

Elektrische concepten voor woningen

Rapport
Delft, Juli 2009

Opgesteld door:
C. (Cor) Leguijt
M.I. (Margret) Groot
M. (Marjolein) Koot
L.M.L. (Lonneke) Wielders

Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

C. (Cor) Leguijt, M.I. (Margret) Groot, M. (Marjolein) Koot, L.M.L. (Lonneke) Wielders
Elektrische concepten voor woningen
Delft, CE Delft, Juli 2009

Woningen / Elektriciteit / Consumptie / Besparing / Technologie

Publicatienummer: 09.3884.23

Opdrachtgever: SenterNovem.

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl.

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Cor Leguijt.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft
Committed to the Environment

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.



Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doelstelling	6
1.3	Onderzoeksmethoden	6
1.4	Hoofdingeling	7
1.5	Leeswijzer	9
2	Elektrisch zuinig woonconcept	10
2.1	Conceptbeschrijving	10
2.2	Elektriciteitsbesparing door feedbacksystemen	11
2.3	Elektriciteitsbesparing door gebruikersadaptieve regeling	14
2.4	Elektriciteitsbesparing door substitutie	16
2.5	Voorbeelden/proefprojecten	17
3	Piekverlagend woonconcept	18
3.1	Conceptbeschrijving	18
3.2	Piekverlaging door regelsystemen	19
3.3	Piekverlaging door stuurbare apparaten	22
3.4	Voorbeelden/proefprojecten	24
4	Elektriciteit leverend woonconcept	26
4.1	Conceptbeschrijving	26
4.2	Elektriciteitslevering door regelsystemen	28
4.3	Elektriciteitslevering door opslagsystemen	29
4.4	Elektriciteitslevering door opwekkingseenheden op woningniveau	34
4.5	Voorbeelden/proefprojecten	34
5	Autarkisch woonconcept	36
5.1	Conceptbeschrijving	36
5.2	Technieken	37
5.3	Voorbeelden/proefprojecten	37
	Literatuurlijst	40
Bijlage A	Overzicht karakteristieken opslagsystemen	46





Samenvatting

Energieconcepten op woningniveau richten zich vooral op de warmtevraag van de woning. Energieconcepten voor elektriciteit bestaan nog niet of nauwelijks. Vaak wordt gemakshalve verondersteld dat elektriciteit altijd in voldoende mate kan worden onttrokken of teruggeleverd aan het elektriciteitsnet, waarbij gebruik gemaakt wordt van de opslag- en transportcapaciteit van de elektriciteits-netten.

Het beoogd resultaat van dit project is een inventarisatie van nieuwe elektrische energieconcepten voor woningen, waarbij de elektriciteitsvraag wordt gereduceerd en/of de elektriciteitsnetbelasting wordt verlaagd.

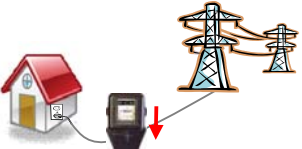
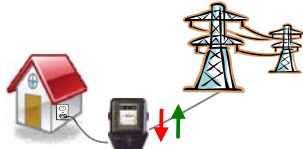


Onder concepten wordt verstaan: zowel een samenhangend geheel van technieken, alsook een meer theoretische beschrijving daarvan.

Door het reduceren van de elektriciteitsvraag van woningen wordt het dekken van de volledige elektriciteitsvraag met nieuwe elektrische technieken zoals zonnecellen (PV), kleine windmolens en HRe-ketels (microwarmtekracht) eerder mogelijk, aangezien de benodigde systemen kleiner en dus goedkoper kunnen zijn.

Uit de eerste inventarisatie bleek dat er weinig concrete marktrijpe concepten op de markt zijn. Wel een aantal demonstratieprojecten en pilots, en daarnaast een aantal technieken in verschillende marktfases die als bouwsteen voor een concept kunnen dienen. Om samenhang te creëren tussen deze demonstratieprojecten en pilots zijn in deze rapportage een viertal meer theoretische hoofdconcepten beschreven, uitgaand van de functie die een woning in een elektriciteitsnet kan hebben. Deze vier hoofdconcepten zijn schematisch weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Schematische weergave van de vier hoofdconcepten

Elektrisch zuinig woonconcept	Piekverlagend woonconcept
 <p data-bbox="516 378 787 409">1. Jaarlijkse energievraag omlaag</p>	 <p data-bbox="993 378 1412 430">1. Jaarlijkse energievraag omlaag 2. Momentane vraag afstemmen op momentaan aanbod.</p>
Elektriciteit leverend woonconcept	Autarkisch elektrisch woonconcept
 <p data-bbox="516 682 958 819">1. Jaarlijkse energievraag omlaag 2. Momentane vraag afstemmen op momentaan aanbod 3. Eigen decentrale productie 4. Eventueel opslagcapaciteit 5. Teruglevering aan het elektriciteitsnet</p>	 <p data-bbox="993 682 1412 819">1. Jaarlijkse energievraag omlaag 2. Momentane vraag afstemmen op momentaan aanbod 3. Eigen decentrale productie 4. Opslagcapaciteit 5. Losgekoppeld van het elektriciteitsnet</p>

De gevonden demonstratieprojecten en relevante technieken hebben een plaats gekregen binnen deze hoofdconcepten, waarbinnen ze verder zijn uitgewerkt op de aspecten marktfase, toepassingsniveau en voordelen voor de elektriciteitsvoorziening.

De focus in het rapport ligt op woningen, de resultaten zijn echter ook toepasbaar voor kleine bedrijven, winkels, en voor combinaties van woningen met bedrijfjes en/of winkels.

De rapportage is interessant voor projectontwikkelaars, bouwers en installateurs van woningen, voor woningcorporaties, voor energiebedrijven en netbeheerders, en voor beleidsmakers bij de overheid.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Energieconcepten voor woningen worden meer en meer gebruikt, maar richten zich vooral op de warmtevraag van de woning, zoals op de benodigde energetische afstemming tussen de warmte-installatie(s) en de bouwdeelen. Energieconcepten op woningniveau voor elektriciteit bestaan nog niet of nauwelijks. Vaak wordt er gemakshalve van uitgegaan dat elektriciteit altijd in voldoende mate kan worden onttrokken of teruggeleverd aan het elektriciteitsnet, waarbij dus gebruik gemaakt wordt van de opslag- en transportcapaciteit van de elektriciteitsnetten¹.

1.2 Doelstelling

Het beoogd resultaat van dit project is een inventarisatie van nieuwe elektrische energieconcepten voor woningen, waarbij de elektriciteitsvraag wordt gereduceerd en/of de netbelasting wordt verlaagd. Daardoor wordt het dekken van de volledige elektriciteitsvraag van de woning met nieuwe elektrische technieken zoals zonnecellen (PV), (kleine) windmolens en HRe-ketels (micro-warmte-kracht) eerder mogelijk, aangezien de benodigde systemen kleiner en dus goedkoper kunnen zijn. De focus in het project ligt op woningen, maar waar relevant is ook gekeken naar elektrische concepten voor blok- en wijkniveau. De resultaten zijn ook toepasbaar voor kleinere bedrijven, winkels en voor combinaties van woningen met bedrijfjes of winkels. Ter wille van de leesbaarheid wordt in dit rapport verder consequent over 'woningen' gesproken. Voor componenten voor de concepten kan worden gedacht aan regelsystemen (energiemanagement), lokale netten, opslagsystemen in woningen, kleine decentrale elektriciteitsbronnen (zoals zonnecellen (PV)) en elektrische auto's. Er is gezocht naar concepten in Nederland en in het buitenland. Uitgangspunt is de toepasbaarheid in Nederland op korte (0-5 jr.) of middellange (5-15 jr.) termijn. In deze rapportage zijn de gevonden ontwikkelingen gerubriceerd in een viertal hoofdconcepten.

