbodig standby-verbruik te voorkomen, bijvoorbeeld door apparaten gedurende de nacht en delen van de dag apparaten uit te schakelen.
- Geen stand-by functie op het apparaat. Uit = uit.

N.B. standby-killers kunnen bijna bij alle apparaten zonder problemen gebruikt worden. Bij computers moet ervoor worden gewaakt dat tijdelijk niet-gebruik als standby wordt 'gezien', en de stroomvoorziening wordt afgesloten. Onverwacht de stroomvoorziening van de computer onderbreken kan leiden tot



beschadigingen en gegevensverlies. Een module opnemen om de computer eerst netjes af te sluiten of het geheugen weg te schrijven naar de harde schijf (hibernate) alvorens de stroom wordt onderbroken, kan een oplossing bieden.

### Stap2: Vervangen door energiezuinige apparaten

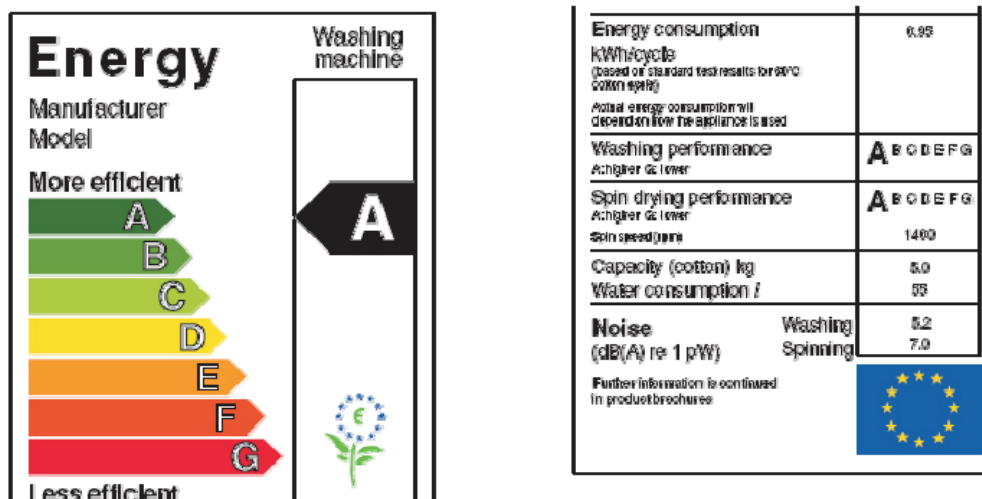
Het vervangen van aanwezige apparaten door energiezuinigere varianten kan een aanzienlijke besparing tot stand brengen. Voor keukenapparatuur kan een kleine besparing behaald worden op het koffiezetapparaat en de waterkoker. Grote winst is te behalen bij beeldschermen, koelvriesapparatuur, wasmachine, wasdroger en verlichting. Door aanwezige apparaten te vervangen door energiezuinige apparaten, bovenop de stand-by killers, kan het totale elektriciteitsverbruik van de referentiewoning met ongeveer 40% worden teruggedrongen.

In onderstaande tabel zijn de volgende besparingen meegenomen:

- Het vervangen van de beeldschermen door LCD schermen. Dit levert een extra besparing van 12% op de categorie audio/ video/ communicatie.
- Bij de koelvriesapparatuur is de koelkast en de vrieskist vervangen voor een energiezuinige 2-deurs koelvrieskast. Dit levert een extra besparing op van 62%. De verkleining van de vriesruimte zorgt ervoor dat de bewoners slimmer (en soms vaker) inkopen moeten doen. Eventueel kan er gebruik worden gemaakt van burendiensten om bijvoorbeeld halverwege de week brood te kopen zodat dit niet ingevroren hoeft te worden.
- Door alle verlichtingsarmaturen in de woning te vervangen door spaarlampen kan het elektriciteitsverbruik door verlichting ook aanzienlijk verlaagd worden. Het vervangen van alle lampen door spaarlampen zorgt voor een extra besparing van 69% op deze categorie.

Tabel 5.2: Elektriciteitsverbruik en besparing bij toepassen van energiezuinige apparaten.

Apparaatgroep	Ref.	besparing stap1	rest	besparing stap2	rest
	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]
Kookapparatuur	96	27	69		69
Keukenapparatuur	136	22	114	66	48
Hobby	8	2	6		6
Persoonlijke verzorging	16	4	12		12
Audio/ video/ communicatie	629	189	440	51	389
Verwarming/ warmwater	271	50	221		221
Binnenhuisklimaat	26	0	26		26
Koelvriesapparatuur	589	6	583	359	224
Reiniging	1213	0	1213	174	1039
Overig	46	10	36		36
Verlichting gloeilamp	446	0	446	446	
Verlichting halogeenlamp	142	79	63	63	
Verlichting spaarlamp	13	0	13	-173	186
Verlichting TL	41	0	41	41	
<b>Totaal</b>	<b>3672</b>	<b>389</b>	<b>3283</b>	<b>1027</b>	<b>2256</b>



Figuur 5.1: energielabel voor een wasmachine.

### Stap 3: Vervangen door niet-elektrische alternatieven

Elektrische apparaten kunnen vervangen worden door niet-elektrische middelen. De magnetron kan ontzien worden om etenswaar te ontdooien, de mixer kan vervangen worden door de garde en de citrusperser kan handmatig worden bediend. De schuurmachine kan vervangen worden door het schuurpapier en de oplaadbare boormachine kan vervangen worden door de schroevendraaier. De föhn kan ontzien worden, het scheerapparaat kan vervangen worden door het scheermes en de elektrische tandenborstel kan vervangen worden door de gewone tandenborstel.

Om de elektriciteitsverslindende reinigingsapparaten gedeeltelijk te ontzien kunnen pannen e.d. afgewassen worden en kan de was op een waslijn gedroogd worden in plaats van met de wasdroger. Ook kan de stofzuiger vaak in de kast blijven staan wanneer de bezem en het stoffer en blik vaker gebruikt worden. Van de verlichting kan een deel van de lampen vervangen worden door technische oplossingen om meer daglicht binnen te halen of weggelaten worden omdat deze overbodig zijn.

Door, aanvullend op standby-killers en inzet van energiezuinige apparaten, apparaten te vervangen door niet-elektrische middelen of ze gedeeltelijk te ontzien, kan het totale elektriciteitsverbruik van de referentiewoning met bijna 60% worden teruggedrongen.

Een wasdroger is eenvoudig te vervangen door de traditionele waslijn. Voorwaarde is wel dat in een woning voldoende ruimte is om was te drogen. Het buiten toepassen van een afdak kan voorkomen dat was opnieuw nat wordt door regen. De buitenruimte moet diefstalvrij zijn. Een droogkast in de woning zou een speciaal voor het drogen van was ontworpen ruimte zijn, waar de 'afvalwarmte' van bijvoorbeeld koelkast wordt gebruikt voor het drogen van de was. De waslijnen moeten voldoende lang zijn voor het type gezin.

Figuur 5.2: [www.members.home.nl](http://www.members.home.nl)

Tabel 5.3: *Electriciteitsverbruik en besparing bij vervanging van apparaten door niet elektrische varianten.*

Apparaatgroep	Ref.	besparing stap1	rest	besparing stap2	rest	besparing stap3	rest
	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]
Kookapparatuur	96	27	69		69	7	62
Keukenapparatuur	136	22	114	66	48	3	45
Hobby	8	2	6		6	1	5
Persoonlijke verzorging Audio/ video/ communicatie	16	4	12		12	10	2
Verwarming/ warmwater	629	189	440	51	389		389
Binnenhuisklimaat	271	50	221		221		221
Binnenhuisklimaat	26	0	26		26		26
Koelvriesapparatuur	589	6	583	359	224		224
Reiniging	1213	0	1213	174	1039	630	409
Overig	46	10	36		36		36
Verlichting gloeilamp	446	0	446	446			
Verlichting halogeenlamp	142	79	63	63			
Verlichting spaarlamp	13	0	13	-173	186	53	133
Verlichting TL	41	0	41	41			
<b>Totaal</b>	<b>3672</b>	<b>389</b>	<b>3283</b>	<b>1027</b>	<b>2256</b>	<b>704</b>	<b>1552</b>

#### Stap 4: Overbodige apparaten verwijderen

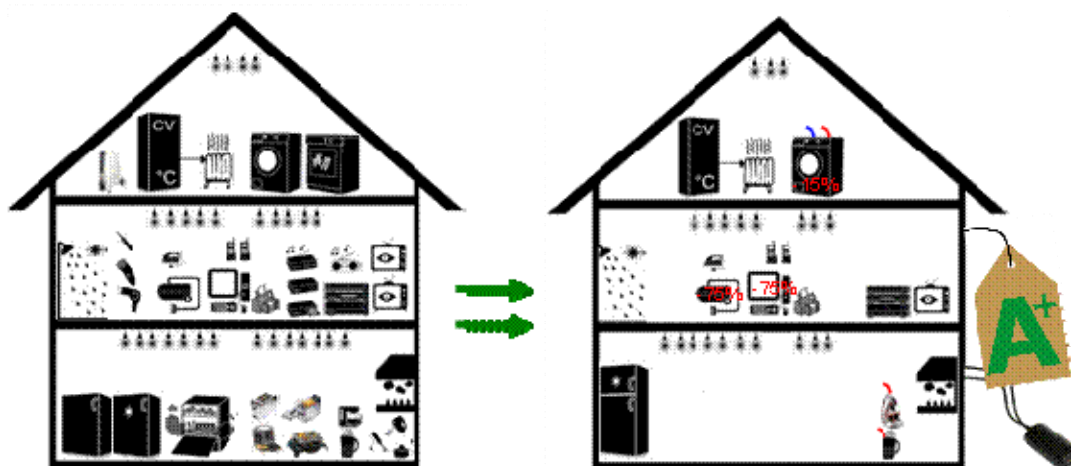
De vraag naar elektriciteitsverbruik kan verder worden geminimaliseerd als een aantal apparaten niet worden gebruikt of zelfs worden verwijderd uit de woning. Het niet gebruiken van deze apparaten heeft aanzienlijke gevolgen voor het dagelijks leven van de bewoners. Indien geen gebruik meer wordt gemaakt van de frituurpan, de staafmixer, het tosti-ijzer, het broodrooster en het gourmetstel, kost alleen de waterkoker in de keuken nog stroom. Wanneer voor klussen de decoupeerzaag en de vlakschuurmachine minimaal worden gebruikt en de tweede TV, de losse radio en de videorecorder niet meer worden gebruikt, zijn er weinig luxe apparaten meer in gebruik. Het computergebruik kan verder omlaag worden gebracht als geen spelletjes meer gespeeld worden en de radiowekker hoeft alleen aan te staan wanneer we naar bed gaan, slapen en opstaan. Door alles af te wassen en zo veel mogelijk stof op te veegen en zo min mogelijk lampen te gebruiken kan het elektriciteitsgebruik van de woning verder worden verminderd.

Door, aanvullend op standby-killers, inzet van energiezuinige apparaten en vervanging van apparaten door niet-elektrische middelen, apparaten te verwijderen uit huis, kan het totale elektriciteitsverbruik van de referentiewoning met 75 % worden teruggedrongen, zie tabel 5.4.

Tabel 5.4: Maximale reductie op het huishoudelijk energieverbruik, reductie 75%.

Apparaatgroep	Ref.	Bespa- ring step1	rest	Bespa- ring step2	rest	Bespa- ring step3	rest	Bespa- ring step4	rest
	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]	[kwh/jr]
Kookapparatuur	96	27	69		69	7	62		62
Keukenapparatuur	136	22	114	66	48	3	45	21	24
Hobby	8	2	6		6	1	5	1	4
Persoonlijke verzorging	16	4	12		12	10	2		2
Audio/ video/ communicatie	629	189	440	51	389		389	108	281
Verwarming/ warmwater	271	50	221		221		221	221	
Binnenhuisklimaat	26	0	26		26		26		26
Koelvriesapparatuur	589	6	583	359	224		224		224
Reiniging	1213	0	1213	174	1039	630	409	224	185
Overig	46	10	36		36		36	21	15
Verlichting gloeilamp	446	0	446	446					
Verlichting halogeenlamp	142	79	63	63					
Verlichting spaarlamp	13	0	13	-173	186	53	133	50	83
Verlichting TL	41	0	41	41					
<b>Totaal</b>	<b>3672</b>	<b>389</b>	<b>3283</b>	<b>1027</b>	<b>2256</b>	<b>704</b>	<b>1552</b>	<b>646</b>	<b>906</b>

In figuur 5.3 en tabel 5.5 staat aan de linkerzijde welke apparaten in de referentiewoning aanwezig zijn. Aan de rechterzijde staan de apparaten die aanwezig zijn, uitgaande van 75% elektriciteitsvermindering ten opzichte van de referentiesituatie. Veel van de ondersteunende kookapparaten zijn afgefallen. De hobbyapparaten zijn veelal behouden, maar het verbruik is sterk beperkt. De apparaten voor persoonlijke verzorging zijn vrijwel allemaal afgefallen. Bij de audio/video apparaten zijn er enkele afgefallen maar is een redelijk deel behouden gebleven in verband met gewoontes van bewoners. Alle andere apparaten zijn zo veel mogelijk behouden. Het aantal lampen is sterk afgenomen. Per ruimte zijn nu niet meer dan 2 lampen aanwezig. Eén lamp dient hierbij voor het verlichten van de ruimte en de andere lamp kan gebruikt worden om lokaal bij te lichten.



Figuur 5.3: Verschil in apparaten bij huidige huishouden en bij toepassen van 75% energiebesparing.

Tabel 5.5: Overzicht van elektrische apparaten in de referentiesituatie (links) en na 4 stappen om het elektriciteitsverbruik met 75% te verminderen (rechts).

<i>Kookapparatuur:</i> koffiezetapparaat, frituurpan, waterkoker, mixer, staafmixer, citruspers, tosti-ijzer, broodrooster, gourmetstel	<i>Kookapparatuur:</i> espressomachine, waterkoker
<i>Hobby:</i> boormachine, decoupeerzaag, vlakschuurmachine, oplaadbare , boormachine, soldeerbout, naaimachine	<i>Hobby:</i> boormachine, decoupeerzaag, vlakschuurmachine, oplaadbare , boormachine, soldeerbout, naaimachine
<i>Persoonlijke verzorging:</i> föhn, scheerapparaat, elektrische tandenborstel	<i>Persoonlijke verzorging:</i> föhn
<i>Audio/ video/ communicatie:</i> VCR, 2 TV's, losse radio, tuner, versterker, cassettedeck, CD-speler, Maro-, mdi-, full-size installatie, computer, printer, 2 draadloze telefoons	<i>Audio/ video/ communicatie:</i> 1 TV, tuner, versterker, CD-speler, Maro-, mdi-, full-size installatie, computer, printer, 2 draadloze telefoons
<i>Verwarming/ warmtapwater:</i> centrale verwarming (individueel)	<i>Verwarming/ warmtapwater:</i> - (geen elektrische energie)
<i>Binnenhuisklimaat:</i> ventilatie (douche), afzuigkap	<i>Binnenhuisklimaat:</i> ventilatie (douche), afzuigkap
<i>Koelvriesapparatuur:</i> koelkast zonder vriesvak, diepvrieskist/kast	<i>Koelvriesapparatuur:</i> 2-deurs koelvrieskast
<i>Reiniging:</i> vaatwasmachine, wasdroger, wasmachine, strijkijzer, stofzuiger	<i>Reiniging:</i> wasmachine, strijkijzer, stofzuiger
<i>Overig:</i> Radio wekker (LED-display), batterij-oplader, deurbel	<i>Overig:</i> Radio wekker (LED-display), batterij-oplader, deurbel
<i>Verlichting:</i> 37 lampen	<i>Verlichting:</i> 10 lampen

## 5.4 NIEUWE ONTWIKKELINGEN

### 5.4.1 Nationale ontwikkelingen

Het verwijderen van apparatuur uit de woning of het vervangen van apparaten door niet-elektrische middelen kan van grote invloed zijn op het comfort van de gebruikers. Deze paragraaf geeft een overzicht van nieuwe technieken en mogelijke ontwikkelingen waarmee het elektriciteitsverbruik kan worden beperkt, met behoud van comfort.

#### *Reiniging*

Veel apparaten verwarmen lucht of water (vaatwasser, wasmachine). Hierbij wordt op inefficiënte wijze warmte opgewekt en gaat vaak veel warmte verloren. Enerzijds zou bij dergelijke apparaten gebruik kunnen worden gemaakt van duurzaam opgewekte warmte, anderzijds kunnen warmtelekken nuttig gebruikt worden voor andere doelen:

- Apparaten die warm water gebruiken, kunnen voorzien worden van een 'hot-fill' aansluiting. In plaats van het water elektrisch te verwarmen in het apparaat, wordt warmwater toegevoerd. Het warm water wordt verwarmd door hoog-rendement ketels of liever nog met duurzame bronnen. Het rendement wordt verhoogd, als er een regeling wordt toegepast dat de wasmachine of vaatwasser aan gaat, wanneer er voldoende duurzaam opgewekt warmwater aanwezig is. Een slimme schakeling zou dit proces automatisch kunnen sturen. Warmte uit afvalwater en douchewater kan teruggewonnen worden. Aandachtspunten zijn leidingverliezen en tijd dat warm water wordt toegevoerd. Als het 20 seconden duurt voordat warm water uit de leiding komt, en de vaatwasser vraagt steeds korter dan 20 seconden water, is het rendement zeer laag.
- 
- Verlieswarmte van diverse apparaten kan worden hergebruikt om ruimtes te verwarmen of het waternet te verwarmen. Verlies- en restwarmte van de vaatwasser, wasmachine en de wasdroger kan hergebruikt worden, evenals warmte van ovens en magnetrons. Zelfs warmteverliezen bij koffiezetapparaten en batterijladers kunnen efficiënt hergebruikt worden.

#### *Koelvriesapparatuur*

Koelvriesapparatuur kan gekoppeld worden aan het buitenklimaat. Gedurende het stookseizoen kan het apparaat direct zijn koeling van buiten halen. Huidige koelkasten slaan uit bij te lage omgevingstemperaturen. Een nieuwe regeling zou het uitschakelen van de koelkast en het waarborgen van een maximum temperatuur in de koelkast moeten waarborgen.

### Verlichting

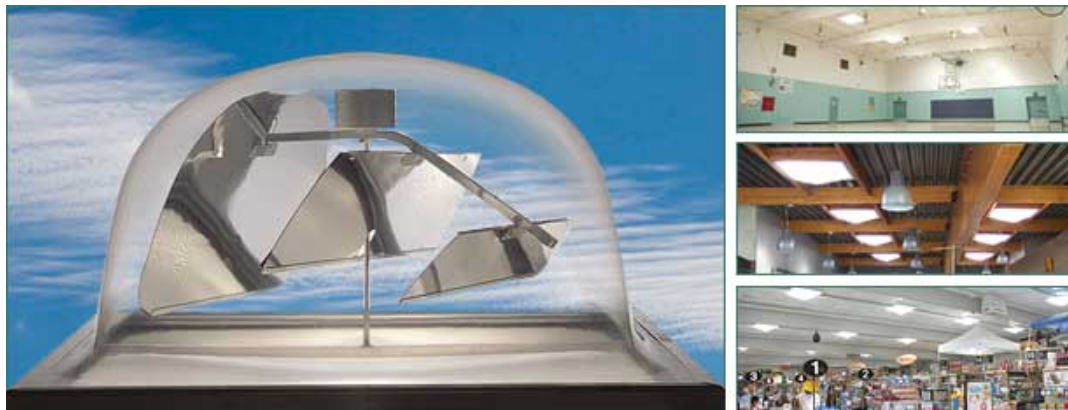
Er zijn diverse ontwikkelingen waarmee het energieverbruik voor verlichting gereduceerd kan worden.

- Solartube is een compact systeem, waarmee daglicht vanaf het dak naar donkere plaatsen in het woonhuis kan worden gebracht. Het daglicht wordt opgevangen in een kleine koepel van zelfreinigend, UV absorberend polycarbonaat met een maximale transmissie voor zichtbaar licht van 92%. In het koepeltje bevindt zich een reflector: een holle spiegel die extra licht opvangt als de zon laag staat. Het licht wordt door zeer sterk reflecterende tubes, een (gepatenteerd) “spiegel” systeem, getransporteerd naar een plafonnière die het licht gelijkmatig verspreid. De tubes kunnen worden ingesteld naar iedere dakhelling [<http://www.daglichtsystemen.nl>].



Figuur 5.4:  
Solartube.

- Met spiegels kan direct zonlicht diep een vertrek in geleid worden. Een motortje op zonne-energie kan gebruikt worden om de spiegels met de zon mee te laten roteren (Suntracker). Het systeem is vooral bruikbaar voor platte daken [14].



Figuur 5.5: Suntracker [15].

- Om minder behoefte aan kunstlicht te hebben kunnen geveldelen uitgevoerd worden in doorzichtig isolatiemateriaal (Translucent Insulation Material, TIM). Hierdoor blijft de isolatiewaarde van de gevel behouden maar kan wel daglicht de ruimte betreden. Het toepassen van zeer goed isolerende beglazing (drievoudig) is een alternatief voor het toepassen van TIM.



- Behalve toepassen van spaarlampen, kan gebruik gemaakt worden van veel zuinigere LED verlichting. Er is reeds LED verlichting verkrijgbaar die geschikt is voor vervanging van gloeilampen en gebruikt kan worden in dezelfde armaturen. Wanneer deze verlichting uitgevoerd kan worden met meer sfeervolle keuzes, zouden op korte termijn veel lampen eenvoudig vervangen kunnen worden.



*Figuur 5.6: LED lampen welke gebruikt kunnen worden in reguliere armaturen gebruikt kunnen worden. Beide voorbeelden zijn slechts 1,5W [www.energie-besparing.nu].*

#### 5.4.2 Internationale ontwikkelingen

Voor zover bekend is dit onderwerp nauwelijks aan de orde bij internationale projecten. In 2008 wordt een IEA-taak IEA\_ECBCS task 45 afgerond: Energy-Efficient Future Electric Lighting for Buildings. Het IEA programma gaat vooralsnog echter voorbij aan energiebesparing door "intelligente" en intelligent toegepaste huishoudelijke apparatuur.

## 5.5 ONTWIKKELINGEN GEBRUIKER EN GEDRAG

### Besparingsmogelijkheden gebruiker

Met betrekking tot het huishoudelijke energiegebruik, hebben de volgende maatregelen een positief effect op energiebesparing.

#### **Koelvriesapparatuur**

##### *Dagelijks gebruik*

- Kies een koelkast en diepvriezer op maat van behoeften.
- Plaats de koelkast of vriezer op een koele plek, niet te dicht bij een verwarming, fornuis of de zon. (met een ventilatieruimte achter de koelkast of diepvriezer).
- Zet een koelkast met de achterkant minstens tien centimeter van de muur af. Het apparaat gebruikt minder energie als de warmte die aan de achterkant vrij komt gemakkelijk weg kan. Houd de achterzijde van de koelkast stofvrij.
- Open de koelkast/vriezer zo kort mogelijk.
- Energie bespaart u ook door het apparaat regelmatig te ontdooien (tweemaandelijks of wanneer er een laag ijs opzit, rijmlaag van 2 mm = meerverbruik van ongeveer 10 %).
- Ontdooi ingevroren producten in de koelkast. De kou die vrijkomt wordt gebruikt voor de koeling. Dat bespaart weer energie.
- Zet de koelkast uit als u deze een tijd niet gebruikt, bijvoorbeeld tijdens vakanties. Zet de deur dan op een kier om schimmelvorming tegen te gaan.
- Plaats geen warme gerechten in de koelkast.



- Een slecht sluitende deur 'lekt' energie. Controleer dit door een stukje papier tussen de deur en de koelkast te steken en te trekken. Voelt u weerstand, dan sluit de deur nog goed. Het randje rubber langs de deur houdt u soepel door het regelmatig te reinigen met een vochtige doek.

#### Aanschaf

- Bij aankoop van een diepvriezer: kies voor een diepvrieskist (koffermodel) die zuiniger is dan een diepvrieskast (kastmodel) OF:
- Vrieskasten met een deur aan de voorkant gebruiken gemiddeld 15 procent minder energie dan vrieskisten met een deksel aan de bovenkant. Vrieskasten zijn gemiddeld genomen kleiner dan vrieskisten.
- Als men al een diepvriezer heeft, kies een koelkast zonder vriesvak.

*Figuur 5.7: Adviezen voor energiebesparing van VEH [16].*

#### Reiniging

##### Dagelijks gebruik

- Was alleen met een volle trommel. Uit onderzoek blijkt dat éénderde van het aantal wasbeurten overbodig is, als u alleen met echt volle trommels wast.
- Maak zoveel mogelijk gebruik van spaartoetsen.
- Wassen op 60 graden kost twee keer zoveel energie als wassen op 40 graden. Wassen op 90 graden zelfs drie keer zoveel. Bij 250 wasbeurten per jaar (vijftig op 40 graden, tweehonderd op 60 graden) wordt € 20 per jaar bespaard als voortaan tweehonderd keer op 40 graden en vijftig keer op 60 graden wordt gewassen. Moderne wasmiddelen werken uitstekend op 40 graden.
- Was minder vaak.
- Idealiter droogt men de was op een rek of aan een waslijn. Een droger gebruikt per droogbeurt ongeveer 2,85 kWh, dat is € 0,63. Gemiddeld staat de droger vier keer per week aan (210 keer per jaar). Als u wasgoed vijftig keer buiten ophangt, bespaart u € 31,50 per jaar.
- Drogers hebben óf een tijdklok die u zelf moet instellen óf een droogprogramma. Kies bij een tijdklok geen (te) lange tijdsduur. Dat kost onnodige energie. Programmadrogers zijn doorgaans efficiënter dan tijdklokdrogers. Sommige drogers hebben een Economy-toets met een energiebesparend programma.
- Zowel de luchtdroger als de condensdroger verbruiken minder energie als ze geplaatst worden in een verwarmde ruimte. Maar geldt alleen als u hierdoor niet extra gaat stoken.
- Zet de vaatwasser pas aan als deze helemaal gevuld is, en gebruik het spaarprogramma als de vaat niet erg vuil is.
- Strijk met behulp van stoom (sneller, vlotter, zuiniger), en gebruik een reflecterende strijkvertrek.
- Zet het strijkijzer even uit als men wordt weggeroepen.



### **Aanschaf**

- Kies bij aanschaf van vaatwassers en wasmachine voor het 'hot fill' type. Dit betekent dat de toestellen aangesloten worden op de warmwaterleiding, en het benodigde water niet zelf moeten opwarmen. Deze machines werken zuiniger.
- Als drogen op een wasrek of waslijn niet mogelijk is, gebruik een aardgasgestookte droogtrommel: deze hebben een 60 % lager energieverbruik en maken 40 % sneller droog dan een elektrische droger.
- Kies voor wasmachines met een hoog toerental. Het wasgoed goed centrifugeren voordat het de droger ingaat, versnelt het droogproces en spaart dus energie.

### **Kookapparatuur**

#### **Dagelijks gebruik**

- Het meest energiezuinig is koken op aardgas, of indien elektrisch op inductiekookplaten. Gebruik hiervoor kookpannen met een vlakke, onvervormbare bodem.
- U bespaart energie door pannen te gebruiken die niet groter zijn dan nodig is, niet teveel water te gebruiken om in te koken en door tijdens het koken de deksels op de pannen te houden. Zorg wel dat een gasvlam onder de pan blijft anders gaat de warmte langs de pan verloren.
- Een snelkookpan bespaart 40 tot 70 % energie. Gerechten die lang moeten koken kunnen in een snelkookpan. Dit bespaart tijd en energie.
- Een magnetron is ca. de helft zuiniger dan een klassieke oven, behalve voor grote hoeveelheden. Gebruik voor het laatste een gasoven.
- De magnetron dient niet om te ontdooien (laat de natuur haar werk doen!).
- De oven blijft nog een tijdje warm, schakel deze enkele minuten voor het einde van de bereiding uit (vergelijkbaar met de elektrische kookplaten).
- Een thermoskan houdt koffie warm. Vermijdt het gebruik van de warmhoudplaat van het koffiezetapparaat.
- Een kookcursus met betrekking tot energiezuinig koken kan resulteren in ca. 30% energiebesparing op koken.
- Oudere gasfornuizen hebben vaak een spaarvlam. Deze gebruikt 40 m3 gas per jaar. Dat is de helft van de hoeveelheid gas die voor het koken zelf nodig is. Steekt u de gaspitten met een lucifer aan, dan bespaart u ruim € 27 per jaar.

### **Verlichting**

#### **Dagelijks gebruik**

- Zorg voor een doordacht gebruik van binnenvallend buitenlicht (plaats aanrecht in de keuken of de schrijftafel voor het raam, plaats geen grote voorwerpen op de vensterbank),
- Zorg voor een doordachte plaatsing van lichten in huis (direct licht op werkvlak, weerkaatsing van licht op wand of plafond voor sfeer, brede verspreiding voor basislicht).
- Doe het licht uit in ruimtes die niet worden gebruikt
- Maak gebruik van lichte en heldere plafonds, wanden en meubels, omdat deze het licht meer weerkaatsen dat donkere en sombere kleuren – wat een helderder effect geeft en minder sterke lampen vereist.
- De meeste halogeenlampen werken met een transformator. Deze verbruikt ongeveer 5 Watt aan elektriciteit. Wanneer de aan/uitschakelaar tussen de transformator en de lamp zit, blijft de transformator ook stroom verbruiken als de lamp uit is. Met een schakelaar tussen het stopcontact en de transformator zet u alles uit. Gewoon de stekker eruit trekken kan ook.
- Dimmers verbruiken ook vaak energie als de lamp uit is. Ook dat is te voorkomen door een aan/uit schakelaar tussen stopcontact en dimmer, of door de stekker eruit te trekken. Het jaarlijkse



sluipverbruik van alle dimmers in Nederland samen, is gelijk aan het elektriciteitsverbruik van tienduizend woningen.

#### *Aanschaf*

- Het energieverbruik van lampen verschilt van type tot type. Gloeilampen zijn heel goedkoop in aankoop, maar hebben een hoger energieverbruik (ze produceren slechts voor 10% licht en voor 90% warmte) en een korte levensduur. Halogeenlampen gaan iets langer mee en verbruiken ook minder energie. Het meest energiezuinig en duurzaam zijn TL lampen. Zij vereisen echter aangepaste armatuur. Spaarlampen zijn eigenlijk compacte TL buizen die passen in de armatuur van een gloeilamp. Ze verbruiken 5 keer minder energie en gaan 10 keer langer mee dan gloeilampen. De meerkosten bij aanschaf worden in één jaar terugverdiend.

#### **Besparingsmogelijkheden en type bewoners**

De besparingsmogelijkheden zoals beschreven in bovenstaande paragraaf zullen voor type bewoners van de categorie overtuigden al veelal beproefd zijn. Bij starters zijn kansen voor aanpassingen in gedrag. Deze groep zal bij aanschaf van apparatuur goed geïnformeerd moeten worden. Aanpassingen in gedrag zal met name moeilijk zijn bij ouderen en gezinnen.

#### **Beleidsinstrumenten**

Om bovenstaande punten te bewerkstelligen, kunnen beleidsinstrumenten worden ingezet. Onderstaand een aantal mogelijkheden voor inzet van instrumenten.

#### *Fysieke instrumenten:*

- de toelevering van energie per maand beperken, door middel van een soort energiebudgetmeter voor iedereen.

#### *Inzet van financiële instrumenten:*

- het verhogen van de BTW op energieopslopende toestellen en het verlagen van de BTW op energiezuinige toestellen. De BTW verlagen zal een groot energiebesparend effect hebben omdat mensen zeer gevoelig zijn voor financiële voordelen, maar de vraag is: "wie zal dat betalen?". De BTW verhogen zal eveneens een groot energiebesparend effect hebben, omdat de duurdere (energie-onvriendelijke) toestellen zich uit de markt zullen prijzen;
- energie duurder maken (de energieprijzen verhogen) d.m.v. belasting
- men moet de rijkere meer laten betalen, want zij zijn (mogelijk) de grootste energieverbruikers;
- het systeem van de 'derde partij financiering' ('third party financing') toepassen. De overheid schiet het geld voor om energiebesparende maatregelen door te voeren, en wordt terugbetaald op basis van de gerealiseerde kostenbesparingen. De motivatie is dat men op die manier vooral de starters – al zijn zij niet de enige groep met budgetproblemen – zal aanmoedigen te investeren in energiebesparende maatregelen. Het bereiken van de starters is belangrijk, omdat zij een belangrijke voorbeeldfunctie voor de toekomst hebben. Een andere motivatie is dat isolatie de meest kostenefficiënte maatregel is, en dat de financiering daarvan net de grootste hindernis is voor lage inkomens.

#### *Juridische instrumenten:*

- bepaalde energie-opslopende toestellen uit de handel halen. Door in te grijpen op het niveau van de producten kijkt men naar de basisproblematiek en vertrekt men vanuit een duurzaamheidsidee – wat sterk contrasteert met het huidige consumptiedenken;
- reclame voor niet-energiezuinige toestellen verbieden.

*Cognitief-motivationale strategieën:*

- Er zou naast een 'prestatieverplichting' ook een 'informatieverplichting' moeten komen. De intermediairen die de informatie moeten leveren (energieleveranciers, architecten, aannemers, installateurs, ...) zullen goed opgeleid en begeleid (omkaderd) moeten worden. Dit betekent dat er niet alleen aandacht zal moeten uitgaan naar de techn(olog)ische aspecten, maar ook naar de sociale, menselijke aspecten, zodat deze intermediairen dat kunnen meenemen in het overtuigen van mensen;
- Het zichtbaar maken of visualiseren van het energieverbruik, bijvoorbeeld middels het aanbieden van infrarood luchtfoto's bieden waarop het energieverbruik van de woning is te zien Deze informatie geeft – veel meer dan de bestaande informatie op een factuur – een idee van hoe goed of slecht men het doet t.o.v. anderen (zie ook sociale modellering: voorbeeldfunctie).
- Het verbruik van energiemeters (- tellers), informatie op de facturen geven zodat mensen hun prestaties kunnen vergelijken met die van anderen (benchmarking), tips toevoegen aan de factuur, en/of een telefoonnummer vermelden van een instantie waar men advies kan inwinnen.
- Kinderen leren zuinig om te gaan met energie door het op te nemen in het lessenpakket van scholen. Kinderen zijn de 'beslissers van morgen'. Leer ze de goede gewoontes (slechte gewoontes zijn heel moeilijk te verleren). Op deze wijze worden energiezuinige handelingen op (lange) termijn steeds vanzelfsprekender. Men kan via kinderen (op korte termijn) ook de volwassenen bereiken. Men moet wel opletten dat de 'opvoeding tot energiezuinige mensen' niet te belerend wordt.
- Schuif geen technologische oplossingen naar voren ('technologie haalt zichzelf snel in'). Vertrek vanuit functies (bijvoorbeeld welke functie vervult een telefoon of GSM in mijn gezin) en bedenk op basis hiervan een creatief antwoord.

## **5.6 GEWENSTE ONTWIKKELINGEN**

In voorgaande paragraaf zijn een aantal ontwikkelingen aan bod gekomen. Om tot vergaande energiebesparing te komen, zijn extra ontwikkelingen gewenst. Nieuwe technieken die, voor zover bekend, nog niet worden ontwikkeld, maar die wel potentie hebben in het kader van energiebesparing. Onderstaand een overzicht van gewenste ontwikkelingen.

### *Gebruik van zonne-energie*

Elektrische apparaten die worden opgeladen met zonne-energie. In tegenstelling tot het verwijderen van apparaten om energie te besparen, kunnen apparaten behouden blijven indien gebruik wordt gemaakt van duurzaam opgewekte elektriciteit:

- Apparaten voorzien van zonne-energie, bijvoorbeeld zonnestroom-stofzuiger (op te laden in een gangkast die gelegen is aan de gevel, voorzien van een raam).
- Apparaten die slechts enkele keren per week of maand gebruikt worden, kunnen aangesloten worden op een stopcontact dat gekoppeld is aan zonnepanelen. De duurzaam opgewekte energie zou gedurende de periode dat het apparaat niet gebruikt wordt, opgeslagen kunnen worden in het apparaat waardoor het op een later moment bruikbaar is. Een stofzuiger zou bijvoorbeeld gedurende enkele dagen geladen kunnen worden om enkele keren per week gebruikt te kunnen worden.
- Alternatief is centraal opgeslagen energie waarvan diverse apparaten gebruik maken, een soort batterij.

Gewenste ontwikkelingen verminderingen elektriciteitsverbruik:

#### **Apparaten**

- Hot fill koffieapparaat
- Koelkelder
- Gasoven
- Korte leidingen naar vaatwasser/wasmachine
- Condenswarmte vaatwasser gebruiken
- Wekker uit = uit
- Gasgestookte/warmtepompgestookte droger
- Verbieden plasmaschermen, verbod op airco, op tuinverlichting
- Automatische zonwering met uit knop

#### **Verlichting**

- E-zuinige verlichting promoten
- Sfeervol verlichtingsconcept met e-zuinige lampen
- Meer keus in spectrum spaarlampen
- Minder tv/computer door kinderen/mannen
- Zonering vries/koelkast
- Buitenkast als koelkast
- Daglicht in elke ruimte
- TIM (Translucent Insulation Material)

#### **Diensten:**

- Energie zuinige apparatuur als optie beschikbaar na renovatie
- Koopbegeleiding e-zuinige apparaten

#### **Financiële regelingen**

- Energieprijs voor e-zuinigste bewoner
- Energieschandpaal/prijspaal
- Energieverbruik display
- Begrenzer op kamerthermostaat etc. (vergel. 38°C drempel bij douche-thermostaatkraan)
- Investerings in e-zuinige apparatuur via maandelijkse bijdragen (leasen/e-bank)
- Energiebesparingsgarantie door woningcorporatie/3e partij
- Energiebudget per huishouden (positief brengen)

#### **Koken**

- Cursus e-zuinig koken naar Deens voorbeeld
- Aangepaste pannenset + indicatie

### **5.7 BESPARINGSPOTENTIEEL ELEKTRICITEIT**

In dit hoofdstuk zijn de mogelijkheden en onmogelijkheden om het elektriciteitsverbruik te verminderen in een viertal stappen toegelicht. Na de vierde stap zal het elektriciteitsverbruik met 75% zijn afgenomen. De stappen zijn:

1. Voorkomen van stand-by verbruik.
2. Vervangen van apparaten door energiezuinige varianten.
3. Vervangen van apparaten door niet-elektrische alternatieven.
4. Verwijderen van apparaten.