1.3 Onderzoeksmethoden

Om te komen tot een overzicht van bestaande of in ontwikkeling zijnde concepten is gebruik gemaakt van de reeds aanwezige kennis binnen CE Delft, is een uitgebreide internetstudie gedaan en zijn onderstaande personen geïnterviewd.

¹ Dat dat maar tot bepaalde grenzen mogelijk is is uiteraard wel een bekend fenomeen in de energiesector. In het actieplan Decentrale Infrastructuur (PNG en PDEV, 2008) staan maatregelen beschreven om daar goed mee om te gaan.



Tabel 1 Geïnterviewde personen

Naam	Organisatie
Dhr. André Postma	Enexis
Dhr. Robert van Amerongen	ERP Advies
Dhr. Detlef Meijer, dhr. Arnoud Backers, dhr. Alex Bouw	IBM
Dhr. Leon Straathof	GTI
Dhr. Dirk Jansen	Alliander
Mevr. Petra de Boer	Kema
Dhr. Martijn Bongaerts	Alliander
Dhr. Rene Kamphuis	ECN
Dhr. Paul Corton	Alliander
Dhr. Seinen	Seinen projectontwikkeling

1.4 Hoofdindeling

In deze rapportage worden de concepten beschreven, die gericht zijn op het verlagen van het elektriciteitsgebruik in de woning en/of het verlagen van de belasting op het elektriciteitsnet. De in eerste instantie gevonden elektrische concepten of losse technieken waren weinig samenhangend. Zo was er sprake van verschillende redenen waarom ze waren ontworpen (om CO₂-reductie te realiseren, om verzwaring van de netaansluiting te voorkomen, ter verlaging van de piekbelasting, etc.) en daarnaast was er sprake van een behoorlijke overlap in concepten. Om de concepten logisch te ordenen en als aangrijpingspunt om nieuwe concepten samen te stellen in de toekomst, is een hoofdindeling gemaakt. Deze indeling is beschreven in deze paragraaf, samen met de overweging waarom voor deze indeling is gekozen.

1.4.1 Hoofdconcepten

In dit project is van vier hoofdconcepten uitgegaan met betrekking tot de elektriciteitsvoorziening in een woning. Deze hoofdconcepten zijn gebaseerd op de functie die een woning kan hebben in een toekomstige energievoorziening, waarin duurzaamheid, voorzieningszekerheid en betaalbaarheid centraal staan. Deze indeling is te zien in onderstaande afbeelding (Figuur 2). Het betreft achtereenvolgens:

1. Elektrisch zuinig woonconcept.
2. Piekverlagend woonconcept (elektrisch).
3. Elektriciteit leverend woonconcept.
4. Autarkisch elektrisch woonconcept.

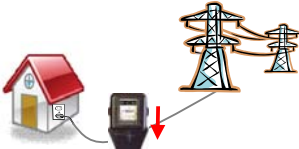
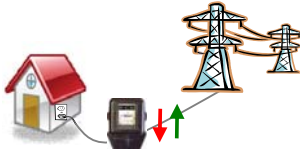
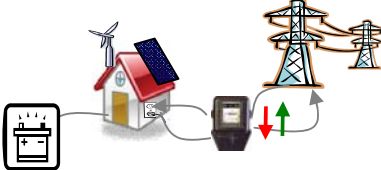
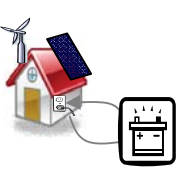
In de volgende paragrafen worden ze kort toegelicht.

Bovenstaande indeling in concepten is gekozen om een duidelijke 'kapstok' te hebben waarin de verschillende ontwikkelingen overzichtelijk kunnen worden gepresenteerd. De verschillende concepten zouden beschouwd kunnen worden als steeds verdergaande stappen op weg naar een volledig duurzame energievoorziening. Het is daarbij wel raadzaam om voor specifieke lokaties de concepten in onderlinge samenhang te beschouwen. Bij een goed ontwerp kunnen ze elkaar versterken, maar ze kunnen elkaar ook in de weg zitten.

Het rapport is gericht op technische concepten. Uiteraard moet nooit vergeten worden dat naast technische aspecten ook sociale en economische aspecten bepalend zijn voor de acceptatie van dergelijke concepten.



Figuur 2 Schematische weergave van de hoofdconcepten

Elektrisch zuinig woonconcept	Piekverlagend woonconcept
	
<p>1. Jaarlijkse energievraag omlaag</p>	<p>1. Jaarlijkse energievraag omlaag 2. Momentane vraag afstemmen op momentaan aanbod.</p>
Elektriciteit leverend woonconcept	Autarkisch elektrisch woonconcept
	
<p>1. Jaarlijkse energievraag omlaag 2. Momentane vraag afstemmen op momentaan aanbod 3. Eigen decentrale productie 4. Eventueel opslagcapaciteit 5. Teruglevering aan het elektriciteitsnet</p>	<p>1. Jaarlijkse energievraag omlaag 2. Momentane vraag afstemmen op momentaan aanbod 3. Eigen decentrale productie 4. Opslagcapaciteit 5. Losgekoppeld van het elektriciteitsnet</p>

1.4.2 Elektrisch zuinig woonconcept

In deze woning wordt maximaal bespaard op het elektriciteitsgebruik door verschillende technische interventies. Een belangrijke voorbeeld daarvan is het verbeteren van de energie-efficiëntie van elektrische apparaten, maar het kan ook plaatsvinden doormiddel van feedbacksystemen die inzicht geven in het energiegebruik van apparatuur of van de totale woning. Bijvoorbeeld door een feedbackdisplay in de woonkamer of bij een apparaat zoals de wasmachine (dat bij een programmeerkeuze aangeeft welke energiegebruik erbij hoort).

In dit concept wordt gefocust op:

- Elektriciteitsbesparing (kWh).

1.4.3 Piekverlagend woonconcept

Bij de piekverlagende woning ligt, naast het verlagen van het elektriciteitsgebruik, de nadruk op het afstemmen van de elektriciteitsvraag op het elektriciteitsaanbod. In een (toekomstige) energievoorziening is ook behoefte aan het verlagen van de zogenaamde piekbelasting (zie paragraaf 3.1). Dat kan een capaciteitsuitbreiding voorkomen van het elektrisch productievermogen en van de distributie- en transportnetten van elektriciteit. De piekverlagende woning voorziet in deze behoefte.

In dit concept wordt gefocust op:

- Elektriciteitsbesparing (kWh).
- Verlaging van de vermogensvraag (kW) bij (dreigende) piekvraag.
- Verhogen van de vermogensvraag (kW) bij een hogere beschikbaarheid aan de aanbodzijde (door verschuiving van het tijdstip van elektriciteitsvraag).

1.4.4 Elektriciteit leverend woonconcept

Een stap verder in functionaliteit van de woning in de gehele elektriciteitsvoorziening, is de woning die ook elektriciteit levert aan het elektriciteitsnet². Dit kan lokaal geproduceerde elektriciteit zijn of elektriciteit die gedurende een periode in of bij de woning is opgeslagen, bijvoorbeeld in accu's. Als de momentane elektriciteitsproductie hoger is dan momentane elektriciteitsvraag in de woning kan het overschot aan het elektriciteitsnet worden geleverd. De leverende woning heeft als concept twee belangrijke voordelen: het draagt bij aan een (meer) duurzame elektriciteitsproductie en het kan fluctuaties opvangen tussen vraag en aanbod in het landelijke net. Deze behoefte zal in de toekomst toenemen, naarmate het aandeel wind- en zonne-energie toeneemt in de totale elektriciteitsproductie. De vraag is overigens wel of opslag op woningniveau energetisch en economisch efficiënter is dan opslag op lokaal of landelijk niveau. Door meer lokale duurzame energieproductie neemt daarnaast ook de voorzieningszekerheid toe.

In dit concept wordt gefocust op:

- Elektriciteitsbesparing (kWh).
- Verlaging van de vermogensvraag (kW) gedurende piekvraag.
- Verhogen van de vermogensvraag (kW) gedurende piekaanbod.
- (Duurzame) elektriciteitslevering.
- (Eventueel) opslag.

1.4.5 Het autarkisch woonconcept

In de drie hiervoor besproken concepten is de woning gekoppeld aan het distributienet voor elektriciteit. Een laatst mogelijke stap is om de woning geheel los te koppelen van een elektriciteitsnet. Zo'n zogenaamde autarke woning, hier in de zin van 'autark op elektriciteitsgebied', is elektrisch geheel zelfvoorzienend. Dit vergt opslagsystemen voor elektriciteit, en/of stuurbare elektriciteitsproductie op woningniveau (zoals een generator).

In dit concept wordt gefocust op:

- Elektriciteitsbesparing (kWh).
- Verlaging van de vermogensvraag (kW) gedurende piekvraag.
- Verhogen van de vermogensvraag (kW) gedurende piekaanbod.
- (Duurzame) elektriciteitslevering.
- Opslag.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 t/m 5 worden de concepten en de bouwstenen van deze concepten verder uitgewerkt. Per hoofdconcept is een samenvattende tabel opgenomen met de verschillende bouwstenen. In de bijlage is een recent overzicht opgenomen van verschillende opslagtechnieken voor elektriciteit.

² Feitelijk wordt niet teruggeleverd aan het net, maar via het net aan de energieleverancier. Omdat 'teruglevering aan het net' een veelgebruikte term is voor deze situatie is deze in dit rapport gehanteerd.



2 Elektrisch zuinig woonconcept

2.1 Conceptbeschrijving

In deze woning wordt maximaal bespaard op het elektriciteitsgebruik door verschillende technische interventies.

Een belangrijk voorbeeld is het verbeteren van de energie-efficiëntie van elektrische apparaten zoals afgedwongen door de Europese ecodesignnormen. Dit is echter niet gebouwgebonden en zal daarom hier niet verder uitgewerkt worden als concept voor woningen.

Daarnaast kan elektriciteitsbesparing ook plaatsvinden door middel van **feedbacksystemen** die feedback geven aan bewoners over het energiegebruik van apparatuur. Bijvoorbeeld door op een display aan te geven wat het actuele elektriciteits- en/of totale energiegebruik is op dat moment, en/of de actuele kosten daarvan. Het idee hierachter is dat als bewoners regelmatig geconfronteerd worden met hun elektriciteitsgebruik en de kosten daarvan, dit tot elektriciteitsbesparing leidt. Dit is ook de achtergrond voor het opnemen van een bepaling over het meten en terugkoppelen van het energiegebruik in de Europese End-Use Energy Efficiency and Energy Services Directive (EESD, 2006) die in 2006 is aangenomen.

Een derde optie is het werken met zogenaamde '**gebruikersadaptieve**' **regelingen**. Dit is een regeling die zich aanpast aan het gedrag van de bewoners, zoals bewegingssensoren die reageren op aanwezigheid, waardoor bijvoorbeeld lampen automatisch uitgaan indien geen aanwezigheid wordt gedetecteerd.

Een vierde en laatste mogelijkheid is **substitutie**. Daarbij wordt elektriciteit vervangen door een andere energiedrager. Denk daarbij bijvoorbeeld aan een gaswasdroger of een hot-fill vaatwasser. Omdat gas een primaire energiedrager is en elektriciteit niet, reduceert substitutie in de regel (en in het huidige energiesysteem³) de CO₂-emissies. Anders dan de apparaten die onder de ecodesignnorm vallen zijn dit wel gebouwgebonden apparaten omdat er installatietechnische aanpassingen aan de woning gedaan moeten worden om deze apparaten te kunnen plaatsen.

De bouwstenen van het elektrisch zuinig wonen concept die uitgewerkt worden in dit hoofdstuk staan samengevat in Tabel 2. Voor de goede orde moet nog worden vermeld dat de vraag naar verlichting kan worden teruggebracht door via bouwkundige maatregelen te zorgen voor optimale lichtinval in de woning.

³ Als de elektriciteit duurzaam wordt opgewekt geldt deze redenatie niet meer.



Tabel 2 Overzicht bouwstenen elektrisch zuinig woonconcept

Categorie	Bouwstenen
Energie-efficiëntie	A-label-apparaten (ecodesignnormen) ⁴
Feedbacksystemen	De slimme meter Tendrill Residential Energy Ecosystem (TREE) E-lux installatieconcept XanuraHome
Gebruikersadaptieve regelingen	Stand-by killers Bewegingssensoren
Substitutie	Gaswasdroger Hot-fill wasmachine Hot-fill vaatwasmachine

In de beschrijvingen in dit hoofdstuk is niet het 'Passiefhuis' opgenomen als apart concept. Passiefhuizen worden gebouwd met een laag energiegebruik (dus niet autarkisch), zie bijvoorbeeld www.passiefhuis.nl. Het is echter niet een specifiek concept gericht op laag elektriciteitsgebruik van woningen, de nadruk bij passiefhuizen ligt op de lage warmtevraag en op goede daglicht-toetreding. Veel van de in dit rapport beschreven concepten en technieken kunnen worden toegepast in passiefhuizen om een laag elektriciteitsgebruik te realiseren.

2.2 Elektriciteitsbesparing door feedbacksystemen

De slimme meter

Korte beschrijving

De slimme meter is een apparaat waarbij terugkoppeling gegeven kan worden met betrekking tot het actuele elektriciteits- (en gas-)gebruik van huishoudens⁵.

Een slimme meter is een elektriciteitsmeter met ingebouwde informatie- en communicatietechnologie die op afstand bediend en uit gelezen kan worden. De



slimme meter kan de oude analoge draaischijfmeters in de meterkast vervangen. De metergegevens zijn hierdoor in de woning digitaal beschikbaar, en kunnen in principe direct gebruikt worden voor een feedbackdisplay in de woning. Door de uitlezing van de gasmeter te koppelen aan de elektriciteitsmeter kunnen beide meters op afstand worden uitgelezen. Dat uitlezen gaat via GPRS (een mobiel netwerk), via internet, of via het elektriciteitsdistributienet. De gegevens worden door de netbeheerder verzonden naar de energieleverancier. De energieleverancier kan de klant via bijvoorbeeld een internetapplicatie inzicht geven in zijn elektriciteitsgebruik gedurende een dag. Het wordt zo mogelijk om de klant beter bewust te maken van zijn elektriciteitsgebruik en om zo energiebesparing tot stand te brengen.

⁴ Wordt niet verder uitgewerkt omdat het geen gebouwgebonden maatregelen zijn.

⁵ De slimme meter is ook voor gasgebruik. In dit rapport ligt de focus echter op elektriciteitsgebruik.