Stap 1: Stand-by voorkomen. Het blijkt dat het jaarlijkse elektriciteitsverbruik met ca. 350 kWh (11%) kan worden gereduceerd door deze maatregelen. Maar gaat de gebruiker zo'n voorziening wel gebruiken of liever: wat kan hem ertoe bewegen dat te doen?

Stap 2: Vervangen van apparaten door energiezuinige varianten. Als aanwezige apparaten worden vervangen door energiezuiniger varianten wordt duidelijk wat het besparingspotentieel is met de huidige stand van de techniek. De grootste winsten in termen van besparing worden geboekt door het vervangen van alle verlichting door spaarlampen en het vervangen van de aparte koelkast en vrieskast door een A-label combinatie koelvrieskast. Met deze en een aantal andere vervangingen bespaart de bewoner een kleine 1000 kWh/jaar (28%).

Stap 3: Vervangen van apparaten door niet-elektrische alternatieven. Een aantal apparaten in huis, zoals de vaatwasser, wasmachine en droger worden elektrisch gevoed, terwijl ze vooral warmte nodig hebben. Aanbieden van warmte uit de ketel, een micro-warmtekracht toestel, een zonnecollector of een restwarmtereservoir in plaats van elektriciteit (hot-fill) betekent dat we de warmteverliezen in de elektriciteitscentrale (60%) vermijden. Ook kunnen restwarmtestromen van vaatwasser, wasmachine of douche worden gebruikt. Weer een andere mogelijkheid is het benutten van de afvalwarmte van de koelkast voor het drogen van de was. De besparing in stap 3 is ca. 650 kWh per jaar (19%). De techniek kan dus zeker voor een groot deel bijdragen aan het reduceren van het elektriciteitsverbruik.

Stap 4: Apparaten verwijderen. Bij deze stap wordt een aantal apparaten niet langer gebruikt, zoals de frituurpan, de staafmixer, het tosti-ijzer, de broodrooster en het gourmetstel, tweede TV, de losse radio en de videorecorder. De decoupeerzaag en de vlakschuurmachine worden minimaal gebruikt. Ook wordt het aantal lampen in huis verminderd. De vaatwasser en de wasmachine mogen blijven. Deze stap bespaart nog eens 600 kWh per jaar (18%).

#### *Besparingspotentieel en gebruiker*

De maatregelen in stappen 1 en 2 zullen het comfort van de bewoner niet aantasten. De bewoner zal er niets of bijna niets van merken en hij hoeft er zijn gedrag op het gebied van energieconsumptie niet voor aan te passen. Maar in stap 3 kan de techniek het niet alleen. De meeste van deze maatregelen/oplossingen veronderstellen in zekere mate een gedragsverandering van de gebruiker. De cruciale vraag is daarbij of de bewoner dat wil, of liever onder welke voorwaarden hij of zij dat wil. En vooral de laatste stap is van grote invloed is op het comfortniveau van bewoners en is alleen als theoretische exercitie uitgevoerd.

## **5.8 CONCLUSIE ELEKTRICITEIT**

Vergaande energiebesparing in de bestaande woningbouw is mogelijk door standby-verbruik te voorkomen, energiezuinige apparaten te gebruiken en overbodige apparaten te ontzien of te verwijderen. Hoewel een aantal stappen als Spartaans kan worden betiteld en vermoedelijk alleen de groep 'overtuigden' zal aanspreken, geeft de analyse aan dat het in principe mogelijk is om een besparing van 75% te bereiken op het elektriciteitsgebruik. De uitdaging is nu om het zodanig vorm te geven dat het door ook door de andere groepen wordt geaccepteerd. Hiervoor zijn technische oplossingen mogelijk en ook het woningontwerp kan zorgen dat apparaten overbodig worden.

## 6 GEBRUIK DUURZAME BRONNEN EN PASSIEVE ZONNE-ENERGIE

### 6.1 DUURZAAM EN PASSIEF

Tweede stap in de trias energetica betreft inzet van duurzame energie en gebruik van passieve zonne-energie. Gaat de eerste stap in op vraagbeperking, deze stap geeft op een duurzame wijze invulling aan de vraag. Door zontoetreding kan de woning worden verwarmd, PV-panelen op het dak leveren elektriciteit en een zonneboiler levert warm tapwater. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van ontwikkelingen op dit gebied, nationaal en internationaal.

### 6.2 HUIDIGE PRAKTIJK EN AMBITIENIVEAU

#### *Huidige praktijk*

De gemiddelde rijtjeswoning, bouwjaren 1945-1975 is niet voorzien van duurzame bronnen en is niet geoptimaliseerd met betrekking tot passieve zonne-energie.

#### *Ambitieniveau*

Ten behoeve van 75% energiebesparing, is inzet van duurzame bronnen essentieel. Aangezien we te maken hebben met bestaande bouw, is de oriëntatie niet altijd ideaal. Oplossingen moeten worden gezocht om toch zoveel gebruik te maken van duurzame energie.

### 6.3 ONTWIKKELINGEN TECHNIEK

#### **Passieve zonne-energie**

Passieve zonne-energie kan in een groot deel van de warmtebehoefte voorzien. Door het ontwerp van de woning af te stemmen, bij renovatie bijvoorbeeld door aanpassen van de woningplattegronden of wijziging van de gevel, kan zeer effectief gebruik gemaakt worden van passieve zonne-energie.

Bij extreem goed geïsoleerde huizen, zoals Passief huizen, blijkt overigens dat de oriëntatie er minder toe doet: de intern geproduceerde warmte (van personen, verlichting, apparaten etc.) is vaak al voldoende om de woning op temperatuur te houden.

#### **Gebouwsgebonden windenergie**

Kleine windturbines zijn een nieuw fenomeen in de gebouwde omgeving. Dit type windturbine is geschikt om in een ruw terrein (met veel obstakels, zoals bomen en gebouwen) windenergie om te zetten in elektriciteit. Deze duurzaam opgewekte elektriciteit kan direct in een gebouw worden gebruikt. Kleine windturbines kunnen daarom ook beter vergeleken worden met PV-systemen dan met grote windturbines.

Een kleine windturbine kan geplaatst worden in zowel bestaande als nieuwe woonwijken of bedrijventerreinen. Het is mogelijk om een kleine windturbine op een gebouw (bijvoorbeeld een kantoorgebouw of flat) te plaatsen of naast een gebouw op een mast.



Kleine windturbines zijn in twee groepen in te delen:

- horizontale windasturbine (HAT): windturbines die draaien om een as die in de windrichting staat, te herkennen aan de gondel, die door een kruimotor op de wind wordt gezet;
- verticale windasturbine (VAT): windturbines die draaien om een as die loodrecht op de windrichting staat; deze windturbines hebben geen gondel en geen kruisysteem. De VAT-turbines kunnen weer verder opgedeeld worden:
  - Savonius-type of weerstandtype: bij dit type VAT bewegen de bladen om de beurt met de wind mee en ertegenin; voor het verkrijgen van een zo hoog mogelijk rendement wordt het met de wind mee bewegende deel een zo hoog mogelijke weerstand gegeven. Kenmerkend voor een VAT-Savonius is het grote windvangende oppervlak.
  - Darrieus-type of lifttype: een VAT-Darrieus werkt volgens het liftprincipe, waarbij de energie uit de wind wordt onttrokken met rotorbladen die zich dwars op de windrichting bewegen.



*Figuur 6.1: Voorbeeld VAT-turbine, type Savonius, Windside [17].*



Een kleine windgenerator op de woning kan een aanzienlijke bijdrage leveren in de energiebehoefte. De energieopbrengst van een windturbine is globaal 200 kWh/jaar, per m<sup>2</sup> rotor oppervlak. Bij een juiste omgeving (geen hoogbouw in de buurt, weinig belemmeringen, en afhankelijk van locatie, kan een windmolen met een oppervlak van 20 m<sup>2</sup> 4000 kWh per jaar opleveren, zie bijgaand figuur. Ook regelgeving kan plaatsing van windturbines belemmeren.

*Figuur 6.2: Windturbine Fortis Montana.*

### Zonneboiler

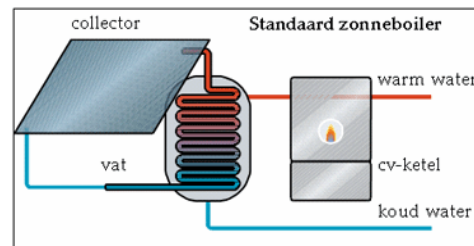
Een zeer eenvoudige manier om zonnewarmte te benutten is met behulp van een zonneboiler. Met behulp van het op het dak gemonteerd paneel wordt water verwarmd wanneer hier de zon op valt. Een pomp zorgt ervoor dat het water vanuit het verwarmingspaneel naar een boiler stroomt. Vanuit deze boiler kan het water gebruikt worden voor de douche of een ander doel. Een standaard zonneboiler heeft een collectoroppervlak van gemiddeld 2,8 vierkante meter. Een gemiddeld huishouden bespaart met een zonneboiler 170 tot 200 kubieke meter aardgas. Dat is ongeveer de helft van het gas dat gebruikt wordt om tapwater te verwarmen. Uitgaande van een gasprijs van € 0,67 per kubieke meter (prijsspeil 2007) levert dat een jaarlijkse kostenbesparing op van zo'n € 113 tot € 134. Komt de zonneboiler in plaats van een elektrische boiler, dan is de gemiddelde besparing veel groter, namelijk ca. 1.300 kWh, ca. € 286 per jaar. Met een zonneboilercombi wordt ook nog vijftig kubieke meter aardgas voor verwarming bespaard. Er zijn vier typen zonneboilers te onderscheiden:

- de standaard zonneboiler,
- de compacte zonneboiler,

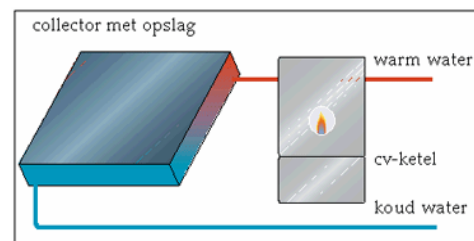


- de cv-zonneboiler
- de zonneboilercombi.

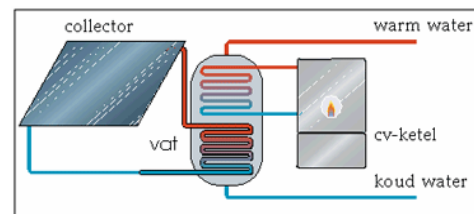
De **standaard zonneboiler** bestaat uit een collector met een oppervlakte van meestal 2,5 tot 4,5 vierkante meter en een los voorraadvat van 80 tot 150 liter. Deze zonneboiler heeft een naverwarmer nodig, bijvoorbeeld een geiser of cv-ketel. Als er geen gas aanwezig is, kan een speciale elektrische naverwarmer gebruikt worden.



Een **compacte zonneboiler** heeft geen apart voorraadvat. Het tapwater wordt direct in de extra geïsoleerde collector verwarmd en opgeslagen. De watervoorraad bedraagt 75 tot 140 liter. Het opgewarmde water loopt uit het collectorvat via een naverwarmer naar de kraan.



Anders dan de naam doet vermoeden levert dit type alleen warm tapwater. Een **cv-zonneboiler** is een zonneboiler met een extra warmtewisselaar in het voorraadvat. De extra warmtewisselaar is aangesloten op de cv-ketel waardoor een deel van het water door de cv-ketel verwarmd kan worden. Voordeel is dat er een veel grotere voorraad warm water aangemaakt kan worden. Het vat heeft dan ook een inhoud van ongeveer 100 tot 240 liter. Omdat direct uit het voorraadvat wordt getapt, kan op meerdere plaatsen tegelijk getapt worden.



Figuur 6.3: Verschillende typen zonneboilers.

De **zonneboilercombi** is een zonneboiler waarin voorraadvat en cv-brander geïntegreerd zijn. Dit systeem geeft net als de cv-zonneboiler een forse straal warm water. De warmte in het vat wordt gebruikt voor tapwaterverwarming en voor centrale verwarming, uiteraard in gescheiden circuits. Een zonneboilercombi is dus warmwatertoestel en cv-ketel in één, en komt in de plaats van een cv-ketel en eventuele geisers. De zonneboilercombi is door zijn grote watervoorraad (circa 250 liter) in afmeting vergelijkbaar met een flinke boiler (doorsnede circa 65 centimeter, hoogte 160 centimeter).

De zonneboilercombi werkt het best als warmte in huis wordt verspreid via vloer- en wandverwarming. Warmteverspreiding via deze zogeheten Lage Temperatuur Verwarming (LTV) werkt namelijk met watertemperaturen van maximaal 55 graden. Daardoor is minder bijverwarming nodig dan bij een zonneboilercombi met radiatoren. Radiatoren gebruiken water met hogere temperatuur. Bij gelijktijdige vraag van ruimteverwarming en warm tapwater, is de opbrengst van de zonneboiler niet toereikend.



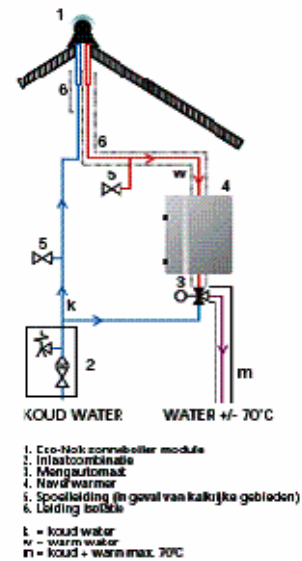
Figuur 6.4: Zonneboiler [18].

#### Tips

- Het gunstige moment voor een douche of bad is 's avonds na een heldere dag. Dan is het meeste warme water door de zon verwarmd en zijn er weinig tot geen energiekosten voor naverwarming.
- Voor een een- of tweepersoonshuishouden is het gunstig om een hotfillwasmachine te gebruiken. Zo wordt meer gebruik gemaakt van door de zon verwarmd water.
- Een zonneboilercombi levert de meeste besparing met een Lage temperatuur verwarmingsysteem. Dit systeem werkt al met water van 45 graden.

#### Nokzonneboiler

Een speciale uitvoering van de zonneboiler is de nokzonneboiler. Door plaatsing in de nok van het dak is nokzonneboiler onafhankelijk van de oriëntatierichting. Verwarming en opslag van warmwater (de boiler) vindt plaats in één geïsoleerde zonnecollector. Het principe is gebaseerd op de heatpipe, een techniek uit de ruimtevaart. Een buitenbuis is voorzien van een speciale spectraal selectieve zonlichtabsorberende laag. De door deze buitenbuis opgevangen warmte zorgt ervoor dat een speciale vloeistof binnenin de buis verdampt. In de buitenbuis bevindt zich de zogenaamde binnenbuis. De verdampte vloeistof slaat in de vorm van condens neer op die binnenbuis en draagt daarbij warmte over aan de watervoorraad daarin. Tussen de buitenbuis en de binnenbuis heerst een vacuüm, zoals dat ook wordt toegepast in thermoskannen. Hierdoor wordt verlies van thermische energie tot een minimum beperkt.



Figuur 6.5: Nokzonneboiler [19].

#### Solar Wall

Een Canadees product, dat ook op de Europese markt verkrijgbaar is, is de Solar Wall. Dit product bestaat uit een stalen zogenaamd damwandprofiel-plaat, veelal donker gecoat, waarin een groot aantal gaatjes is aangebracht. De Solar Wall wordt op een regelwerk op verticale wanden aangebracht. Via de gaatjes wordt door middel van een ventilator aan de ruimte achter de Solar Wall ventilatielucht onttrokken, die door de op het staalplaat vallende zonlicht is verwarmd. In sommige toepassingen is de ventilator gevoed door een PV-paneel, waardoor het systeem automatisch in werking treedt zodra de zon gaat schijnen. Het systeem wordt in en buiten Canada succesvol toegepast voor de verwarming van bijvoorbeeld trapportalen in flatgebouwen en voor utiliteitsbouw. (<http://www.solarwall.com/home>).

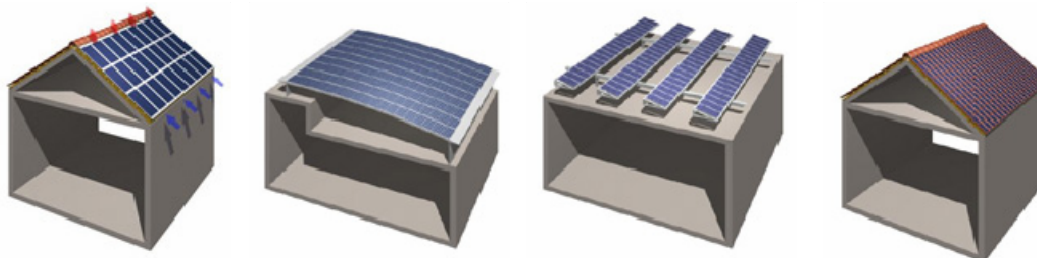
#### Gebouwwebonden PV cellen

Met behulp van fotovoltaïsche cellen wordt zonlicht omgezet in elektriciteit. Voor de bestaande bouw zijn er diverse uitvoeringen van PV-cellen. PV-systemen werken zelfstandig op plaatsen waar geen

elektriciteitsaansluiting is, maar kunnen ook gekoppeld zijn aan het elektriciteitsnet. Een netgekoppeld PV-systeem van 4 m<sup>2</sup> levert 10 procent van het gemiddeld huishoudelijk elektriciteitsverbruik. Dat komt neer op het verbruik van een gemiddelde koelkast. PV-systemen zijn relatief kostbaar. Een netgekoppeld systeem van één vierkante meter kost gemiddeld € 750.

Hellende daken hebben hun sporen als drager van zonnepanelen verdiend. Diverse methoden zijn ontwikkeld:

- Integratie van laminaten of standaardpanelen in het dak met bevestigingsprofielen.
  - Dakpannen met geïntegreerde zonnecellen.
  - Beugels en hulpstukken voor het leggen van de panelen, meestal met frame, boven de dakpannen.
- Platte daken (horizontaal) bieden goede mogelijkheden voor eenvoudige plaatsing van zonnepanelen. Het systeem zal de architectuur niet of nauwelijks beïnvloeden en de oriëntatie en hellingshoek zijn onafhankelijk van de situering van het gebouw. Wel moet de ontwerper rekening houden met voldoende draagvermogen van het dak.