Marktfase

Op initiatief van het ministerie van Economische Zaken wordt bij wet geregeld dat alle consumenten ('de kleinverbruikers') in Nederland in principe een slimme meter krijgen. Bij behandeling van de wet in de Eerste Kamer is echter afgesproken dat de *verplichting* voor een slimme meter uit het wetsontwerp wordt geschrapt. Het plan is om in zes jaar tijd alle bestaande gas- en elektriciteitsmeters te vervangen door slimme meters. De eerste jaren gelden hierbij als proefperiode. Het is de bedoeling dat uiteindelijk iedereen een slimme meter krijgt. Na de proefperiode besluit de minister van Economische Zaken hierover. De fase van grootschalige uitrol start naar verwachting in 2011. De regionale netbeheerders moeten deze uitrol verzorgen. Op dit moment wordt de slimme meter reeds aangeboden door verschillende netbeheerders.

De functionaliteit van de slimme meter is op dit moment alleen het op afstand uitlezen van de meter en het terugkoppelen van elektriciteit- en gasgebruik. De functionaliteit zou in de toekomst verder uitgebreid kunnen worden, waardoor bijvoorbeeld vraagsturing mogelijk zou worden. Het is echter nog onbekend of en wanneer dit mogelijk zal zijn.

Toepassingsniveau

De slimme meter functioneert op woningniveau.

Voordelen voor de elektriciteitsvoorziening

De slimme meter kan voordelen hebben voor de bewoner, maar heeft ook voordelen voor de netbeheerder en de energieleverancier.

Voordelen voor de bewoner:

- beter inzicht in het energiegebruik;
- besparingstips die op hun situatie zijn toegesneden;
- actuele meterstanden online en daardoor een betrouwbare eindafrekening;
- verhuizen en overstappen kost minder moeite.

Voordelen voor de netbeheerder:

- goedkopere en betrouwbaarder meteropname;
- betere en snellere storingsanalyse;
- de netbeheerder kan de voorzieningszekerheid beter waarborgen, door groepen klanten af te sluiten en andere klanten daardoor te vrijwaren van uitval van de elektriciteit.

Voordelen voor de energieleverancier

- koppeling met decentrale opwekking wordt eenvoudiger;
- energiebedrijven kunnen op termijn het gas en de elektriciteit op afstand afsluiten of deels afsluiten ('knijpen'), bijvoorbeeld bij te late betaling door de klant;
- potentiële marktuitbreiding door aanbieden van nieuwe energiediensten.

Er zijn in Nederland diverse praktijkstudies gedaan naar het besparingseffect van gerichte feedback aan huishoudens over energiegebruik en de kosten daarvan. De besparingen door feedback liggen op de korte termijn in de orde-grootte van 3 tot 10% van het gebruik. De ervaring is wel dat het besparend effect na langere tijd geleidelijk minder wordt (gewinningseffecten).

Bron: Ministerie van EZ (2009); ECN (2006); Völlink (2004).



Er zijn verschillende technieken voor feedbacksystemen op de markt of in marktintroductiefase, waarmee consumenten kunnen krijgen in hun energiegebruik en de kosten daarvan. De technieken variëren van simpele tussenschakelmeters die tussen het apparaat en het stopcontact worden geplaatst, tot geavanceerde draadloze systemen waarmee het energiegebruik in de gehele woning kan worden gemonitord. In Hoofdstuk 3 worden voorbeelden van technieken gegeven waarbij feedback wordt gecombineerd met actieve regelsystemen.

Hieronder staat een voorbeeld van een Amerikaanse feedback techniek waarbij ook communicatie met de energieleverancier tot stand wordt gebracht.

Andere feedback technieken zijn bijvoorbeeld:

Plugwise (www.plugwise.com).

Conrad/Voltcraft® (www.voltcraft.nl en www.conrad.nl).

Tendrill Residential Energy Ecosystem (TREE)

Korte beschrijving

De TREE is een Amerikaans open standaard concept. Het is een combinatie van onderling communicerende apparatuur waardoor de consument direct inzicht kan krijgen in het energiegebruik en de bijbehorende kosten. Het Tendrill Residential Energy Ecosystem is een draadloos netwerk waarop verschillende apparaten en wand-contactdozen die ZigBee-compatibel⁶ zijn direct kunnen communiceren met een home energy monitor (tendrill insight) of een webpagina (tendrill vantage). Daarnaast wordt communicatie met de energieleverancier tot stand gebracht. Via de tendrill insight of de tendrill vantage kunnen bewoners direct inzicht krijgen in hun energiegebruik en gemaakte energiekosten. Het doel hierbij is om bewoners bewust te maken van hun energiegebruik en zo besparing te realiseren.



Marktfase

Op dit moment wordt het Tendrill Residential Energy Ecosystem concept in Amerika in een vijftal pilots met grote elektriciteitsmaatschappijen getest. De verwachting is dat het op korte termijn op de Amerikaanse markt verkrijgbaar wordt. Deze termijn is echter nog niet gespecificeerd. Er is tevens nog niet gespecificeerd of en wanneer er uitrol naar Europa zal plaatsvinden.

Net als bij de slimme meter is de functionaliteit van de TREE op dit moment alleen het op afstand uitlezen van de meter en het terugkoppelen van elektriciteit- en gasgebruik. In de toekomst zal de functionaliteit van TREE uitgebreid worden, waardoor ook vraagsturing mogelijk wordt. De verwachting is dat dit nog wel een paar jaar op zich laat wachten vanwege onder andere de kosten die geassocieerd zijn met de smart grid technologie en omdat Zigbee nog niet uniform geadopteerd is in de industrie.

Toepassingsniveau

Het Tendrill Residential Energy Ecosystem functioneert op woningniveau. De ontwikkelaar wil het via de energieleveranciers verder uitrollen.

⁶ ZigBee is een open standaard voor draadloze verbindingen tussen apparaten op korte afstand. Het is bedoeld als aanvulling op Bluetooth en Wi-Fi, het wordt gebruikt voor het doorsturen van sensorgegevens en voor (proces)besturing (monitoring & control).

Voordelen voor de elektriciteitsvoorziening

Het Tendrill Residential Energy Ecosystem heeft voordelen voor de bewoner, maar heeft ook voordelen voor de energieleverancier. Het TREE zal in de toekomst uitgebouwd kunnen worden waardoor er aanvullende voordelen zullen ontstaan. De huidige voordelen, zoals aangegeven door de ontwikkelaar, zijn:

Voordelen voor de bewoner:

- beter inzicht in het energiegebruik;
- consumenten kunnen deelnemen in een benchmark met de burens of andere consumenten.

Voordelen voor de energieleverancier

- Vergroten van operationele efficiëntie door inzicht in het consumentenpatroon.

De cijfers die gegeven zijn over energiebesparing door feedback met slimme meters gelden ook voor dit systeem.

Bron: CNet (2008); Tendrill (2009); Industrial-embedded (2009).

Installatieconcepten

Naast concepten op de markt die puur gericht zijn op de feedback van het energie- of elektriciteitsgebruik zijn er ook concepten die hierin kunnen voorzien, maar dat niet als hoofdfunctie hebben. Voorbeelden zijn E-lux en XanuraHome.

2.3 Elektriciteitsbesparing door gebruikersadaptieve regeling

Stand-by killers (energy keeper of powersaver)

Korte beschrijving

De Stand-by killer is een eenvoudig apparaat waarmee stand-by gebruik van een aantal specifieke apparaten kan worden voorkomen.

Er zijn 2 typen stand-by killers:

1. Stand-by killer die reageert op de afstandsbediening.
2. Een master-slave stand-by killer, deze merkt wanneer het hoofdtoestel wordt uitgeschakeld en schakelt dan ook de overige randapparatuur uit (bijv. als de PC wordt uitgeschakeld schakelen automatisch ook de monitor, printer, modem, etc. uit).

Deze beide stand-by killers zorgen ervoor dat de apparaten die op stand-by staan uitgeschakeld worden door de stroom af te schakelen als de aangesloten apparaten in stand-by staan. Bij een stand-by killer die reageert op de afstandsbediening kan doormiddel van een willekeurige knop op de afstandsbediening de stroom weer ingeschakeld worden.

Bij een stand-by killer die reageert op het hoofdtoestel zullen de aangesloten apparaten aan- en uitschakelen wanneer het hoofdtoestel wordt aan- en uitgeschakeld.

Marktfase

Er zijn reeds veel verschillende stand-by killers op de markt verkrijgbaar. De kosten van een stand-by killer liggen tussen de € 20,- en € 40,-.

Toepassingsniveau

De stand-by killer functioneert op woningniveau.



Voordelen voor de elektriciteitsvoorziening

De top-5 van grootste stand-by bestaat uit veelgebruikte apparatuur. Bij deze apparaten is stand-by overbodig: het apparaat kan volledig uit.

Tabel 3 Stand-by gebruik (kWh/jr) van de top 5 grootste stand-by gebruikers in huishoudens

Stand-by gebruikers	Jaarlijks stand-by gebruik (kWh)
Computer met randapparatuur	150
TV plus video- of DVD-speler	55
Koffiezetapparaat	27
Tuner, versterker en cd-speler	27
(Combi) magnetron	18
Totaal	277

Volgens Milieucentraal is het stand-by gebruik in totaal ongeveer 400 kWh/jaar voor een gemiddeld huishouden in Nederland. Dit is ruim 10% van het totale elektriciteitsgebruik van een gemiddelde woning. Zeker de helft hiervan is te vermijden door de apparaten volledig uit te schakelen (zie Tabel 3).

Bron: Milieucentraal (2009); Verlichtwonen (2009).

Bewegingssensoren

Korte beschrijving

Een bewegingssensor schakelt verlichting en eventuele andere apparatuur in tijdens aanwezigheid en schakelt deze later weer uit. Bewegingssensoren worden bij huishoudens momenteel veel toegepast in buitenverlichting.

Marktfase

Er zijn reeds veel verschillende bewegingssensoren of lampen met ingebouwde bewegingssensor op de markt verkrijgbaar. De kosten van een bewegingssensor liggen tussen de € 15,- en € 30,-.

Toepassingsniveau

De bewegingssensor functioneert op woningniveau.

Voordelen voor de elektriciteitsvoorziening

Het is niet exact bekend wat de besparing is van de bewegingssensor bij huishoudens. Het elektriciteitsgebruik voor verlichting in huishoudens is gemiddeld 16% van het totale elektriciteitsgebruik⁷, oftewel circa 550 kWh/jaar. Met bewegingssensoren is een deel daarvan te besparen (in bedrijven is een veelvoud daarvan mogelijk).

De eerder genoemde installatieconcepten (E-lux en XanuraHome) bieden ook bouwstenen voor gebruikersadaptieve regelingen, zoals bijvoorbeeld aanwezigheidssensoren.

⁷ bron: www.milieucentraal.nl (2009).



2.4 Elektriciteitsbesparing door substitutie

Gaswasdroger

Korte beschrijving

Een gaswasdroger werkt op gas in plaats van op elektriciteit. Een gasdroger is een luchtafvoerdroger: die blaast damp uit wasgoed met warme lucht. Om de lucht te verwarmen stookt deze droger gas. De gasdroger is net zo zuinig als de warmtepompdroger maar heeft geen energielabel; dit label komt namelijk alleen voor op elektrische apparaten.

Marktfase

Er zijn reeds een aantal verschillende gaswasdrogers op de markt waarvan de kosten uiteenlopen van € 500,- tot € 1.000,- (excl. installatiekosten). Een belangrijk knelpunt voor de gaswasdroger is de aanleg van de gasleiding. De aansluiting kan duur zijn en de gaswasdroger kan minder makkelijk verplaatst worden dan een gewone wasdroger. De gaswasdroger functioneert in een nichemarkt, er is op korte termijn geen uitzicht op dat het marktaandeel van gaswasdrogers sterk zal gaan stijgen. Bij een groot deel van de consumenten is de techniek onbekend.

Toepassingsniveau

De gaswasdroger functioneert op woningniveau.

Voordelen voor de elektriciteitsvoorziening

Bij de opwekking van elektriciteit in een elektriciteitcentrale gaat een deel van de energie verloren. Deze conversiestap (omzetting van gas naar elektriciteit) hoeft bij een gaswasdroger niet gemaakt te worden waardoor er minder energieverlies optreedt. Het elektriciteitsgebruik en het totale primaire energiegebruik van een woning zal dalen.

Bron: Milieucentraal (2009).

Hot-fill was- en afwasmachine

Korte omschrijving

Zogeheten hot-fill wasmachines en hot-fill afwasmachines zijn speciale machines die direct op de warmwaterkraan aangesloten kunnen worden. Het water in een wasmachine wordt normaliter elektrisch verwarmd. Bij de opwekking van elektriciteit in een elektriciteitcentrale gaat ongeveer de helft van de energie verloren. Als voor het opwarmen van het water gas of zonne-energie (zonneboiler) gebruikt wordt, levert dat energiebesparing op.

Marktfase

Alleen Miele levert in Nederland hot-fill wasmachines, daarnaast levert ASKO ook hot-fill afwasmachines. De Miele hot-fill machine kost € 1.300,-. De meerprijs voor het ombouwen naar hot-fill machine kost ongeveer € 125,-. In tegenstelling tot een afwasmachine, kan een gewone wasmachine niet zomaar op de warmwaterkraan worden aangesloten vanwege de spoelbeurten en de verschillende temperatuurprogramma's. Een voorschakelapparaat tussen de warmwaterkraan en de wasmachine maakt de wasmachine wel geschikt voor warmwateraanvoer. Voorschakelapparaten zijn verkrijgbaar bij verschillende installatiebedrijven, of via internet. Ze kosten tussen de € 200,- en € 300,-. Hot-fill van was- en afwasmachines heeft tot dusverre in Nederland geen grote vlucht genomen, ondanks de mogelijkheden voor energie- en kostenbesparing. Onbekendheid met de techniek is één van de factoren daarbij.

Toepassingsniveau

De hot-fill was- en afwasmachine functioneren op woningniveau.



Voordelen voor de elektriciteitsvoorziening

De energiebesparing hangt af van het tapwaterrendement van het verwarmingstoestel: dit moet minimaal 50% zijn om energie te besparen. Zonneboilers, warmtepompboilers en HR-107-combiketels zitten op of boven dit warmwaterrendement. Een factor die de besparing beïnvloedt is de lengte van de warmwaterleiding. Een hot-fill wasmachine bespaart 10-35% energie. Als het warme water uit een zonneboiler of warmtepomp komt, kan de besparing op energie en energiekosten verder oplopen tot zo'n 40%. Een hot-fillsysteem voor de afwasmachine bespaart tussen de 5 en 25% energie.

2.5 Voorbeelden/proefprojecten

Een concept waarbij sprake zou kunnen zijn van energie-efficiëntie is het gelijkspanningsnet op woningniveau. Dit concept is nog in de onderzoeksfase. Het gelijkspanningsnet is als concept overstijgend ten opzichte van het elektriciteitsbesparende woonconcept aangezien er ook gebruik gemaakt kan worden van zonnepanelen en de woning zelfs geheel autarkisch uitgevoerd kan worden. Het uitgangspunt van een gelijkspanningsnet op woningniveau is echter energie-efficiëntie.