#### *Lichtdoorlatende of semi-transparante zonnepanelen*

Lichtdoorlatende of semi-transparante zonnepanelen kunnen worden uitgevoerd in verschillende mate van transparantie. Er komen steeds meer standaardoplossingen om de bekabeling netjes weg te werken. Met behulp van zonnecellen van amorf silicium, die qua afmetingen flexibeler zijn dan de bekende vierkante cellen van kristallijn silicium, is ook een egale vlakvulling mogelijk. Zonnepanelen met dergelijke cellen kunnen bovendien semi-transparant worden uitgevoerd



Figuur 6.6: Voorbeeld van semi-transparante zonnecellen in een dak (floriade 2002).



Figuur 6.7: PV op het dak [20].  
Figuur 6.8: PV als zonwering [21].

### Micro warmtekrachtkoppeling (wkk)

Micro warmtekrachtkoppeling (wkk) betekent dat in iedere woning de verwarmingsketel wordt gebruikt voor het opwekken van elektriciteit. Wanneer deze elektriciteit niet direct in de woning gebruikt wordt, wordt het teruggeleverd aan het elektriciteitsnet. Een micro-WKK is eigenlijk een soort kleine energiecentrale die alleen het eigen huis van warmte en elektriciteit voorziet. De installatie bestaat uit een HR-ketel en een aardgasmotor. De motor drijft een generator aan die elektriciteit opwekt. De warmte die niet nodig is om energie op te wekken, wordt gebruikt om het huis op temperatuur te houden. Zo gaat er nauwelijks energie verloren. Het systeem is bijzonder flexibel. Is er op een bepaald moment meer warmte nodig dan de aardgasmotor kan produceren, dan slaat de HR-ketel aan. Is er juist meer stroom nodig dan de aardgasmotor kan produceren, dan wordt stroom gehaald uit het reguliere elektriciteitsnet.

### Stirlinggenerator, gasmotor of brandstofcelsysteem

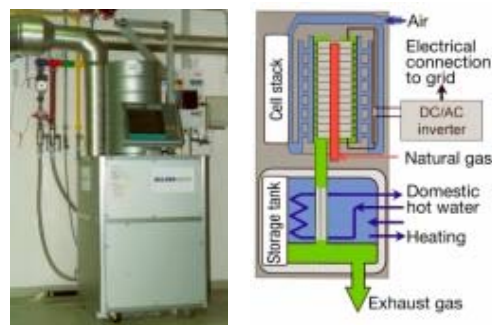
De inzet van micro-warmtekracht eenheden, als alternatief voor de bestaande HR-ketel, in individuele Nederlandse huishoudens, leidt tot een afname van het primaire energieverbruik en tot emissiereductie van CO<sub>2</sub> en van NO<sub>x</sub>. Deze afnamen zijn evenwel afhankelijk van het toegepaste type systeem (Stirlinggenerator, gasmotor of brandstofcelsysteem), van de dimensionering (circa 1 kWelektrisch), van de regelstrategie (elektriciteitsvraag- of warmtevraagvolgend) en van de toegepaste buffercapaciteit (bijvoorbeeld voor tapwater). Er worden primaire energiebesparingen verwacht van 12 % (Stirling) tot 24 % (brandstofcel) bij toepassing in een gemiddelde Nederlandse woning. De CO<sub>2</sub> emissiereductie is nog sterker door een verandering in de samenstelling van de brandstofmix, ten gunste van aardgas. De reductie loopt voor een gemiddelde woning uiteen van 1,0 tot 2,7 ton vermeden CO<sub>2</sub> per jaar, voor respectievelijk Stirling- en SOFC-systemen. De jaarlijkse NO<sub>x</sub> reductie bedraagt naar verwachting 1,3 tot 2,2 kg per gemiddelde woning. Met name de rentabiliteit van brandstofcelsystemen is onzeker, vanwege onduidelijkheid omtrent de (toekomstige) hoogte van de terugleververgoeding voor momentaan teveel geproduceerde elektriciteit. Voor een rendabel bedrijf dient deze vergoeding hoger te zijn dan de marginale brandstofkosten van circa 16 €/kWh. [22].



Figuur 6.10: Inwendige van een Stirling  $\mu$ -WK systeem.

### Brandstofcel micro-wkk

Contactpersoon bij ECN Peter van der Laag: "Generiek kun je stellen dat bij verlaging van de warmte/kracht-verhouding aan de woning(vraag)kant, brandstofcellen door hun relatief hoge elektrische rendement steeds interessanter worden om toe te passen. Vanuit energiebesparingsoogpunt is het dan wel belangrijk om alle restwarmte te benutten voor tapwater, middels buffering."



Figuur 6.11: Sulzer Hexis  $\mu$ -WK (veldtest)systeem en principeschema van een SOFC  $\mu$ -WK systeem.



### Micro-wkk blijkt toch niet zo interessant voor nieuwe (e-zuinige) huizen.

Onderzoek van Carbon Trust laat zien dat met toepassing van micro-wkk significante CO<sub>2</sub>-besparing mogelijk is bij commerciële gebouwen en oudere, grote huizen. De resultaten laten zien dat de huidige generatie van micro-wkk systemen met name geschikt zijn voor grote huizen met drie of meer slaapkamers of oudere huizen waarvoor na-isolatie niet altijd de meest kosteffectieve voorzieningen zijn. In deze woningen kan met micro-wkk ca. 5 tot 10% CO<sub>2</sub> bespaard worden, zijnde tussen de 200 kg en 800 kg CO<sub>2</sub> per jaar. De potentiële opbrengst lijkt minder gunstig te zijn voor kleinere en nieuwere huizen. De beste opbrengst wordt gehaald in gebouwen met een lange en constante warmtevraag. [23].

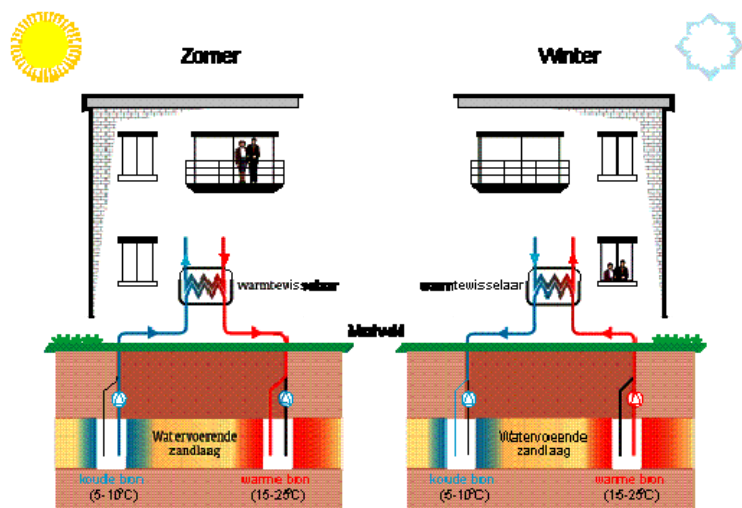
### Warmtepomp

Een warmtepomp is een systeem dat net als een CV-installatie of zonnecollector het huis kan voorzien van verwarming en warm water. Een warmtepomp kan bovendien ook koelen. Warmtepompen werken op elektriciteit of op gas. Het rendement voor verwarming kan oplopen tot 140 procent. De bron van warmte kan zijn: grond- en oppervlaktewater, buitenlucht en ventilatielucht.

Warmtepompen zijn al een paar jaar op de markt als bron voor ruimteverwarming, -koeling en warm tapwater. Warmtepompen voor verwarming gebruiken meestal de bodem als warmtebron; boilers die worden aangedreven door een warmtepomp gebruiken doorgaans warmte uit de lucht. Warmtepompen worden toegepast in combinatie met LT verwarming, zoals vloerverwarming. Ten opzichte van radiatoren is dit een trager systeem: de bewoner moet hier mee leren leven. Zo kan het verstandig zijn om de warmtepomp vooral 's nachts te laten draaien (op goedkope nachtstroom). Overdag houden de interne warmte en zon de woning warm (bij een goed geïsoleerde woning). Nachtverlaging wordt niet toegepast.

### Warmtekoel opslag

Warmtekoel opslag (WKO) betekent dat gebruik gemaakt wordt van warmte en de thermische massa van de bodem. Door gedurende de zomerperiode warmte op te slaan in de bodem kan deze behouden blijven om op een later moment uit de bodem te halen en te gebruiken om de woning te verwarmen. Gedurende de zomerperiode kan koude in de grond gebruikt worden om het gebouw te koelen. Gebleken is dat het noodzakelijk is zomers warmte aan de bodem toe te voegen wanneer gedurende de winter warmte wordt onttrokken. Zo wordt voorkomen dat de bodem raakt uitgeput. Op dit moment zijn er met betrekking tot dit systeem met name ervaringen in de utiliteitsbouw, waar zowel een warmte- als een koelvraag is.



Figuur 6.12:  
Warmtekoel opslag [24].

## 6.4 NIEUWE TECHNIEKEN EN ONTWIKKELINGEN

### 6.4.1 Nationale ontwikkelingen

#### Rendement PV-cellen

Fotovoltaïsche (PV) cellen maken gebruik van zonne-energie voor het opwekken van elektriciteit. Fotonen worden gebruikt om een reactie op te wekken in de cellen waarmee elektriciteit wordt opgewerkt. De fotonen moeten een bepaalde energie bezitten om elektronen los te stoten. Doordat veel fotonen te weinig energie bezitten kunnen ze de reactie niet op gang brengen. Alle fotonen die teveel energie bezitten zorgen voor een reactie maar kunnen hun overschot aan energie niet effectief gebruiken. Dit zorgt ervoor dat het rendement van PV cellen beperkt is. Door fotonen te filteren kunnen aanzienlijk hogere rendementen behaald worden. De op dit moment betaalbare PV cellen bezitten niet een dergelijke filtering van het licht en daardoor is het rendement beperkt.

#### Nieuwe ontwikkelingen PV

Er wordt hard gewerkt aan de ontwikkeling van nieuwe technieken zoals de 'dunne film' zonnecel. Deze is lichter, flexibeler en goedkoper. Verder zijn er organische cellen in ontwikkeling die gebruik maken van lichtabsorptie in organisch materiaal (kleurstof). Ook dit zou goedkoper kunnen zijn. Een andere ontwikkeling zijn gekoelde zonnepanelen. Het rendement van een zonnepaneel neemt toe naarmate de temperatuur ervan lager is. De warmte die bij het koelen vrij komt kan ook weer gebruikt worden [Milieucentraal].

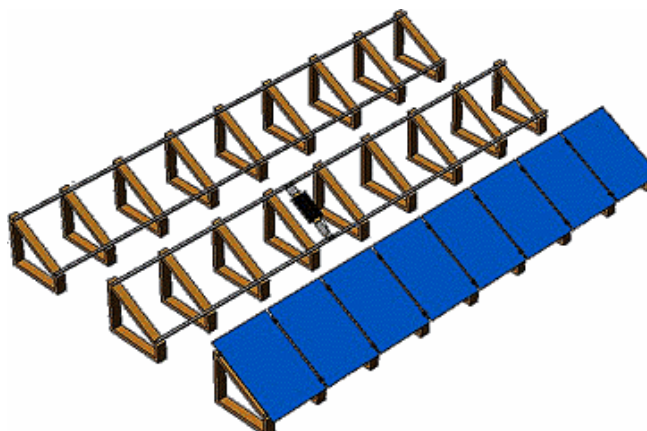
#### PV-wirefree

PV-wirefree is een nieuw ontwerp voor PV-systemen. Het systeem bestaat uit slechts vier componenten:

- een framelos PV-laminaat;
- connectoren die de PV-laminaten verbinden met het draagframe;
- een draagframe dat tevens voor de geleiding van de stroom zorgt;
- een inverter.

Door deze aanpak wordt het aantal componenten sterk gereduceerd. Het belangrijkste principe is, dat het draagframe wordt gebruikt om de elektriciteit te geleiden. Daardoor behoeft geen zware bekabeling te worden aangebracht. Het systeem is modulair. Omdat het aantal componenten wordt gereduceerd, het systeem eenvoudig is te monteren en het systeem min of meer plug and play is, worden kosten bespaard. Volgens de ontwikkelaars kan de kostenbesparing op de "overheadkosten", dus de kosten van een PV-systeem zonder de kosten van de PV-laminaten, 50% bedragen. Momenteel is het systeem in de testfase.

PV-wirefree wordt ontwikkeld door OKE-services in samenwerking met Energieonderzoekscentrum Nederland, Oskomera Solar Power Solutions, Bear Architecten en TNO-Bouw. De connector wordt ontwikkeld door Multi-Contact in Zwitserland.

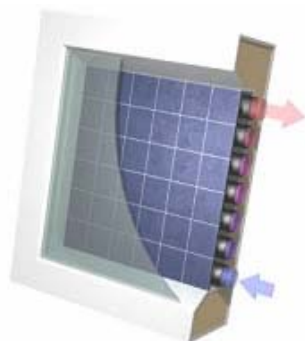


Figuur 6.13: PV-wire free [25].

#### Combi-PV-zonnecollector

### (PVTWINS)

Een recente ontwikkeling is de combinatie van een PV-systeem en een thermisch zonnestelsel. De fabricage en toepassing van dergelijke systemen vindt nog op kleine schaal plaats. Het betreft hier systemen, waarbij ventilatielucht wordt aangevoerd via een spouw achter de PV-modules. Op deze wijze worden de modules beter gekoeld, waardoor het rendement toeneemt, terwijl de ventilatielucht wordt voorverwarmd. Een geavanceerder systeem is de combinatie van PV met een vloeistofcollector. Deze systemen kunnen worden ingezet in de plaats van conventionele zonneboilersystemen. Het rendement per oppervlakte-eenheid is hoger dan van afzonderlijke PV- en thermische systemen van gelijke grootte (zie o.m. <http://www.pvtwins.nl>).



Een PVT module produceert 43% meer primaire energie vergeleken met een conventionele zonnecollector, gerekend per eenheid van oppervlak, en zelfs 96% meer dan een conventionele PV module. Bovendien leidt de integratie van deze twee technieken tot potentiële besparing van materialen en productiekosten, en installatiekosten. Ook wordt met een PVT-module slechts 1 element toegevoegd aan gebouw.

*Figuur 6.14: PVT paneel voor hoog rendement elektriciteitsopwekking en warm water voor (zwembad) verwarming [26]*

### Q-box: Stroom uitwisselen met burenen

Het idee bestaat enkel nog op papier. Stroom die je zelf opwekt uitwisselen met de burenen, zonder dat je er iets van merkt. Het kan met de Q-box, een uitvinding van het bedrijf Qurrent, bedenker Igor Kluin. De Q-box regelt de verdeling van stroom tussen burenen met zonnepanelen of een windmolen op het dak, of in de toekomst een HR-e ketel. Stroom die niet nodig is in het eigen huis, gaat eerst naar de buurman. Het is goedkoper om op deze manier stroom met elkaar te delen dan alleen via het bestaande netwerk. Een overschot en een tekort aan stroom zijn gemakkelijk aan elkaar te koppelen. Het zwarte kastje zal energiebesparing opleveren en dat komt doordat mensen heel veel inzicht krijgen in hun energieverbruik wanneer ze eenmaal aangesloten zijn. Het kastje is verbonden met een computer op afstand. Op afstand kunnen apparaten in huis daarmee uit of aangezet worden. De Q-box gaat ongeveer honderd euro kosten en een paar euro abonnement in de maand. Het systeem gaat er wel van uit dat alle burenen dezelfde elektriciteitsleverancier hebben [3].

### Plastic zonnecellen

Een zonnecel uit silicium is relatief zwaar, breukgevoelig en bovendien duur in de productie. Met kunststof is het mogelijk lichtere, flexibele en goedkopere zonnecellen te maken. Afshin Hadipour van de Rijksuniversiteit Groningen is één van de eerste onderzoekers die er in slaagde het rendement van de plastic zonnecel te verhogen door verschillende lichtgevoelige laagjes op elkaar te stapelen. Daarnaast



*Figuur 6.15: Kunststof zonnecellen. [27].*

onderzocht hij een nieuw type plastic zonnecel dat half doorzichtig is. Je zou er bijvoorbeeld een raam van kunnen maken. Dat vergroot de toepassingsmogelijkheden van de kunststof zonnecellen.

Volgens Hadipour zijn de mogelijkheden van plastic zonnecellen eindeloos. 'Plastic zonnecellen zijn licht en flexibel. We kunnen ze maken in alle soorten en maten en in allerlei verschillende kleuren. Je kan ze bijvoorbeeld op een jas aanbrengen, waardoor je met zonne-energie je MP3-speler kan opladen." Een ander idee is om zonnecellen te combineren met batterijen en een LED (Light Emitting-Diode). Dan kan de zonnecel overdag energie opwekken, en de LED 's avonds licht geven. Hadipour schat dat de eerste plastic zonnecellen binnen twee jaar op de markt verschijnen. 'De ontwikkeling is nu echt in een stroomversnelling gekomen. [28]

#### 6.4.2 Internationale ontwikkelingen

In internationaal verband wordt vooral samengewerkt aan de toepassing van PV-systemen op grote schaal en de implicaties daarvan. Binnen het IEA PVPS programma wordt een taak uitgevoerd "Urban-scale grid-connected PV applications (IEA-PVPS Task 10). Daarin komen naast "best practices" de problematiek met betrekking tot netkoppeling, economische aspecten en stedenbouwkundig-procedurele zaken aan de orde [29].

#### Kleding met zonnecellen

Een Amerikaanse producent biedt jacks aan met een zonnecel module om in de wildernis je elektronica te kunnen opladen. De PowerFLEX™ zonnepanelen van fabrikant Global Solar zijn niet gemaakt van kunststof maar van hele dunne laagjes koper indium gallium diselenide (CIGS) op een flexibel substraat. En ze zijn prijzig: het jack wordt voor zo'n 350 dollar aangeboden, de zonnemodule voor 150 euro [30].



Figuur 6.16: Kleding met zonnecellen [31].

### 6.5 ONTWIKKELINGEN GEBRUIKER EN GEDRAG

Bij renovaties kunnen installaties die gebruik maken van duurzame bronnen geïnstalleerd worden om in een deel van de behoefte te voorzien. Vaak zijn deze installaties zelfstandig geregeld zodat de gebruiker weinig merkt van de aanwezigheid en de werking van de systemen. Doordat duurzame verwarmingsbronnen doorgaans niet zo hoge temperaturen bereiken, wordt vaak een laag temperatuur verwarmingssysteem geïnstalleerd. Door het gebruik van deze systemen wordt het rendement van de duurzame bronnen vergroot.

De genoemde technieken zijn veelal toevoegingen aan de bestaande woning/installatie. Het gebruik van de woning verandert niet door deze toevoegingen, waardoor de acceptatie van de verschillende type bewoners groot zal zijn. Wel vergen extra installatie extra onderhoud. Met name bij ouderen en sociale woningen is dit een aandachtspunt. Een onderhoudscontract met een installateur kan in dit geval uitkomst bieden.