Autonoom gelijkspanningsnet

In het kader van een afstudeerproject aan de Technische Universiteit van Delft (TUD) is theoretisch onderzocht of een autonoom laagspanningsnet energie-besparing kan opleveren. De aan-leiding is het besef dat zonnepanelen gelijkstroom met een lage spanning van meestal slechts 24 Volt produceren en veel apparaten in de woning intern ook gelijkstroom met een lage spanning gebruiken. Thans wordt in een standaard woning de elektriciteit van de zonnepanelen met een omvormer omgezet in wisselspanning en via adapters in of bij het apparaat wordt deze wisselspanning van 220 Volt weer teruggebracht naar gelijkspanning. Een gelijkstroomnetwerk in de woning kan deze conversies omzeilen. En bovendien de altijd optredende transformatieverliezen verkleinen doordat er dan in plaats van allemaal kleine transformatoren (in elk apparaat één) één grotere transformator wordt toegepast. Aan de andere kant zijn de verliezen in een gelijkspanningsnet met lage spanning groter (bv. 24 Volt) dan bij een wisselspanningsnet van 220 Volt. Vandaar dat in het theoretische concept ervoor is gekozen om de snoeren zo kort mogelijk te houden door de woning anders in te richten.

In het project is verder gekozen voor een geheel autonoom energiesysteem. Het bleek dat het financieel gunstig was om het oppervlak aan PV cellen zodanig groot te maken dat in de winter ook (bijna) voldoende stroom beschikbaar was. Met een beperkt aantal accu's werd de leveringszekerheid gegarandeerd. Dit concept is doorgerekend in een energiezuinige nieuwbouwwoning met standaard apparaten. Het bleek dat dit concept niet energiezuiniger was, ondanks dat 60% van de geleverde stroom gelijkstroom was. De woning heeft 5,5% extra energieverlies.

Bron: Graaf, 2002.



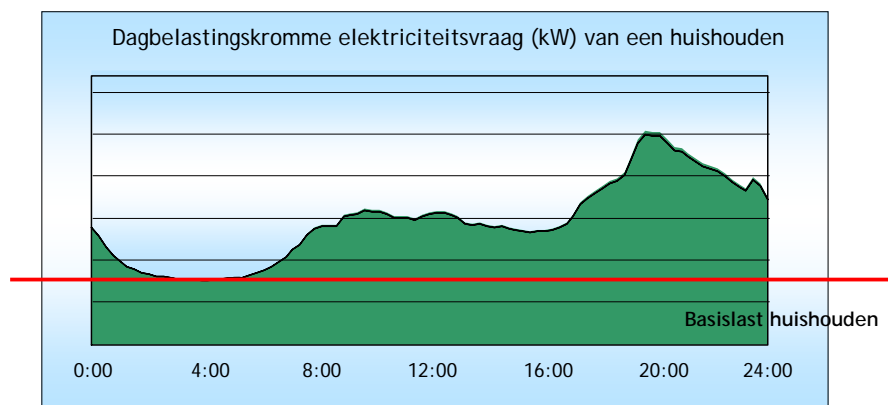
3 Piekverlagend woonconcept

3.1 Conceptbeschrijving

In een (toekomstige) energievoorziening is ook behoefte aan het verlagen van piekbelasting. Dat kan een capaciteitsuitbreiding voorkomen van het elektrisch productievermogen en van het elektriciteitstransport- en/of -distributienet. De piekverlagende woning voorziet in deze behoefte. Bij de piekverlagende woning ligt, naast het verlagen van het elektriciteitsgebruik, de nadruk op het afstemmen van de elektriciteitsvraag op het elektriciteitsaanbod. Het afstemmen van de elektriciteitsvraag op het elektriciteitsaanbod kan op verschillende situaties van toepassing zijn.

Gedurende een dag zijn er zowel schommelingen in de elektriciteitsvraag als schommelingen in het elektriciteitsaanbod. De elektriciteitsvraag van huishoudens bereikt bijvoorbeeld normaliter rond 20:00 's avonds een piek, zoals te zien is in Figuur 3.

Figuur 3 Dagbelastingkromme van een huishouden (elektriciteit)



Daarnaast is ook het elektriciteitsaanbod niet constant. Er is in Nederland sprake van zogenaamde basislast-eenheden en flexibele eenheden voor de elektriciteitsproductie. Basislast-eenheden zijn elektriciteitscentrales die 24 uur per dag draaien en daarmee voorzien in het altijd aanwezige minimum van de elektriciteitsvraag, de zogenaamde basislast (zo geeft de rode lijn in de figuur de basislast van een huishouden weer). Over het algemeen zijn dit kolencentrales aangezien het vermogen van deze centrales slechts beperkt regelbaar is. Het zijn tevens centrales die gekenmerkt worden door hoge vaste kosten en lage brandstofkosten, waardoor het voor een energieproducent gunstig is om ze zoveel mogelijk uren in bedrijf te hebben op vol vermogen. Het flexibele vermogen kenmerkt zich juist doordat het geleverd vermogen snel verhoogd of verlaagd kan worden. Dit vermogen wordt opgeregeld op het moment dat er een elektriciteitsvraag is die hoger is dan de basislast (i.e. middenlast en pieklast). Dit zijn met name gasgestookte centrales, en WKK-installaties bij bijvoorbeeld tuinders. Naast het basislastvermogen en het flexibele vermogen is er ook nog, in toenemende mate, sprake van (bijna) niet regelbaar aanbodgestuurd vermogen. Het gaat dan voornamelijk om windmolens en (nu nog in beperkte mate)

elektriciteit uit zonnecellen. Op het moment dat er meer elektriciteit wordt geleverd dan dat er wordt gevraagd (bijvoorbeeld bij harde wind gedurende de nacht) spreken we hier van een piekaanbod. Bij de voorziene forse toename van de omvang van windenergie in de Noordwest-Europese elektriciteitsvoorziening neemt het aantal momenten toe waarop de vraag lager is dan het gecombineerde aanbod vanuit windmolens en basislastcentrales (CE Delft, 2008).

In de piekverlagende woning gaat het om het afstemmen van de vraag en het aanbod van elektriciteit. Er is dus niet alleen sprake van een verlaging van de totale elektriciteitsvraag (kWh), maar een ook verlaging van de vermogensvraag (kW) gedurende piekvraag-momenten en het verhogen van de vermogensvraag (kW) gedurende piekaanbod-momenten, door verschuiving van de vraag.

Er zijn meerdere elektrische 'grootverbruikers' in een woning waarvan de elektriciteitsvraag uitgesteld kan worden. Bekende voorbeelden zijn de koelkast, de vaatwasser en de wasmachine. Ook elektrische warmtepompen vallen in deze categorie. Voor het spreiden van de energievraag zijn regeltechnieken beschikbaar op de markt die een elektriciteitsvraag uitstellen of juist inzetten. **Regelsystemen** die hierin voorzien hebben vaak een financieel verkoopargument. Bij een hoger aanbod dan de vraag van elektriciteit zal de prijs per kWh laag zijn. Bij een lager aanbod dan de vraag zal er een hoge kWh-prijs zijn. Door goede afstemming van vraag en aanbod kan verzware van het elektriciteitsnet voorkomen worden en kan het voor de energieleverancier en de afnemer dus ook financiële voordelen opleveren.

Naast de regelsystemen zijn er ook zogenaamde **stuurbare apparaten** in ontwikkeling. Dit zijn apparaten waarin het regelsysteem reeds ingebouwd zit waardoor ze hun vermogensvraag kunnen uitstellen of juist vervroegen.

In Tabel 4 zijn de bouwstenen van dit concept samengevat.