#### PV-privé project

ECN heeft in 2000 een PV privé project opgezet. Het project is opgezet om de toepassing PV-systemen (Sunpower programma) te onderzoeken. Hieronder een aantal ervaringen van dit project [32].

In totaal hebben 59 ECN medewerkers zich aangemeld. Hiervan hebben negen personen zich teruggetrokken. Redenen hiervoor waren o.a geen vergunning op grond van een negatief advies van de



Welstandscommissie, plaatsing was niet mogelijk doordat het dak niet toegankelijk genoeg was en onvoldoende ruimte op dak.

Ervaringen die zijn opgedaan met dit project:

- *Vergunningen.* Met de kennis van de gemeenten met betrekking tot de procedures rond plaatsing van PV-systemen is het slecht gesteld. Gebrek aan ervaring is waarschijnlijk de belangrijkste belemmering bij gemeenten om efficiënt en adequate ondersteuning te bieden bij vergunningverlening voor PV systemen. Welstandscommissies of commissie monumentenzorg vinden regelmatig het uiterlijk van PV niet in het straatbeeld van klassieke woningen passen.
- *Installatie.* Veel fouten (in handleidingen, in installatie) die NIET eerder door de gebruikers of door de installateurs of leveranciers waren gesignaleerd of aangegeven zijn gesignaleerd door ECN. Een aantal adviezen die volgden uit het PV privé project is doorgevoerd in installatiehandleidingen.
- *Bevestigingsconstructie.* Er zijn vier typen bevestigingsconstructie toegepast: dakgeïntegreerd op beugels op het dak geïnstalleerd op een feldsak, en op een plat dak geplaatst op bakken (ConSoles). Het platdakstelsel en het stelsel gemonteerd op beugels leverde weinig problemen. Bij dakgeïntegreerde systemen bleken er veel moeilijkheden te zijn wanneer dakpannen niet tot de typen behoorden waarvoor het SunPower systeem is ontworpen.



Figuur 6.17: Foto's PV-privé project ECN [32].

- *Bouwkundige installatie.* Bij dakgeïntegreerde systemen is de aansluiting van de dakpannen op het frame in de meeste installaties niet perfect. De afstand tussen de panelen en de dakpannen is iets te groot. De dakpannen moesten in enkele gevallen worden doorgezaagd of herschikt. Ook zijn er lekkages geconstateerd, o.a. door een gescheurde loodslab en verkeerde plaatsing. De panelen worden in sommige gevallen niet op bouwkundig verantwoorde wijze geplaatst (gaten dichten met PUR/siliconenkit, PUR als bevestiging, slordige afwerking)
- *Bekabeling binnen.* In het algemeen vormde de bekabeling bij de deelnemers binnen het sluitstuk van de installatie. De afwerking binnen is van wisselende kwaliteit.
- *Zonnestroomindicator.* Of het PV systeem stroom levert kan afgelezen worden van de zonnestroomindicator: een knipperend of continue brandend lampje laat zien of het systeem werkt. Er is geen aandacht besteed aan de vormgeving van de kastjes of aan de onderhoudbaarheid.

## 6.6 GEWENSTE ONTWIKKELINGEN

In voorgaande paragraaf zijn een aantal ontwikkelingen aan bod gekomen. Om tot vergaande energiebesparing te komen, zijn extra ontwikkelingen gewenst. Nieuwe technieken, die voor zover bekend,

nog niet worden ontwikkeld, echter wel potentie hebben in het kader van energiebesparing. Onderstaand een overzicht van gewenste ontwikkelingen.

Gewenste ontwikkelingen gebruik duurzame bronnen en passieve zonne-energie:

- Hoge teruglever vergoeding duurzame energie.
- Warmtepomp op riool.
- Elektriciteitsopslag.
- Thermochemische opslag.
- PCM warmteopslag.
- Optimaliseren rendement zonneboiler.

#### *Optimaliseren rendement zonneboiler*

De potentie van de zonneboiler is nog lang niet bereikt. Qua kosten is de zonneboiler geoptimaliseerd, qua energetisch rendement niet. Regelingen kunnen dit energetisch rendement verbeteren. Een voorbeeld. De boiler wordt overdag opgewarmd door de zon. 's Avonds wordt er gedoucht, de boiler is leeg. De boiler wordt gevuld met koud water. De ketel zal, met gebruik van gas, het water verwarmen, ondanks dat er geen vraag is naar warm water. Indien er 's ochtend geen gebruik wordt gemaakt van warm water, blijft de boiler gevuld. Warmte van de zon overdag kan niet meer worden toegevoegd, aangezien de boiler reeds gevuld is met warm water. 's Avonds wordt er weer gedoucht en begint het verhaal weer opnieuw. Een regeling dat 's nachts de boiler niet wordt verwarmd, maar dat overdag middels zonnewarmte de boiler wordt gevuld, zal het rendement doen verhogen.

## **6.7 BESPARINGSPOTENTIEEL**

Inzet van duurzame bronnen en inzet van passieve zonne-energie is essentieel om invulling te geven aan 75% energiebesparing. Aanvullend op een passiefconcept, zijn toepassing van een zonnecollector en PV-cellen zinvolle maatregelen. Een groot deel van de vraag naar tapwater en ruimteverwarming is hiermee ingevuld. Afhankelijk van de resterende vraag naar elektriciteit is meer of minder inzet van PV gewenst. Indien er veel dakoppervlak aanwezig is, op de juiste oriëntatie, kan gekozen worden voor veel m<sup>2</sup> PV. Indien de oriëntatie niet geschikt is, kan bekeken worden of windenergie een uitkomst kan bieden. Alternatief is de vraag naar elektriciteit sterk te beperken, zoals in hoofdstuk 5 is aangegeven.

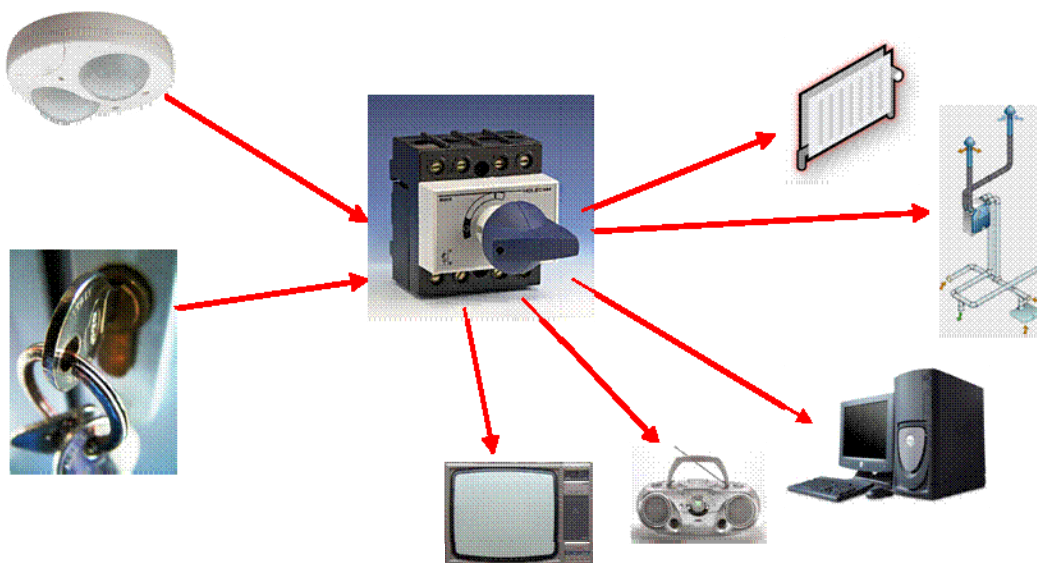
## **6.8 CONCLUSIE DUURZAME BRONNEN**

Gebouwgebonden duurzame bronnen kunnen in een renovatieproject toegepast worden om het verbruik van fossiele brandstoffen te beperken. De efficiëntie van de systemen zal sterk afhangen van de mate waarin gerenoveerd wordt en de eigenschappen van de woning. Wanneer zeer ingrijpend en in grote samenhang de woning wordt aangepast, kunnen veel winsten geboekt worden.

## 7 EFFICIËNTE REGELING/BEHEER

### 7.1 GEMAKKELIJK GENOEG

In een woning zijn verschillende apparaten en voorzieningen aanwezig. Vaak bepaalt de gebruiker wanneer een apparaat gebruikt wordt (bijv. wasmachine). Sommige apparaten bepalen aan de hand van een programma of sensor wanneer zij ingeschakeld worden (bijv. verwarmingsketel). Sensoren in een wasmachine kunnen zorgen voor het wegeven van het wasgoed, waarop energie- en watergebruik worden afgesteld. Buitenverlichting kan worden gekoppeld aan een bewegingssensor. Apparaten kunnen dus met ons meedenken en (proberen) ons leven aangenamer te maken. Wanneer alle systemen onderling geschakeld worden, kan gebruik gemaakt worden van een centrale signalering, alarmering en registratie. De koppeling van losse apparaten kan leiden tot een integraal systeem. Dit systeem kan in een aantal behoeften van de bewoner voorzien.



*Figuur 7.1: Mogelijkheden voor het centraal aansturen van diverse apparaten in huis.*

Het onderling schakelen van apparaten kan leiden tot een uitgebalanceerd systeem ter ondersteuning van de gebruiker. Wanneer een CO<sub>2</sub> sensor wordt gebruikt voor een brandalarm kan dezelfde sensor gebruikt worden om het ventilatiesysteem te regelen. Bij feestjes kan automatisch de ventilatie verhoogd worden en wanneer niemand aanwezig is, kan de ventilatie teruggebracht worden tot een minimumniveau. Dergelijke efficiënte regelingen garanderen een goed binnenklimaat en zorgen voor meer veiligheid. De uitdaging is de woning hiermee energiezuiniger te maken.

## 7.2 HUIDIGE PRAKTIJK EN AMBITIENIVEAU

### *Huidige praktijk*

In de huidige praktijk zijn nauwelijks efficiënte regelingen aanwezig. In seniorenwoningen of woningen voor minder validen worden wel apparaten en sensoren aan elkaar gekoppeld ter verhoging van de veiligheid van de bewoners, niet ter beperking van het energieverbruik. In reguliere woningen wordt domotica nauwelijks toegepast om het bewonerscomfort en de veiligheid te vergroten of het energieverbruik te beperken.

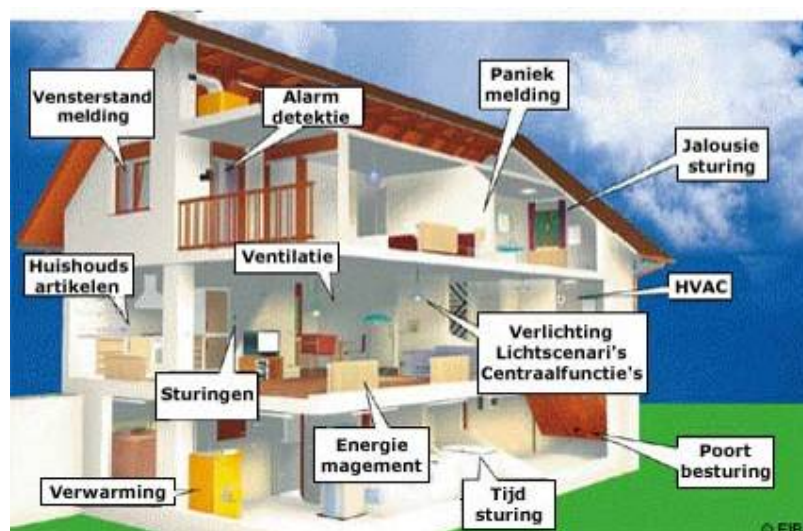
### *Ambitieniveau*

De ambitie betreft het koppelen van diverse apparaten en optimaliseren van regeling ter beperking van het energieverbruik.

## 7.3 ONTWIKKELINGEN TECHNIEK

### *Domotica*

Domotica is het koppelen van de verschillende installaties binnen een gebouw, schakelaarlicht, thermostaat-verwarming, licht-rolluiken, e.a. in een open, niet fabrikant gebonden, geïntegreerd geheel. Dit met als doel het comfort van de gebruiker te verhogen, hem toe te laten zijn energieverbruik beter te beheren, zijn veiligheid te verbeteren en de continuïteit van zijn installatie te waarborgen. Figuur 7.2 geeft een aantal elementen die hiervan onderdeel (kunnen) uitmaken.



Figuur 7.2: Integrale sturing van apparaten en installaties kan het wooncomfort en de veiligheid vergroten en het energieverbruik verlagen [www.knx-domotica.com].

### *Zonwering*

Automatisch zonwering voorkomt oververhitting in de zomer dus verbetert comfort en voorkomt koelvraag.

## 7.4 NIEUWE ONTWIKKELINGEN

### 7.4.1 Nationale ontwikkelingen

#### Vraaggestuurde ventilatie

Een systeem waarbij op energiezuinige manier op natuurlijke wijze wordt geventileerd is vraaggestuurd ventileren (bijvoorbeeld m.b.v. Ventosystem, Alusta) in combinatie met zelfregelende roosters in de gevel. De vraag wordt bepaald door de aanwezigheid van bewoners. Dit systeem kan worden uitgebreid met aanwezigheidssensoren of CO<sub>2</sub>-sensoren. Ook bij gebalanceerd ventilatiesystemen zijn ontwikkelingen met betrekking tot vraagsturing.

#### Plugwise

Plugwise heeft een slimme plug die tussen het stopcontact en de stekker van een elektrisch apparaat wordt geplaatst. De plug meet het energieverbruik en stuurt de gegevens draadloos naar de computer. De PC-software geeft in één oogopslag inzicht in het exacte energieverbruik, de CO<sub>2</sub>-uitstoot en de kosten. Per apparaat, per stopcontact en per vertrek. Optimaliseer het energieverbruik door met de slimme plug automatisch of handmatig de elektrische apparaten aan en uit te schakelen.

Onderdelen van Plugwise:

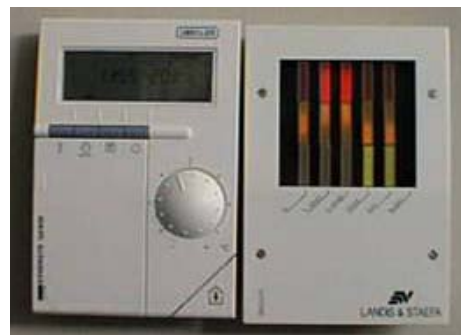
- De Circle is een plug, die tussen een stopcontact en de stekker van een apparaat wordt geplaatst. De plug meet het energieverbruik van het aangesloten apparaat en kan het apparaat aan- en uitschakelen. De energieverbruikgegevens zendt de plug via een draadloos Zigbee MESH-netwerk naar de PC.
- De Stick ontvangt en zendt gegevens/opdrachten van en naar de geïnstalleerde pluggen. De Stick wordt aangesloten op een USB-poort van de PC of laptop en vormt de schakel tussen het Plugwise softwareprogramma (Source) en de geplaatste pluggen.
- De Source is het Plugwise softwareprogramma. Het programma zorgt ervoor dat het energieverbruik overzichtelijk gemaakt wordt met grafieken en tabellen en biedt tegelijkertijd de mogelijkheid tot het maken van schakelschema's.



Figuur 7.3: Circle, Stick en Source van Plugwise.

### 7.4.2 Internationale ontwikkelingen

Terugkoppeling van het energieverbruik naar de dagelijkse praktijk is mogelijk door thermostaten en andere apparatuur te voorzien van een uitlezing. Zo is in Aalborg, Denemarken, in het Bleu House een thermostaat uitgebreid met een display dat informatie geeft over het actuele energieverbruik ten opzichte van benchmarks, en of het verbruik van de vorige dag.



Figuur 7.4: Het actuele energieverbruik ten opzichte van benchmarks, als display naast de thermostaat [Foto: Chiel Boonstra].



Op het terrein van woningventilatie zijn internationaal interessante voorbeelden te vinden. Bijgaand display in de 3-liter woningen in Ludwigshafen, Duitsland, geeft de bewoner inzicht in de ventilatie per ruimte en geeft de mogelijkheid de ventilatie te regelen.

In Oxford, Engeland bestaat een voorbeeld van een externe uitlezing van de momentane opbrengst van een PV paneel, zodanig dat de gebruiker kan besluiten elektrische apparatuur aan- of af te schakelen.

*Figuur 7.5: Ventilatie-regeling voor woning, naast de kamerthermostaat in 3-literhuis in Ludwigshafen, Duitsland [Foto: Chiel Boonstra].*

## 7.5 ONTWIKKELINGEN GEBRUIKER EN GEDRAG

Een integraal regelsysteem in de woning kan de bewoner ondersteunen bij het goed gebruiken van de woning om het energieverbruik te verminderen en het comfort te verbeteren. Tegelijkertijd wordt de invloed van de gebruiker door de intelligente regeling beperkt. Een gebruiker van een woning is echter slechts tot een bepaalde mate bereid zijn keuzevrijheid te beperken en over te laten aan een systeem. Ook wil de gebruiker altijd de mogelijkheid hebben om aan zijn wensen te voldoen wanneer deze afwijken van de automatische regelingen. Ongewenste situaties moeten zoveel mogelijk voorkomen worden. Ze kunnen tot ergernis bij de gebruiker leiden die de schakeling daardoor kan wantrouwen en uitschakelen.

Met name bij de groep ouderen zal voorzichtig moeten worden omgesprongen met regelsystemen. Uitleg en toelichting, ook langere tijd na installatie, zijn noodzakelijk voor begrip en goed gebruik van de installatie. Voor starters zal de overgang naar meer regeltechniek minder groot zijn, al is ook hier uitleg noodzakelijk. Ingeschat wordt dat deze groep open staat voor nieuwe dingen. Voordelen van de nieuwe technieken zullen van doorslaggevende betekenis moeten zijn.

## 7.6 GEWENSTE ONTWIKKELINGEN

In voorgaande paragraaf zijn een aantal ontwikkelingen aan bod gekomen. Om tot vergaande energiebesparing te komen, zijn extra ontwikkelingen gewenst. Nieuwe technieken, die voor zover bekend, nog niet worden ontwikkeld, echter wel potentie hebben in het kader van energiebesparing. Onderstaand een overzicht van gewenste ontwikkelingen.

### **Elektriciteitsvoorziening op voordeursleutel**

Een eenvoudige methode om energie te besparen is het schakelen van de stroomvoorziening aan de deursloten. Wanneer het huis wordt verlaten en het slot wordt gesloten kan alle apparatuur automatisch uitgeschakeld worden. De ventilatie kan tot een minimum niveau verlaagd worden en de verwarming mag uit.

### **Regelingen in meterkast**

Centraal in de meterkast kunnen verschillende apparaten aan elkaar geschakeld worden. Een computersysteem kan met behulp van verschillende inputparameters apparaten aansturen of afstellen zonder dat de gebruiker daar iets van merkt of er invloed op heeft. Ook zou op grotere afstand een computer een wijkschakeling kunnen regelen. In een centrale op afstand kunnen verschillende regelingen bekeken en aangepast worden. Eventueel kan dit met ondersteuning van een beeldverbinding waardoor een medewerker de afstelling kan controleren.

### **Energiebesparende domotica**

Domotica betekent het integraal koppelen van verschillende intelligente apparaten. Door onderlinge communicatie kunnen apparaten elkaar op elkaar worden afgestemd. Door het koppelen van de wasmachine en de zonneboiler kan de wasmachine zichzelf inschakelen wanneer voldoende warmwater is, opgewekt met de zonneboiler. Wanneer warmteterugwinning wordt toegepast in de douche, wasdroger en wasmachine kunnen intelligente schakelingen zorgen dat deze restwarmte efficiënt wordt gebruikt voor bijvoorbeeld ruimteverwarming. Een zelflerende regeling kan voorkomen dat na het douchen 's avonds een boiler (gekoppeld aan zonnecollector) 's nachts wordt verwarmd middels de ketel, terwijl pas de volgende avond weer wordt gedoucht. Beter is, dat 's nachts de boiler niet wordt gevuld, maar dat overdag met behulp van zonnewarmte de boiler wordt opgewarmd.

Andere gewenste ontwikkelingen efficiënte regeling/beheer:

- Slimme regeling voor close-in boiler.
- Schakelbare stopcontacten.
- Vakantieschakelaar.
- Signalering onnodig aanstaan apparaten.
- Signalering duurzame energie: wanneer is er voldoende aanbod? Gekoppeld aan regeling voor aansturing apparaten (bv vaatwasser aan bij voldoende warmwater uit zonnecollector).
- Koppeling/communicatie installatiecomponenten (zoals verwarming, ventilatie etc.).

## **7.7 BESPARINGSPOTENTIEEL**

Op dit moment zijn op de Nederlandse markt geen regelingen bekend, die het energieverbruik reduceren, gebruik makend van domotica.

Het besparingspotentieel van een sterk geautomatiseerde woning kan niet eenvoudig bepaald worden. Wanneer een woning van een energiebewust persoon wordt voorzien van intelligente regelingen, zal het besparingspotentieel beperkt zijn. Voor een minder bewust persoon kan de besparing aanzienlijk zijn. Ook de mate van automatisering kan het besparingspotentieel vergroten. Hoe meer apparaten en voorzieningen onderling hun werking af kunnen stellen, des te groter zal het besparingspotentieel zijn.

Om de intelligente woning te regelen zal een systeem continu actief zijn om de inkomende parameters te monitoren en aan de hand daarvan de uitvoerparameters te bepalen. Dit centrale regelsysteem zal energie verbruiken om de schakeling tot stand te brengen. Dit zal zorgen voor een beperking van het besparingspotentieel. Het is daarom zeer belangrijk dit regelsysteem zo zuinig mogelijk uit te voeren. In plaats van continu actief zijn zou het systeem ook met intervallen de regeling kunnen controleren.





## **7.8 CONCLUSIE REGELING/BEHEER**

Door regelingen in gebouwen toe te passen hoeft de gebruiker zich niet in te spannen om energie te besparen. Regelmechanismen kunnen ervoor zorgen dat apparaten worden uitgeschakeld wanneer de gebruiker deze niet gebruikt. Belangrijk is, dat de gebruiker deze regeling kan instellen en beïnvloeden. Niet optimale regelingen kunnen leiden tot ergernis bij de gebruiker. Deze ergernis kan ertoe leiden dat de schakelingen worden uitgeschakeld, waardoor de energiebesparing niet behaald wordt.

Potentie voor energiebesparing is er wel, maar wordt momenteel niet toegepast.



## **8 EXTERNE DUURZAME BRONNEN**

### **8.1 DE ELEMENTEN WATER, AARDE, WIND EN ZON**

Duurzame bronnen maken gebruik van de elementen water, aarde, wind en zon. Denk aan externe bronnen, zoals windmolens op zee, zonnecellen langs de snelweg, waterkrachtcentrales e.d.. De opgewekte energie kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan het beperken van de behoefte aan primaire energiebronnen.

Vaak zijn deze duurzame bronnen niet direct gekoppeld aan een bepaald gebouw. De opbrengst van deze bronnen vertaalt zich een hoger rendement van elektriciteit van het landelijk elektriciteitsnet. Omdat de bronnen geen gebouwgebonden karakter hebben behoren ze niet tot het onderwerp van het project Rigoureux. Wel kunnen ze soms worden toegepast in de wijk, en daarom worden ze in dit hoofdstuk kort beschreven.

### **8.2 HUIDIGE PRAKTIJK EN AMBITIENIVEAU**

#### *Huidige praktijk*

Naast het toepassen van duurzame bronnen op gebouwniveau, worden ook verschillende projecten gerealiseerd waar duurzame energiebronnen worden geïnstalleerd voor een gehele wijk of waarbij energie aan het centrale net wordt geleverd. Behalve het aanwenden van duurzame energiebronnen kan ook het hergebruiken van restenergie van de industrie tot deze categorie gerekend worden.

#### *Ambitieniveau*

Binnen het project Rigoureux zijn afspraken gemaakt, dat opbrengst van duurzame energie alleen dan wordt toegekend, indien er een financiële relatie is tussen gebruiker en duurzame energie. Opbrengst van externe duurzame bronnen, zoals windmolenparken, geothermie e.d. komen ten goede aan het rendement van de landelijke mix. Inzet van externe duurzame bronnen maakt geen onderdeel uit van de ambitie van het project Rigoureux.

Uit: Energie en gedrag in de woning, CE Delft, juli 2003.

**Verlaging van de CO2-emissie.**

Op welke wijze kan de overheid trachten de CO2-emissie van de woningsector te verlagen? De gemiddelde vraag per jaar voor verwarming per woning daalt en de elektriciteitsvraag per woning stijgt. Door de toename van het aantal huishoudens met 1,5 miljoen, stijgt zowel de energievraag voor verwarming als voor elektrische toepassingen. Voor (extra) verlaging van de CO2-emissie zijn verschillende interventiestrategieën te benoemen:

- Het beïnvloeden van het **dagelijks gedrag** lijkt weinig zoden aan de dijk te zetten. Er is een kleine groep die zuinig stookt, en door demografische ontwikkelingen zal er eerder sprake zijn van een minder zuinig stookgedrag. Daarnaast blijkt uit literatuur dat het blijvende effect van overheidsinterventies op dit vlak klein is en slechts een beperkte groep hierop kan worden aangesproken. Ook neemt de isolatiegraad toe zodat het effect in absolute zin kleiner wordt.
- Het beïnvloeden van de **gebouwkwaliteit** gebeurt reeds en moet voortgezet worden. Aanscherping zal weinig extra besparingen opleveren tenzij fors geld hierin gestopt wordt. In de bestaande woningsector zijn veel woningen die niet in aanmerking komen voor sloop (vanwege aantasting van de stedelijke waarde door na-isolatie aan de buitenzijde) en niet of nauwelijks te isoleren zijn. Als extra interventiestrategie levert dit weinig op.
- Het beïnvloeden van de rendementen van **installaties** is matig effectief, maar kostbaar voor de overheid. Dit geldt vooral voor de elektrische functies. Continuering van het beleid om zuinigere apparaten en installaties in de woning te krijgen blijft zinvol, maar is al onderdeel van de autonome ontwikkeling.
- Het beïnvloeden van de **milieukwaliteit** van energiedragers die de woning binnenkomen is effectief, redelijk eenvoudig aan te sturen en biedt een goede kans bovenop continuering van het huidige beleid met betrekking tot isolatie en installaties. In de prognoses voor 2030 wordt al rekening gehouden met een stijging van het gebruik van duurzame elektriciteit tot 50% van de elektriciteitsvraag. Hierdoor daalt de totale CO2-emissie van de woningvoorraad al met ongeveer een kwart. Een verdere stijging van duurzame elektriciteit, maar vooral ook van duurzame warmte kan de totale CO2-emissie nog verder reduceren. In Tabel 1 zijn de belangrijkste kenmerken voor de interventiestrategieën weergegeven.

*Tabel: Overzicht interventiestrategieën voor extra CO2-reductie*

	Effectiviteit	Directe kosten	Indirecte kosten	Conclusie
Dagelijks gedrag	klein	laag	Hoog	laag
Bouwkwaliteit	rvw: groot tap: klein elek: klein	rvw: hoog tap: nvt elek: nvt	rvw: matig	rvw: belangrijk tap: nvt elek: nvt
Installaties	rvw: groot tap: groot elek: matig <sup>1</sup>	rvw: matig tap: matig elek: laag	rvw: laag tap: laag elek: hoog <sup>2</sup>	rvw: matig tap: belangrijk elek: matig
Energiedrager	Groot	laag <sup>3</sup>	matig <sup>4</sup>	belangrijk

rvw = ruimteverwarming; tap = warm tapwater; elek = elektrische functies

Directe kosten zijn de kosten voor de energiegebruiker. Indirecte kosten zijn de kosten van de overheid zoals subsidies maar ook uitvoeringskosten.

Zonder het beleid dat gericht is op verbetering van de bouwkwaliteit en de rendementen van installaties te stoppen, is het mogelijk om door groene elektriciteit, maar ook door groen gas en groene warmte een substantiële verlaging van de CO2-emissie van de woningsector te bereiken. Dit is effectief en de (directe en indirecte) kosten zijn aanvaardbaar.

### 8.3 ONTWIKKELINGEN TECHNIEK

#### WATER

##### *Waterkracht in Nederland*

Op kleine schaal wordt in Nederland met waterkracht elektriciteit opgewekt. De energie wordt niet uit een groot hoogteverschil of uit de snelheid van het water gehaald, maar uit de enorme hoeveelheden water die in korte tijd passeren. De turbines maken gebruik van het drukverschil vóór en achter de turbine. Men noemt dit 'reactie'-turbines. De bladen lijken op die van een grote schepsschroef. Om ze te versnellen wordt een tandwielkast voor de generator geplaatst. Doordat de aanvoer van het water benedenstrooms (dicht bij zee) veel regelmatig is dan bovenstrooms (dicht bij de bron), is de aanleg van stuwmuren niet nodig. Wel worden de centrales juist bij stuwen geplaatst, omdat dan ook het hoogteverschil gebruikt kan worden. Nederland heeft vier middelgrote waterkrachtcentrales: in Alphen/Lith, Linne, Maurik en Hagestein. De centrales in Roermond en Gramsbergen zijn aanzienlijk kleiner. Daarnaast is er een tiental zeer kleine historische watermolens [3].



*Figuur 8.1: Waterkrachtcentrale [3]*

##### *Potentiaal zout en zoetwater*

Ter plaatse van een scheiding tussen zout en zoet water kan elektrische stroom worden opgewekt. Het potentiaal tussen de beide watersoorten kan gebruikt worden om stroom op te wekken. Bij scheidingen tussen de zee en grote zoetwatermeren, zoals bijvoorbeeld de afsluitdijk, kan veel elektriciteit opgewekt worden.

#### AARDE

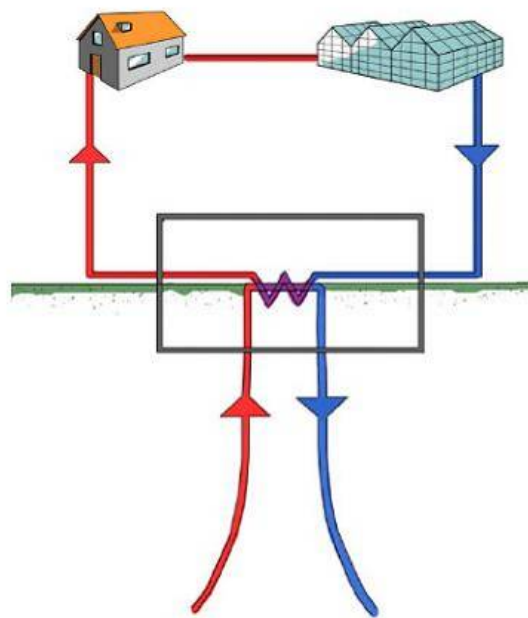
##### *Geothermie*

Bij geothermie worden in diepe watervoerende lagen putten paren (doubletten) geboord. Uit de ene put wordt warm water opgepompt, wat door de andere put weer wordt geïnjecteerd. Het afgekoelde water wordt tijdens de gang door de aardlagen naar de extractieput weer tot aardtemperatuur opgewarmd.

Voor de toepassing van geothermie in Nederland moet 2 tot 3 km diep worden geboord om temperaturen boven 75 °C te bereiken, wat grote investeringen, maar ook schaalvoordelen betekent (Gemeente Den Haag, 2007). Hierdoor kan geothermie in de gebouwde omgeving alleen worden toegepast in collectieve warmtedistributie systemen, wat geothermie bij uitstek geschikt maakt voor hoge bebouwingsdichtheid. De temperatuurstijging bedraagt circa 3 °C per 100 meter (bij een maaiveldtemperatuur van 10 °C), zodat vanaf een diepte van circa 3,5 kilometer ook de productie van elektriciteit (naast warmteproductie) in beeld komt. Als werkmedium wordt daarbij organische vloeistoffen zoals pentanen (Organic Rankine Cycle) of mengsels van Ammonia (Kalina cycle) toegepast – in plaats van stoom. Deze laatste optie neemt momenteel in Duitsland – mede als gevolg van de ruimhartige subsidie op duurzame elektriciteit – een grote vlucht.

Geothermische systemen zijn langjarig in staat duurzame warmte te leveren. Onuitputtelijk zijn ze echter niet, naar verwachting verloopt de aanvulling van warmte uit diepere aardlagen langzamer dan de mogelijke warmte-onttrekkingssnelheid. Dit betekent dat na tientallen jaren de beschikbare temperatuur zal kunnen dalen. Veelal wordt bij nadering van dat moment een additionele put geboord.

Een bidirectioneel warmtenet wil zeggen dat alle gebruikers warmte aan het distributiesysteem kunnen onttrekken, maar er ook aan kunnen leveren als ze warmte over hebben op een hogere temperatuur dan de actuele temperatuur van het warmtenet. In het ultieme geval kan in de zomer met restwarmte uit zonnecollectoren en/of restwarmte van de industrie de temperatuur van het geothermisch doublet verhoogd worden, waarna het weer klaar is voor de volgende winter.



Op dit moment maken energieproducenten nauwelijks gebruik van aardwarmte. Door variaties in de bodem zijn namelijk namelijk eerst dure proefboringen nodig om de technische haalbaarheid van aardwarmtewinning te bepalen. En ook de aanleg van het systeem zelf is duur. Aardwarmtewinning vergt een investering die tien keer hoger ligt dan de kosten voor een systeem voor energiewinning uit fossiele brandstoffen. Warmte in de bodem als gevolg van zonlicht, wordt al wel gebruikt in Nederland. Een warmtewisselaar in de bodem haalt de warmte op en maakt die beschikbaar voor verwarming.

*Figuur 8.2: Principeschets van diepe geothermie [33].*

#### *Warmte koude opslag*

Een warmtepomp met warmte en koudeopslag in de bodem kan voor één woning worden toegepast. Het is echter ook mogelijk voor een hele wijk een centraal systeem aan te leggen. In onderstaande afbeelding is een impressie te zien van een warmtepomp op wijkniveau, waarbij centraal een warmtepomp is opgesteld. Doordat de levering op afstand plaatsvindt, behoort ook deze duurzame bron niet tot het onderwerp van dit project.



*Figuur 8.3: Warmtepomp met warmte en koudeopslag op wijkniveau [34].*

## WIND

### *Windenergie*

Windenergie is een goed bruikbare energiebron om met behulp van windmolens elektriciteit op te wekken. Door wisselende windsnelheden kunnen wisselingen in het elektriciteitsnet optreden. Wanneer grote parken aangesloten zijn kunnen hierdoor gevaarlijke situaties ontstaan.



*Figuur 8.4: windmolenpark in zee [35].*

## ZON

### *PV cellen*

PV cellen kunnen in grote eenheden aangebracht worden op daken van kantoorgebouwen of op open vlaktes. In onderstaande afbeelding is een project zichtbaar waar in een woestijngebied (Nevada) een groot aantal PV-panelen zijn opgesteld. Centraal tussen de panelen is de installatie geplaatst die de opgewekte gelijkstroom transformeert naar wisselspanning zodat deze geleverd kan worden aan het elektriciteitsnet.



*Figuur 8.6: PV zonnepanelen in woestijn bij Nevada voor opwekking van duurzame elektriciteit [http://pesn.com].*

### *Industriële restwarmte*

Een groot deel van de totale energiebehoefte komt voor rekening van de industrie. Fossiele brandstoffen worden gebruikt om processen te voeden. Hierbij gaat vaak energie verloren doordat warmte ontstaat. Deze warmte, restwarmte, kan worden getransporteerd naar een woonwijk in de buurt. Hierdoor wordt niet efficiënt benutte energie gebruikt om een ander doel te dienen.

### *Biomassa*

Energie uit biomassa wordt opgewekt door verbranding, vergassing of vergisting van organische materialen. Daartoe behoren hout, groente- fruit- en tuinafval, maar ook plantaardige olie, mest en (delen van) speciaal geteelde gewassen. Deze vorm van bio-energie vermindert gebruik van fossiele brandstoffen en daarmee de uitstoot van broeikasgassen zoals CO<sub>2</sub>. Een ander voordeel is dat biomassa, in tegenstelling tot kolen en aardgas, geen eindige bron is.



Echter, experts discussiëren over de vraag of bio-energie wel duurzaam is. Dat is namelijk lastig te meten. Hiervoor moet de hele productieketen worden bekeken: de oorsprong van de biomassa, eventueel vervoer ervan en de manier van energieopwekking. Hoe milieuvriendelijk is bijvoorbeeld olie uit palmbomen, als die afkomstig is van akkers waarvoor een tropisch bos moest wijken? Wat als de teelt van bio-energiegewassen concurreert met voedingsgewassen? En halen de installaties voor biomassaverwerking wel alle energie uit de brandstof?

*Figuur 8.6: Biomassa [3].*

### *Groene elektriciteit*

Grofweg kennen we twee soorten stroom. 'Groene' stroom, die duurzaam wordt opgewekt, en 'grijze' ofwel gewone stroom, die wordt opgewekt met fossiele bronnen zoals olie, gas, steenkool, maar ook uit kernenergie. Stroom uit fossiele brandstoffen is niet duurzaam: olie, gas en steenkool zijn miljoenen jaren geleden gevormd. Stook je ze eenmaal op, dan is de grondstof weg. Bovendien komt ook de in die grondstoffen opgeslagen CO<sub>2</sub> in de lucht. Dat zorgt voor een versterkt broeikas effect en voor klimaatverandering. Vanuit milieuoogpunt is groene stroom de beste keuze [Milieucentraal].

### *Thermochemische warmteopslag*

Lange termijn opslag van warmte in water heeft als nadelen dat het veel ruimte in beslag neemt en door afkoeling energie verliest. Met thermochemische opslag is dit te voorkomen, hierbij wordt de warmte opgeslagen in de bindingsenergie tussen moleculen/ionen. Als de warmte eenmaal is gebonden, blijft de energie opgeslagen onafhankelijk van de opslagtermijn, terwijl de energiedichtheid in water door afkoeling met de tijd afneemt. Daarnaast is thermochemisch opslag factor 5 tot 10 keer compacter dan opslag in water. Door het suspenderen van het hydraat kan de hoge energiedichtheid van vastestof/gas sorptie gecombineerd worden met de transportmogelijkheden van een vloeistof. Op lange termijn is de verwachting dat per goed geïsoleerde woning slechts 10 m<sup>3</sup> voldoende is om de in de winter benodigde warmte op te slaan.