Tabel 4 Overzicht bouwstenen piekverlagend woonconcept

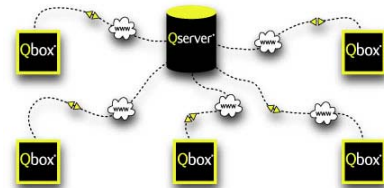
Categorie	Bouwstenen
Regelsystemen	Qbox®, Qserver®, MyGrid®
	Load shedder
Stuurbare apparaten	Mobile smart grid (Stuurbare apparaten in ontwikkeling)

3.2 Piekverlaging door regelsystemen

Lokaal Energie Netwerk (QBox®, Qserver®, MyGrid®)

Korte beschrijving

Onderstaande beschrijving is geënt op de Qbox en Qserver van fabrikant Current. Fabrikant NEDAP levert een soortgelijk techniekpakket onder de merknaam MyGrid.



In een Lokaal Energie Netwerk (LEN) zijn meerdere huizen of bedrijfspanden gekoppeld in een cluster. Binnen het LEN kan elektriciteit vrij worden gedeeld en kan ingespeeld worden op de lokale elektriciteitsvraag (en in de toekomst ook op de lokale elektriciteitsproductie). Dit systeem bestaat uit een centrale



server (de Qserver), die uit de hele wijk of uit het hele land de data verwerkt en uit alle Qbox-en die in woningen geïnstalleerd zijn.

De Qbox meet vrij gedetailleerd de energiestromen in de woning. De gegevens worden vervolgens doorgestuurd naar de centrale Qserver waar alle data bewaard en verwerkt worden. Vervolgens kunnen huishoudens via een website (Qmunity®) hun energiepatronen analyseren. De Qbox kan ondermeer informatie geven over het energiegebruik in de woning en aangeven wanneer het energetisch en financieel gunstig is om apparaten aan of af te schakelen in de woning.

Het systeem kan rekening houden met productieverwachtingen, energietarieven, maar ook de consumptie- en productieverwachtingen van andere deelnemers in het cluster van gebruikers. Ook de administratie en verrekening van lokaal geproduceerde en geconsumeerde elektriciteit is een belangrijke functionaliteit.

Marktfase

De Qbox en Qmunity website zijn momenteel in beta-fase. Er worden nog diverse functionaliteiten getest en uitgebreid, maar er zijn ook al functionaliteiten beschikbaar zijn. De functionaliteiten zullen automatisch worden toegevoegd. De beta-versie van de Qbox kan vast gereserveerd worden voor € 279,-. Levering wordt aan het eind van dit jaar (2009) verwacht.

Toepassingsniveau

De Qbox functioneert op woningniveau en de Qserver en Qmunity functioneren op wijkniveau. De gegevens uit de Qbox zijn de inputgegevens voor de Qserver en de Qmunity.

Voordelen voor de elektriciteitsvoorziening

Op dit moment is het systeem dus nog in ontwikkeling en wordt het nog met meer functionaliteiten uitgebreid.

De huidige functionaliteiten zijn:

- de prestaties van bijvoorbeeld eigen zonnepanelen bekijken;
- gedetailleerd inzicht krijgen in het eigen energiegebruik;
- bepaalde apparaten op afstand aan of uit te zetten;
- energieopwekkers met elkaar te vergelijken.

De te verwachten functionaliteiten zijn:

- automatisch apparaten op het optimale moment aan- en uitschakelen;
- lokale Energie Netwerken samenstellen en administreren.

Door deze functionaliteiten wordt het gebruik van decentrale duurzame energie eenvoudiger aangezien vraag en het niet regelbare aanbod zo optimaal mogelijk op elkaar afgestemd worden. Het landelijk elektriciteitsnet zal hierdoor minder zwaar belast worden met piekvraag en piekaanbod.

De vijf apparaten met het hoogste elektriciteitsgebruik zijn weergegeven in Tabel 5.



Tabel 5 Elektrisch vermogen dat mogelijk geschikt is voor vraagverschuiving (ECN, 2006)

Apparaat	Vermogen (W)	Gebruik/huishouden (kWh/jaar)
Koelkast	50 - 250 ⁸	384
Wasdroger (elektrische)	1.000	350
Wasmachine	1.500	226
Diepvriezer	50 - 250 ²	204
Elektrische boiler	1.350	191
Totaal		1.355

Uit een studie van BEK 2000 blijkt dat 50% van het elektriciteitsgebruik van woningen afkomstig is van apparaten waarvan het gebruik binnen bepaalde marges te verschuiven is (zie Tabel 5).

Bron: Sync (2009); Andis (2009); Current (2009); ECN (2006), NEDAP/MyGrid (2009).

Load shedder

Korte beschrijving

Een load shedder is een regelsysteem om kortstondig de tijdelijke vermogensvraag (kW) in woningen te verminderen.

Een woning heeft een elektriciteitsaansluiting met een bepaalde aansluitwaarde (in de meeste gevallen 3 x 25A). Als de totale opgenomen stroom hoger komt te liggen dan deze drempelwaarde zal de load shedder er voor zorgen dat er andere apparaten tijdelijk uitgeschakeld worden. Hiermee wordt vermeden dat de elektrische aansluiting versterkt moet worden bij een grotere toename van stroomvraag. Bovenstaande wordt geïllustreerd in het volgende voorbeeld.

Voorbeeld werking van de load shedder: een woning met een elektrische warmtepomp

Bij de aanwezigheid van een elektrische warmtepomp in huizen wordt de relatief hoge aansluitwaarde van 3 x 35 A op dit moment noodzakelijk geacht. De compressor van de warmtepomp trekt bij het inschakelen kortstondig (gedurende een fractie van een seconde) een hoge stroom. De piek in de aanloopstroom kan bij grote warmtepompen oplopen tot meer dan 70 A per fase en ligt bij de meest toegepaste vermogens rond de 40 A per fase. Het stroomgebruik van de compressor ligt tijdens het verdere bedrijf overigens een factor tien lager. De aanloopstroom ligt dus al hoger dan de genoemde 35 A, maar kan door het kortstondige karakter ervan, gekoppeld aan de 'traagheid' van de smeltveiligheden, worden verwerkt in de installatie. Daarnaast hebben woningen met een elektrische warmtepomp veelal geen gasaansluiting, waardoor elektrisch moet worden gekookt en soms ook elektrisch wordt bijverwarmd op piekmomenten in de vraag. Deze vraag naar elektriciteit telt op bij andere aanzienlijke gebruikers als de wasmachine en de wasdroger, de vaatwasser, de magnetron, de computer etc. Voor het elektrisch koken, oven, wasmachine en wasdroger geldt per apparaat een stroomafname van ruim 10 A per fase. De optelsom van de aanloopstroom met het gebruik van de elektrische apparaten, die in beginsel vergaand gelijktijdig ingeschakeld moeten kunnen zijn, maakt de totale capaciteit van 3 x 35 A noodzakelijk.

De load shedder zorgt er voor dat bij het inschakelen van de warmtepomp de overige elektrische apparaten zeer kortstondig worden terugregelt, als deze aan zouden staan. De wasmachine en/of de piekverwarming kan bijvoorbeeld wel even wachten tot er gekookt is. Dit voorkomt dat de aanloopstroom als piek bovenop ander gebruik komt met een enorme reductie van de piek in de afgenomen stroom als gevolg. Bij enige spreiding van de inzet van de elektrische apparaten over de tijd (en over de fasen) is het mogelijk om in de meeste gevallen binnen de capaciteit van 3 x 25A te blijven.

⁸ Eigen inschatting CE Delft.



Marktfase

Er zijn reeds verschillende typen en merken load shedders verkrijgbaar op de Nederlandse markt, en de kosten liggen tussen de € 200,- en € 300,-.

Toepassingsniveau

De load shedder wordt toegepast op woningniveau.