Thermochemische warmteopslag is opslag van warmte in een chemische verbinding. Welke reactie het meest geschikt is, is afhankelijk van het beschikbare temperatuurniveau. Voor zonnewarmte wordt vooral gebruik gemaakt van hydratering van een zout via de reactie



Deze reactie is reversibel. Zonnewarmte kan worden gebruikt om het water van het zout af te stoken (te 'laden'). Wanneer het afgestookte water weer aan het zout wordt toegevoegd, komt de warmte weer vrij



(ontladen). Belangrijk hierbij is dat het water bij sterke voorkeur in dampvorm en niet in vloeibare vorm aan het zout moet worden toegevoegd, omdat anders een groot deel van de beschikbare warmte verloren gaat. De waterdamp kan worden onttrokken aan de omgevingslucht ('open systeem') of worden gevormd door water in het systeem op lage temperatuur te verdampen met behulp van omgevingswarmte ('gesloten systeem'). In het laatste geval fungeert het systeem effectief als een warmtepomp met opslagcapaciteit en is er een warmtebron (bijvoorbeeld een bodemwarmtewisselaar) nodig om de warmte aan te voeren.

Het potentieel van thermochemische warmteopslag is groot; in principe is het hiermee mogelijk om warmte vrijwel verliesvrij gedurende lange tijd op te slaan met een energiedichtheid die aanzienlijk hoger is dan die van water (5-10 keer zo hoog). Om dit te realiseren is echter een optimaal TCM materiaal nodig (geen degradatie van het materiaal, voldoende snelle reactie, etc) en een optimaal systeemontwerp (voldoende compact, voldoende vermogen, etc).

#### *Status*

Na een aanvankelijke golf van interesse in deze systemen eind jaren '70 heeft het onderzoek lang stilgelegen, maar is recentelijk weer in de aandacht gekomen. Op dit moment wordt door een aantal partijen wereldwijd onderzoek gedaan aan dergelijke systemen, variërend van adsorptiereacties (zeoliet, silicagel) tot absorptiereacties in vloeistoffen (NaOH oplossing) en vaste stoffen (Na<sub>2</sub>S, MgSO<sub>4</sub>). Al dit werk is echter nog in een experimenteel stadium. Wel zijn er veel raakvlakken met het werk dat wordt gedaan aan absorptiewarmtepompen (bijvoorbeeld op basis van LiBr), die wel al commercieel worden toegepast.

Omdat voor grootschalige warmteopslag nog steeds grote hoeveelheden TCM materiaal nodig zijn (om in de ruimteverwarmingsvraag van zelfs een energiezuinige woning te kunnen voorzien zijn vele kuubs TCM materiaal nodig) is het TCM zout sterk bepalend voor de uiteindelijke prijs van het systeem. Een streven is om een bruikbaar zout te vinden dat maximaal 1 euro/kg mag kosten. Als dit lukt, lijkt een eerste kostenraming voor een systeem van 6 m<sup>3</sup> TCM zout in de orde van 30.000 euro te liggen. Gezien het feit dat het systeem nog lang niet marktrijp is, is dit echter niet meer dan een zeer grove eerste indicatie.

#### *Zongedreven koeling*

Thermische zonne-energie is reeds het experimentele stadium ontgroeid. Zomers is er echter een groot overschot aan warmte. Om meer zonnewarmte te benutten, zal dit overschot gebruikt moeten worden. Dit kan door middel van compacte seizoensopslag van warmte en zongedreven koeling. Het voordeel van zongedreven koeling is dat de behoefte aan koeling voor het grootste gedeelte samenvalt met het aanbod van zonnewarmte.

Hiervoor wordt gebruikgemaakt van absorptie koelmachines, deze wordt aangedreven met de zonnewarmte uit een zonnecollector. Dit is economisch rendabeler dan het elektrisch aandrijven van een compressie koelmachine met behulp van een foto-elektrisch (PV-)paneel. Er werken reeds enkele grote systemen, momenteel worden de mogelijkheden onderzocht voor lokale koeling/airconditioning, bijvoorbeeld kleine, gevelgeïntegreerde systemen

## **8.4 ONTWIKKELINGEN GEBRUIKER EN GEDRAG**

De aanwezigheid van niet gebouwgebonden energiebronnen hebben weinig invloed op het gedrag van de gebruiker van een huis.



## **8.5 GEWENSTE ONTWIKKELINGEN**

Om tot vergaande energiebesparing te komen, zijn nieuwe ontwikkelingen gewenst. Aangezien opbrengst van externe duurzame bronnen niet worden toegekend aan het project Rigoureux, wordt hieronder een beknopt overzicht gegeven van mogelijke ontwikkelingen.

Gewenste ontwikkelingen externe duurzame bronnen:

- Papier gestookte centrale in wijk; drukinkten zonder emissies bij verbranding .
- Zonneoven.
- Energie uit bewegende deuren.
- Biogas uit riool.
- Trapgenerator.

## **8.6 BESPARINGSPOTENTIEEL**

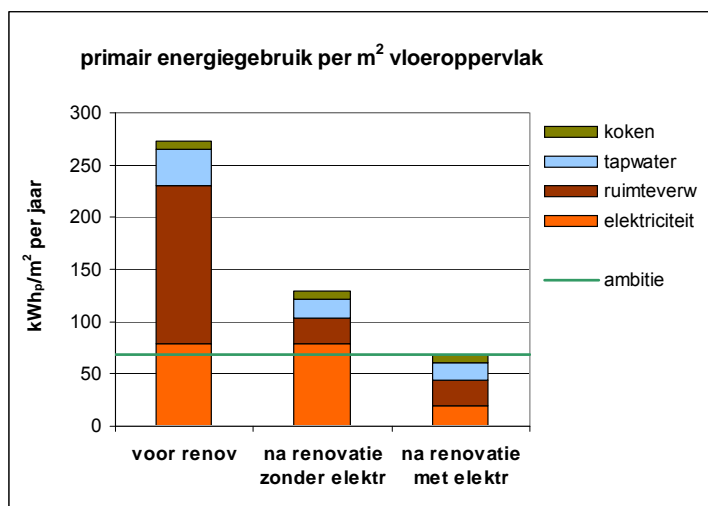
Het besparingspotentieel van externe duurzame energie maakt geen onderdeel uit van het project.



## 9 ANALYSE EN VERVOLG

Het Rigoureux project, waarin ECN, TUD, TNO en DHV samenwerken, heeft als doel innovatieve renovatieconcepten voor woningen te ontwikkelen, waarbij een verlaging van 75% van het totale (primaire) energieverbruik wordt nagestreefd. Met primaire energie bedoelen we de energie-inhoud van de hoeveelheid kolen, aardolie of aardgas, die nodig is om warmte en elektriciteit te produceren. In het energieverbruik van woningen wordt vaak onderscheid gemaakt tussen *gebouwgebonden en gebruikersgebonden of huishoudelijk* energieverbruik. Gebouwgebonden energieverbruik heeft betrekking op apparaten, die aan het gebouw vast 'zitten', zoals de ketel voor verwarming en warm tapwater. Gebruikersgebonden energiegebruik is het energiegebruik van alle 'stekkerapparaten', die mensen in huis hebben staan, zoals tv, audio apparatuur etc. Keukenapparatuur, zoals koelkast, magnetron etc. hoewel vaak 'ingebouwd' wordt ook tot de laatste categorie gerekend. Daarentegen wordt verlichting, hoewel deels in de vorm van 'losse' lampen tot de gebouwgebonden categorie gerekend.

Doel van het Rigoureux-project is deze tweedeling te doorbreken. Met name wordt geprobeerd bouwkundige of installatietechnische maatregelen voor de renovatie te bedenken, die het huishoudelijk energieverbruik reduceren. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een serie stopcontacten, die bij afwezigheid van de bewoner spanningsloos worden gemaakt om het sluimerverbruik van de apparaten te reduceren.



*Figuur 9.1: Primair energieverbruik van een huishouden in Nederland vóór en na een ambitieuze renovatie, al dan niet met aanpak van het elektriciteitsverbruik. De groene lijn geeft het ambitieniveau van het Rigoureux project aan.*

De verschillende posten van het huidige energieverbruik (vóór renovatie) zijn in de linker kolom van figuur 9.1 weergegeven. De grootste post is de ruimteverwarming. Om deze post terug te brengen tot minder dan 25 kWh/m<sup>2</sup> per jaar zijn maatregelen op Passiefhuis niveau nodig. De belangrijkste daarvan zijn een zeer goede thermische isolatie en luchtdichting van de gebouwschil en toepassing van gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning. Hier is nog een aantal barrières te overwinnen, zowel bouwtechnisch als economisch. Maar ook op het gebied van bewonersacceptatie, zeker gezien de recente negatieve berichtgeving omtrent warmteterugwin-units in relatie tot gezondheidsklachten.

De post voor warm tapwaterbereiding kan zonder technisch grote problemen ongeveer worden gehalveerd door toepassing van een zonnecollector en/of warmteterugwinning uit het afgevoerde warm tapwater. Voor een nog grotere besparing is de warmteopbrengst van de zonnecollector in de winter het grootste



knelpunt. In de maanden november tot april levert de zonnecollector namelijk weinig warmte door de combinatie van lage buitentemperaturen en geringe zoninstraling.

Indien we zonnewarmte in de zomer zouden kunnen winnen en opslaan voor gebruik in de winter zouden we de resterende warmtevraag nog verder kunnen terugbrengen. Helaas zijn opslagsystemen met weinig warmteverlies en hoge energiedichtheid zoals met ThermoChemische Materialen (TCM) nog in het laboratorium stadium.

De middelste kolom in figuur 9.1 laat zien wat het effect op het totale energieverbruik is indien we op passiefhuis niveau renoveren en een zonnecollector inzetten. De post van elektriciteitsverbruik is nu overheersend geworden en het is duidelijk dat ook deze moet worden aangepakt om de ambitie van 65 kWh/m<sup>2</sup> per jaar te bereiken.

Het netto elektriciteitsverbruik zou van 3350 kWh naar zo'n 800 kWh per jaar moeten worden teruggebracht om de doelstelling te kunnen halen. Dit kan worden bereikt door het dak 'vol te leggen' met zo'n 30 m<sup>2</sup> PV-panelen, die bij optimale oriëntatie ca. 2600 kWh per jaar opleveren. Netto gebruikt het huis dan nog maar 750 kWh per jaar. Echter, niet alle daken zijn groot genoeg voor 30 m<sup>2</sup> PV of hebben een geschikte oriëntatie. Ook om financiële of andere redenen kan toepassing van PV geen haalbare optie zijn. Het loont dus zeer de moeite om te zien of er innovatieve technieken bestaan of te ontwikkelen zijn om het elektriciteitsverbruik in huis te verminderen.

Voor het laten slagen van een aantal maatregelen om het elektriciteitsverbruik te verminderen, is een zekere mate van gedragsverandering noodzakelijk en dat lijkt niet langer een onmogelijke opgave. Onder meer onder invloed van de film 'An Inconvenient Truth' van Al Gore is het besef aan het doordringen dat energieverbruik gepaard gaat met klimaatveranderingen. We kunnen niet straffeloos energie blijven consumeren en CO<sub>2</sub> blijven uitstoten zonder consequenties voor ons klimaat en dat van onze kinderen. Ook zien mensen de olie- en gasprijzen stijgen en zien dat de productie niet eenvoudig kan worden opgevoerd om aan de toenemende vraag uit vooral China en India te voldoen. Mensen beginnen te beseffen dat olie en gas er niet tot in alle eeuwigheid zullen zijn. Een cruciale vraag is echter onder welke voorwaarden mensen bereid zijn energie te besparen en eventueel hun gedrag daar (ten dele) voor aan te passen.

Mogelijk zijn mensen best bereid hun gedrag op het gebied van energieconsumptie voor een deel aan te passen, maar zijn ze zich niet bewust van de consequenties van hun huidige gedrag en de bespaarmogelijkheden. Hoeveel mensen weten uit hun hoofd hoeveel gas ze jaarlijks verstoken, hoeveel dat kost en hoeveel euro's worden bespaard door bijvoorbeeld de verwarming een graad lager te zetten? Goede actieve voorlichting, wellicht in de vorm van bewonersbijeenkomsten, wellicht met het instellen van besparingsprijzen, zou daarbij kunnen helpen.

Ook kunnen mensen een handje worden geholpen, bijvoorbeeld met een knop op de thermostaat met een drempel voorbij de 20°C zoals op de thermostaatkraan in de badkamer. LED lampjes die aangeven hoeveel een douchebeurt kost, kunnen er mogelijk voor zorgen dat de douchekraan wat zachter wordt gezet of de douchebeurt wat wordt verkort. In de toekomst wordt de energieprijzen wellicht elk kwartier bepaald op basis van vraag en aanbod. Een serie groene, oranje en rode lampjes, die aangeven of de energie goedkoop of duur is, kan helpen bepaalde apparaten nog even niet aan te zetten. Ook kan worden gedacht aan verlichting en apparatuur, die zich na verloop van tijd uitschakelt, zoals in hotels. Zelflerende algoritmes kunnen de tijd tot uitschakelen optimaal instellen. Uiteraard dient er een knop op te zitten, die de lamp altijd aan laat staan, als de bewoner dat wil.



En waar de wortel niet helpt, doet de stok dat misschien wel. Prepaid energie in de meterkast in combinatie met een indicatie van het restant energietegoed kan helpen de bewoner bewust te maken van zijn energieconsumptie.

Een rigoureuzere maatregel, is een forse verhoging van de energieprijzen, in combinatie met een teruggave door de overheid. In plaats van de huidige energierekening van € 2000 betaalt de consument dan bijvoorbeeld € 4.000, maar krijgt hij tegelijkertijd € 2.000 terug van de overheid, net als de huidige heffingskorting voor elektriciteit. Besparen van energie, met handhaving van de teruggave, wordt dan wel heel interessant. De verhoging zou dan wel in één keer en niet geleidelijk moeten worden ingevoerd, indachtig de analogie met de kikker uit de film van Al Gore. Bij langzame verwarming van het water rond de kikker, blijft hij zitten, maar bij een plotselinge verhoging van de temperatuur komt de kikker in actie en springt uit het water.

Kernvraag bij al die maatregelen is: onder welke voorwaarden of omstandigheden een gebruiker bereid is voor deze maatregelen te betalen en daarmee samenhangend: onder welke voorwaarden of omstandigheden is een gebruiker bereid ze te gebruiken.

Voor het halen van ambitieuze doelstellingen als die van het Rigoureux project moet de bewoner de beschikking krijgen over technische maatregelen en hulpmiddelen. Maar de bewoner moet zelf ook wat: hij moet bereid zijn open te staan voor (wellicht kleine) gedragsveranderingen om de potentie van de maatregelen ten volle uit kunnen te buiten. Het nadenken over dit soort oplossingen, op het raakvlak van techniek en gedrag is een belangrijk element van het ontwikkelen van concepten in het kader van het Rigoureux project.

## 10 REFERENTIES

### Referenties

1. Voorbeeldwoningen bestaande bouw, SenterNovem, 2007
2. [www.EnergieNed.nl](http://www.EnergieNed.nl)
3. [www.Milieucentraal.nl](http://www.Milieucentraal.nl)
4. Basisonderzoek Elektriciteitsverbruik Kleingebruikers BEK 2000, Energiened, 2000
5. Determinanten huishoudelijk energiegebruik, STEM, 2005
6. Passiefrenovatie: comfortabel energieconcept voor de bestaande bouw, Stedebouw & Architectuur, 2007
7. Koudebruggen opblazen en thermische isolatie, De Koevoet, 2003
8. [www.lnefa.nl](http://www.lnefa.nl)
9. [www.Bries.nl](http://www.Bries.nl)
10. [www.Hei-tech.nl](http://www.Hei-tech.nl)
11. [www.tilmar.nl](http://www.tilmar.nl)
12. De Installatie Vakbeurs, 2007
13. Energietransitie Platform Gebouwde Omgeving Pego, <http://www.senternovem.nl/energietransitiego/>
14. [www.epsdaylight.nl](http://www.epsdaylight.nl) en [www.natures-lighting.com](http://www.natures-lighting.com)
15. [www.ciralight.com](http://www.ciralight.com)
16. Putten uit eigen middelen, Vereniging Eigen Huis, nr. 10, 2007
17. Stevenhagen Energie & Tractie, [www.set.nl](http://www.set.nl)
18. [www.techna.nl](http://www.techna.nl)
19. [www.Inventum.nl](http://www.Inventum.nl)
20. [www.s-i-e.nl](http://www.s-i-e.nl)
21. <http://www.sbr.nl/pv%2Dpanelen>
22. Micro-warmtekrachtsystemen voor de energievoorziening van Nederlandse huishoudens, ECN, P.C. van der Laag, G.J. Ruijg, 2002
23. [http://www.carbontrust.co.uk/news/presscentre/2007/271107\\_MicroCHPinterim.htm](http://www.carbontrust.co.uk/news/presscentre/2007/271107_MicroCHPinterim.htm)
24. [www.ruimtexitmilieu.nl](http://www.ruimtexitmilieu.nl)
25. [www.sbr.nl/pv%2Dpanelen](http://www.sbr.nl/pv%2Dpanelen)
26. [www.PVTWINS.nl](http://www.PVTWINS.nl)
27. Siemens/Konarka, Advanced Functional Materials
28. <http://www.kennislink.nl/web/show?id=183141>
29. <http://www.iea-pvps-task10.org>
30. [www.scottevest.com](http://www.scottevest.com)
31. <http://www.kennislink.nl/web/show?id=183141>
32. Het ECN PV Privé project, De eerste ervaringen, ECN, 2001
33. Heekeren, 2007
34. [www.dongen.nl](http://www.dongen.nl)
35. [www.zeeinzicht.nl](http://www.zeeinzicht.nl)



## 11 COLOFON

---

Oprachtgever	: SenterNovem
Project	: Rigoureux WP 1
Dossier	: UEOSS0671332
Omvang rapport	: 89 pagina's
Auteur	: Ragna Clocquet (DHV)
Bijdrage	: Daan Jansen (DHV), TNO, ECN en TUDelft
Projectleider	: Ragna Clocquet
Projectmanager	: Theo Rajmakers
Datum	: juli 2009
Naam/Paraaf	:

---

## **BIJLAGE 1      Leden van de klankbordgroep**

De volgende leden hebben zitting genomen in de klankbordgroep van het project Rigoureux:

Wim van den Essenburg	NUON
Edward Pendergast	moBiusconsult
Pieter Levenbach	Vereniging EPA Adviseurs
Stef Folmer	Vereniging EPA Adviseurs
Onno van Rijsbergen	Woonbond
Frans de Haas	de Haas & Partners
Chris Zijdeveld	Stichting Passiefbouwen.nl
Klaas Tigchelaar	Woningcorporatie Patrimonium Veenendaal
Eelco Smeele	Cauberg Huygen Raadgevende Ingenieurs
Piet van Luijk	Ministerie van VROM
Douwe Wielinga	Verbetering Rustenburg-Oostbroek
Willem Otter	BAM Woningbouw
Truus Sweringa	Woningcorporatie
Dorien Putman	ASN Bank
Peter Fraanje	Bouwend Nederland
Rob van der Meer	Uneto-VNI
Cees Vlaanderen	BAM Vastgoed
Willem Schrieks	BAM Vastgoed
Ad van der Aa	Cauberg Huygen Raadgevende Ingenieurs
Annette Stolze	Kenniscentrum Bouwprocesinnovatie
Lex Bosselaar	SenterNovem
Ivo Opstelten	ECN

### **DHV B.V.**

*Larixplein 1*

*5616 VB Eindhoven*

*Postbus 80007*

*5600 JZ Eindhoven*

*T (040) 250 92 50*

*F (040) 250 92 51*

*E [eindhoven@dhv.nl](mailto:eindhoven@dhv.nl)*

*[www.dhv.nl](http://www.dhv.nl)*

## BIJLAGE 2 Aanwezige elektrische apparaten in referentiewoning

Deze bijlage geeft een overzicht en onderverdeling van het huishoudelijk energieverbruik.

Voor de referentiesituatie is een configuratie opgesteld van verschillende aanwezige elektrische apparaten, zie hoofdstuk 3. De aanwezigheid van apparaten is gebaseerd op het Basisonderzoek Elektriciteitsverbruik Kleinverbruikers [BEK, EnergieNed, 2000]. In deze bijlage zijn alle aanwezige apparaten weergegeven. Per aanwezig apparaat is aangegeven wat de penetratiegraad volgens het BEK is, hoeveel er in de referentiesituatie gebruikt worden en wat het energieverbruik is van de apparaten is per jaar.

Vervolgens zijn handmatig enkele apparaten toegevoegd aan de configuratie omdat de bron enigszins gedateerd is. Aan de selectie zijn toegevoegd: een combimagnetron, citruspers, gourmetstel, elektrische tandenborstel, een ventilator in de douche, een koelkast zonde vriesvak en een vaatwasmachine. In plaats van 1 computer en 1 draagbare telefoon is er gekozen voor 2 computers en 2 draagbare telefoons. Ook zijn een meer lampen gedefinieerd voor de referentiesituatie.

Het elektriciteitsverbruik per jaar bedraagt 3672 kWh/jaar voor een huishouden. Hier komt nog 220 kWh aan hulpenergie bij.

Electrische apparatuur in referentiewoning		Selectie		Verbruik		
		BEK	Ref.	aan	standby	totaal
penetratiegrensgetal						
[%]:	50,0%					
aanwezigheidgrensgetal						
[-]:	0,5			[kWh/jr]	[kWh/jr]	[kWh/jr]
Apparaten		[%]	[#]			
Kookapp.	Gietijzeren kookplaten	5,8%		0,0	0,0	0,0
	Keramische kookpl. spiraal					
Kookapp.	halogeen	11,1%		0,0	0,0	0,0
Kookapp.	inductie kookplaten	2,8%		0,0	0,0	0,0
Kookapp.	solo magnetron	42,2%		0,0	0,0	0,0
Kookapp.	combimagnetron	37,7%	1	69,3	26,3	95,6
Kookapp.	elektrische oven in fornuis	35,6%		0,0	0,0	0,0
Kookapp.	grill (los)	3,2%		0,0	0,0	0,0
Kookapp.	bakoven (los)	5,8%		0,0	0,0	0,0
Kookapp.	grill/bakoven (los)	19,5%		0,0	0,0	0,0
Kookapp.	gasfornuis met gasoven	16,4%		0,0	0,0	0,0
<i>Kookapp.</i>	<i>totaal</i>	-				95,6
Keukenapp.	koffiezetapparaat	94,1%	1	55,8	21,7	77,5
Keukenapp.	frituurpan	67,6%	1	10,2	0,0	10,2
Keukenapp.	waterkoker	67,1%	1	34,5	0,0	34,5
Keukenapp.	kookplaatje	7,8%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	espressomachine	13,1%	0	0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	mixer	71,1%	1	0,9	0,0	0,9
Keukenapp.	staafmixer	54,8%	1	0,6	0,0	0,6
Keukenapp.	blender	11,3%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	keukenmachine	34,2%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	citruspers	49,0%	1	1,8	0,0	1,8

Keukenapp.	sapcentrifuge	9,9%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	tosti-ijzer	54,8%	1	3,0	0,0	3,0
Keukenapp.	wafelijzer	11,5%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	mes	16,4%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	messenslijper	12,4%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	snijmachine	8,3%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	blikopener	8,0%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	broodbakmachine	3,6%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	broodrooster	63,7%	1	4,5	0,0	4,5
Keukenapp.	ijsmachine	5,1%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	eierkoker	10,2%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	dompelaar	7,0%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	flessenwarmer	5,0%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	koffiemolen	9,8%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	fonduepan	15,6%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	gourmetstel	41,4%	1	3,0	0,0	3,0
Keukenapp.	steengrill	10,4%		0,0	0,0	0,0
Keukenapp.	rechaud	6,9%		0,0	0,0	0,0
<b>Keukenapp.</b>	<b>totaal</b>	-				<b>136,0</b>
Hobby	boormachine	89,6%	1	2,0	0,0	2,0
Hobby	haakse slijpkop	21,9%		0,0	0,0	0,0
Hobby	slijpmachine	24,3%		0,0	0,0	0,0
Hobby	cirkelzaag	25,4%		0,0	0,0	0,0
Hobby	decoupeerzaag	57,7%	1	1,6	0,0	1,6
Hobby	kettingzaag	6,4%		0,0	0,0	0,0
Hobby	vlakschuurmachine	60,7%	1	0,7	0,0	0,7
Hobby	schaafmachine	13,6%		0,0	0,0	0,0
Hobby	oplaadbare boormachine	60,2%	1	0,2	2,2	2,4
Hobby	oplaadbare schroevendraaier	18,8%		0,0	0,0	0,0
Hobby	verfstripper	24,1%		0,0	0,0	0,0
Hobby	kompressor	8,4%		0,0	0,0	0,0
Hobby	hoge drukreiniger	21,9%		0,0	0,0	0,0
Hobby	lasapparaat	9,0%		0,0	0,0	0,0
Hobby	soldeerbout	51,5%	1	0,2	0,0	0,2
Hobby	draaibank	2,2%		0,0	0,0	0,0
Hobby	freezbank	1,1%		0,0	0,0	0,0
Hobby	grasmaaier	20,9%		0,0	0,0	0,0
Hobby	heggeschaar	25,1%		0,0	0,0	0,0
Hobby	naaimachine	61,5%	1	1,0	0,0	1,0
Hobby	pottenbakkersoven	0,6%		0,0	0,0	0,0
Hobby	elektrische piano/orgel	6,0%		0,0	0,0	0,0
Hobby	synthesizer	4,3%		0,0	0,0	0,0
Hobby	gitaar	2,3%		0,0	0,0	0,0
Hobby	basgitaar	1,0%		0,0	0,0	0,0
Hobby	ritmebox	0,5%		0,0	0,0	0,0
Hobby	drumstel	0,3%		0,0	0,0	0,0
Hobby	zanginstallatie	0,5%		0,0	0,0	0,0
Hobby	aquarium met pomp	5,6%		0,0	0,0	0,0
Hobby	fonteinpomp	14,9%		0,0	0,0	0,0
Hobby	breimachine	0,5%		0,0	0,0	0,0
Hobby	schrijfmachine	13,6%		0,0	0,0	0,0
<b>Hobby</b>	<b>totaal</b>	-				<b>7,9</b>
Pers. verz.	zonnepan	19,7%		0,0	0,0	0,0
Pers. verz.	gezichtsolarium	9,1%		0,0	0,0	0,0
Pers. verz.	fohn	79,5%	1	10,8	0,0	10,8



Pers. verz.	scheerapparaat	55,1%	1	0,1	0,0	0,2
Pers. verz.	scheerstopcontact	17,8%		0,0	0,0	0,0
Pers. verz.	elektrische tandenborstel	45,9%	1	1,5	3,6	5,1
Pers. verz.	krulste/-tang	35,8%		0,0	0,0	0,0
Pers. verz.	whirlpool/jacuzzi	2,3%		0,0	0,0	0,0
Pers. verz.	sauna	0,9%		0,0	0,0	0,0
Pers. verz.	ladyshave	48,9%		0,0	0,0	0,0
<b>Pers. verz.</b>	<b>totaal</b>	-				16,1
Audio/video/comm.	VCR	86,5%	1	6,9	101,0	107,9
Audio/video/comm.	TV (eerste toestel)	98,6%	1	123,7	14,2	137,9
Audio/video/comm.	TV (tweede toestel)	61,2%	1	41,2	9,5	50,7
Audio/video/comm.	TV (derde toestel)	16,5%		0,0	0,0	0,0
Audio/video/comm.	losse radio	61,4%	1	13,7	8,9	22,6
Audio/video/comm.	tuner	93,6%	1	7,5	4,5	12,0
Audio/video/comm.	versterker	88,4%	1	57,2	6,7	63,9
Audio/video/comm.	cassettedeck	88,7%	1	3,8	6,9	10,6
Audio/video/comm.	platenspeler	45,5%		0,0	0,0	0,0
Audio/video/comm.	CD-speler	90,4%	1	3,8	6,2	10,0
Audio/video/comm.	Maro-, mdi-, full-size installatie	57,9%	1	38,2	13,7	51,9
Audio/video/comm.	computer	71,1%	2	90,0	13,1	103,1
Audio/video/comm.	printer	61,9%	1	1,4	4,3	5,7
Audio/video/comm.	telefooninstallatie	24,1%		0,0	0,0	0,0
Audio/video/comm.	draadloze telefoon	63,2%	2	0,0	52,6	52,6
Audio/video/comm.	satelietontvanger	3,8%		0,0	0,0	0,0
Audio/video/comm.	antenneversterker	13,0%		0,0	0,0	0,0
Audio/video/comm.	decoder	4,7%		0,0	0,0	0,0
Audio/video/comm.	antwoordapparaat	23,7%		0,0	0,0	0,0
Audio/video/comm.	fax/modem en combinaties	49,8%		0,0	0,0	0,0
<b>Audio/video/comm.</b>	<b>totaal</b>	-				628,7
Verw./ww	elektrische boiler <20l	8,0%		0,0	0,0	0,0
Verw./ww	elektrische boiler >20l	9,7%		0,0	0,0	0,0
Verw./ww	elektrische geiser	1,3%		0,0	0,0	0,0
Verw./ww	centrale verwarming (individueel)	79,2%	1	220,8	50,0	270,8
Verw./ww	elektrische badkachel	10,8%		0,0	0,0	0,0
Verw./ww	elektrische straalkachel	2,7%		0,0	0,0	0,0
Verw./ww	elektrische ventilatorkachel	5,2%		0,0	0,0	0,0
Verw./ww	convector (elektrische radiator)	4,7%		0,0	0,0	0,0
Verw./ww	elektrische vloerverwarming	0,2%		0,0	0,0	0,0
<b>Verw./ww</b>	<b>totaal</b>	-				270,8
Binnenhuisklim.	centrale woonhuis ventilatie unit	38,3%		0,0	0,0	0,0
Binnenhuisklim.	ventilatie (douche)	29,2%	1	11,0	0,0	11,0
Binnenhuisklim.	ventilatie (toilet)	23,3%		0,0	0,0	0,0
Binnenhuisklim.	afzuigkap	75,5%	1	15,0	0,0	15,0
Binnenhuisklim.	raamventilator keuken	6,6%		0,0	0,0	0,0
Binnenhuisklim.	ramventilator overige ruimten	3,9%		0,0	0,0	0,0
Binnenhuisklim.	plafondventilator	19,2%		0,0	0,0	0,0
Binnenhuisklim.	losstaande ventilator	44,4%		0,0	0,0	0,0
Binnenhuisklim.	airconditioning	1,2%		0,0	0,0	0,0
<b>Binnenhuisklim.</b>	<b>totaal</b>	-				26,0
Koelvriesapp.	koelkast 2-deurs	52,1%	0	0,0	0,0	0,0
Koelvriesapp.	koelkast met vriesvak	26,4%		0,0	0,0	0,0
Koelvriesapp.	koelkast zonder vriesvak	35,4%	1	0,0	3,0	222,4
Koelvriesapp.	diepvrieskist/kast	55,6%	1	0,0	3,0	366,5
<b>Koelvriesapp.</b>	<b>totaal</b>	-				588,9
Reiniging	vaatwasmachine	39,5%	1	0,0	0,0	305,8

Reiniging	losse centrifuge	22,1%		0,0	0,0	0,0
Reiniging	wasdroger	58,5%	1	0,0	0,0	598,5
Reiniging	wasmachine	97,8%	1	0,0	0,0	231,0
Reiniging	strijkijzer	97,0%	1	600,0	0,0	24,0
Reiniging	strijkmaschine	2,0%		0,0	0,0	0,0
Reiniging	stofzuiger	99,0%	1	900,0	0,0	54,0
Reiniging	kruimeldief	46,4%		0,0	0,0	0,0
<b>Reiniging</b>	<b>totaal</b>	-				1213,3
Overig	Radio wekker (LED-display)	90,1%	1	35,0	0,0	35,0
Overig	batterij-oplader	57,0%	1	0,7	1,1	1,7
Overig	deurbel	77,4%	1	0,0	8,8	8,8
Overig	elektrische deken/dekbed	21,6%		0,0	0,0	0,0
Overig	waterbed	6,9%		0,0	0,0	0,0
Overig	zonwering	10,4%		0,0	0,0	0,0
Overig	alarminstallatie	5,6%		0,0	0,0	0,0
<b>Overig</b>	<b>totaal</b>	-				45,5
<b>Verlichting</b>		<b>[#]</b>	<b>[#]</b>			
Verl. gloeil.	badkamer	1,25	2	45,7	0,0	45,7
Verl. gloeil.	buiten	1,18	2	30,8	0,0	30,8
Verl. gloeil.	garage	0,80	0	0,0	0,0	0,0
Verl. gloeil.	hal	2,09	2	46,8	0,0	46,8
Verl. gloeil.	kelder	0,40		0,0	0,0	0,0
Verl. gloeil.	keuken	1,63	2	112,2	0,0	112,2
Verl. gloeil.	reserve	5,73	6	0,0	0,0	0,0
Verl. gloeil.	slaapkamer 1	2,32	2	18,2	0,0	18,2
Verl. gloeil.	slaapkamer 2	1,67	2	10,5	0,0	10,5
Verl. gloeil.	slaapkamer 3	1,21	1	5,3	0,0	5,3
Verl. gloeil.	slaapkamer 4	0,50	0	0,0	0,0	0,0
Verl. gloeil.	overige slaapkamer	0,17		0,0	0,0	0,0
Verl. gloeil.	toilet	0,96	1	13,3	0,0	13,3
Verl. gloeil.	woonkamer	5,49	5	145,3	0,0	145,3
Verl. gloeil.	zolder	0,68	1	6,9	0,0	6,9
Verl. halogeenl.	badkamer	0,52	1	11,6	0,0	11,6
Verl. halogeenl.	buiten	0,27		0,0	0,0	0,0
Verl. halogeenl.	garage	0,04		0,0	0,0	0,0
Verl. halogeenl.	hal	0,23		0,0	0,0	0,0
Verl. halogeenl.	kelder	0,00		0,0	0,0	0,0
Verl. halogeenl.	keuken	0,88	1	28,6	0,0	28,6
Verl. halogeenl.	reserve	0,63	1	0,0	0,0	0,0
Verl. halogeenl.	slaapkamer 1	0,35		0,0	0,0	0,0
Verl. halogeenl.	slaapkamer 2	0,22		0,0	0,0	0,0
Verl. halogeenl.	slaapkamer 3	0,19		0,0	0,0	0,0
Verl. halogeenl.	slaapkamer 4	0,10		0,0	0,0	0,0
Verl. halogeenl.	overige slaapkamer	0,03	1	1,3	26,3	27,6
Verl. halogeenl.	toilet	0,06		0,0	0,0	0,0
Verl. halogeenl.	woonkamer	1,66	2	33,2	52,6	85,8
Verl. halogeenl.	zolder	0,08		0,0	0,0	0,0
Verl. spaarl.	badkamer	0,09	0	0,0	0,0	0,0
Verl. spaarl.	buiten	0,64	1	4,2	0,0	4,2
Verl. spaarl.	garage	0,06	0	0,0	0,0	0,0
Verl. spaarl.	hal	0,23	0	0,0	0,0	0,0
Verl. spaarl.	kelder	0,02		0,0	0,0	0,0
Verl. spaarl.	keuken	0,18	0	0,0	0,0	0,0
Verl. spaarl.	reserve	0,76	1	0,0	0,0	0,0
Verl. spaarl.	slaapkamer 1	0,13	0	0,0	0,0	0,0

Verl. spaarl.	slaapkamer 2	0,11	0	0,0	0,0	0,0
Verl. spaarl.	slaapkamer 3	0,07	0	0,0	0,0	0,0
Verl. spaarl.	slaapkamer 4	0,03		0,0	0,0	0,0
Verl. spaarl.	overige slaapkamer	0,01	0	0,0	0,0	0,0
Verl. spaarl.	toilet	0,04	0	0,0	0,0	0,0
Verl. spaarl.	woonkamer	1,03	1	8,3	0,0	8,3
Verl. spaarl.	zolder	0,05	0	0,0	0,0	0,0
Verl. TL	badkamer	0,11	0	0,0	0,0	0,0
Verl. TL	buiten	0,06		0,0	0,0	0,0
Verl. TL	garage	0,95	0	0,0	0,0	0,0
Verl. TL	hal	0,07		0,0	0,0	0,0
Verl. TL	kelder	0,07		0,0	0,0	0,0
Verl. TL	keuken	1,18	1	40,8	0,0	40,8
Verl. TL	reserve	0,51	1	0,0	0,0	0,0
Verl. TL	slaapkamer 1	0,10		0,0	0,0	0,0
Verl. TL	slaapkamer 2	0,11		0,0	0,0	0,0
Verl. TL	slaapkamer 3	0,09		0,0	0,0	0,0
Verl. TL	slaapkamer 4	0,06		0,0	0,0	0,0
Verl. TL	overige slaapkamer	0,02		0,0	0,0	0,0
Verl. TL	toilet	0,01		0,0	0,0	0,0
Verl. TL	woonkamer	0,18		0,0	0,0	0,0
Verl. TL	zolder	0,34		0,0	0,0	0,0
<i>Verl. TL</i>	<i>totaal</i>	-				<i>641,6</i>
Verl.	vakantieaftrek	0		0,0	0,0	0,0
<b>Totaal electriciteitsverbruik referentiewoning</b>		-		<b>4434</b>	<b>446</b>	<b>3670</b>