Voordelen voor de elektriciteitsvoorziening

Het reduceren van de pieken in de vraag is niet alleen interessant voor de consument (immers, er is geen duurdere 3 x 35A aansluiting meer nodig), maar nadrukkelijk ook voor de netbeheerders (betere benutting van de netcapaciteit).

3.3 Piekverlaging door stuurbare apparaten

Mobile Smart Grid; de elektrische auto

Korte beschrijving

Het concept 'Mobile Smart Grid' is een concept van energiebedrijf Essent met als middelpunt de elektrische auto. In dit concept wordt de elektrische auto gezien als buffer voor bijvoorbeeld piekaanbod van windenergie waarbij de elektrische auto gecontroleerd geladen wordt.

Het werkingsprincipe is als volgt:

1. Een auto wordt aan het Mobile Smart Grid gekoppeld.
2. Het Mobile Smart Grid haalt het protocol op waarin is aangegeven wanneer de eigenaar van de auto wil dat de auto geladen is en voor welk (maximum tarief).
3. Het Mobile Smart berekent of er productie problemen zijn en of er ergens overbelasting kan ontstaan.
4. Ook berekent het Mobile Smart Grid een afschakelmodel dat in werking treedt bij calamiteiten.
5. Op basis van al deze gegevens wordt een laadschema opgesteld en de accu wordt geladen.

De belasting/lading wordt gestuurd op basis van grootte, tijdstip, tijdsduur en energieomvang. Hierdoor wordt er efficiënt gebruik gemaakt van de bestaande elektriciteitsnetten.

Voor huishoudens betekend de elektrische auto een ruime verdubbeling van hun huidige gemiddelde elektriciteitsvraag. Nu gebruikt een huishouden gemiddeld 3.400 kWh per jaar, terwijl het gebruik incl. de elektrische auto op kan lopen tot 7.200 kWh per jaar. Door het gecontroleerd laden van de auto's (zie werkingsprincipe) zou er geen uitbreiding van de huidige productiecapaciteit en elektriciteitsnetcapaciteit nodig zijn.

Marktfase

De elektrische auto die het middelpunt van dit concept vormt is op dit moment in ontwikkeling. Er zijn reeds wat elektrische auto's op de markt en op de recente autosalon van Geneve zijn ook weer verschillende nieuwe prototypes gepresenteerd. De elektrische auto is echter nog niet doorgedrongen in het consumentensegment. Dit heeft met name nog te maken met de laadtijd.

Toepassingsniveau

Het Mobile Smart Grid wordt toegepast op woning, wijk en landelijk niveau.



Voordelen voor de elektriciteitsvoorziening

Het Mobile Smart Grid zorgt voor:

- Intelligent laden van de auto/accu met Groene Stroom: dit komt er op neer dat de (auto)eigenaar gegevens invoert waarmee hij aangeeft hoeveel en wanneer hij de energie wil hebben en voor welk tarief. Het Mobile Smart Grid haalt de gegevens op en zorgt voor uitvoeren van deze wensen.
- Maximale benutting van wind- en zonne-energie door de toenemende opslagcapaciteit in de accu's (bij groei van het aantal elektrische auto's). Er is een grote potentiële opslagcapaciteit van meer dan 125 GWh met een corresponderend regelpotentieel van 20 GW.

Een belangrijk onderscheid met het Vehicle To Grid-concept (zie paragraaf 4.3) is dat de auto niet gebruikt wordt om ook de pieken in de elektriciteitsvraag op te vangen. Met andere woorden: in het Mobile Smart Grid wordt geen elektriciteit onttrokken aan de auto bij een piekvraag.

Bron : Essent (2008).

Overige apparaten

In het onderstaande tekstvak wordt de huidige stand van zaken met betrekking tot overige stuurbare apparaten weergegeven. Op dit moment zijn een aantal stuurbare apparaten in ontwikkeling. Deze apparaten bevinden zich nog in de pilotfase.

De polderende koelkast

Pieken en dalen in het elektriciteitsaanbod zijn te vermijden door slimme apparaten die dimmen als er weinig stroom is.

Hedendaagse koelkasten mogen gecomputeerd en energiezuinig zijn, in feite doen ze maar wat. Een thermostaat wordt ingesteld op de gewenste temperatuur. Stijgt de temperatuur daarboven, dan wordt de koeling ingeschakeld. Is de temperatuur voldoende gedaald, dan gaat de koelmachinerie weer uit. De koelkast trekt zich niets aan van de wereld om hem heen. (...) Bij het Australische onderzoeksinstituut Csiro is apparatuur en software ontwikkeld waarmee elektrische apparaten rekening kunnen houden met elkaar. Volgens onderzoeker Sam West van Csiro's 'Intelligent Energy Team' komen ook wasmachines, was-drogers en boilers in aanmerking. De aanbieders van elektriciteit moeten meedoen, want er moet informatie zijn over vraag én aanbod. Als wolken zich samenvakken boven een zonnecentrale, vernemen de apparaten dat via internet en spreken ze gezamenlijk af even te dimmen. Als het aanbod voldoende is, maar niet overhoudt, krijgen apparaten voorrang die het verst naast hun ideale temperatuur zitten. (...) Koelkasten en diepvriezers zijn interessant omdat ze op momenten van overvloed - 's nachts of als de windmolens lustig draaien - hun thermostaat kunnen negeren en extra kou kunnen maken voor moeilijker momenten. Sam West heeft zijn 'controllers' die aan koelkasten uit de winkel kunnen worden toegevoegd op kleine schaal getest. West zoekt nu een locatie voor een grootschalige praktijkproef en hij werft alvast commerciële partners om de regelapparatuur te maken.

Herbert Blankesteijn (uit Techno: 12-02-09 katern 1 pagina 08).



3.4 Voorbeelden/proefprojecten

Olympic Peninsula

Een onderzoek in de VS heeft uitgewezen dat huiseigenaren tot 10% op hun energierekening kunnen besparen bij inzage en actief beheer van hun stroomgebruik. Ook leverde het een stabiel elektriciteitsnetwerk op.

Het onderzoek van het Amerikaanse Department of Energy werd uitgevoerd door het Pacific Northwest National Laboratory en bestond uit twee projecten.

Bij het Olympic Peninsula-project kregen 112 huiseigenaren nieuwe elektriciteitsmeters, thermostaten, waterkokers en wasdrogers die werden verbonden met een gateway. Software maakt het gebruikers mogelijk om de apparaten automatisch te laten reageren op veranderende elektriciteitsprijzen, bijvoorbeeld door apparaten tijdens piekuren tijdelijk uit te schakelen. Bespaarde stroom werd aan de deelnemers uitbetaald.

Bij het Grid Friendly Appliance-project werd bij 150 huishoudens speciale elektronica in apparaten ingebouwd. Deze Grid Friendly Appliance-controllers detecteerden fluctuaties in het stroomnet en konden aan de hand daarvan energieverslindende apparaten zoals airconditioners uitschakelen. De controllers fungeerden volgens de onderzoekers als 'schokbrekers' in het lichtnet.

Niet alleen leverde het actieve beheer door de eindgebruiker besparingen op tot 10%, maar ook werd de piekbelasting van het stroomnet op veel dagen met 50% verlaagd. Dit kan een alternatief vormen voor investeringen in netverzwaringen.

Bron: Molenaar (2008).





4 Elektriciteit leverend woonconcept

4.1 Conceptbeschrijving

Het kenmerkende van het elektriciteit leverend woonconcept is dat er elektriciteit wordt geleverd aan het elektriciteitsnet, waarbij de elektriciteit in de woning is geproduceerd (HRe-ketel (micro-warmtekracht), zonnecellen (mini)windmolens), dan wel elektriciteit uit een opslagsysteem teruglevert aan het net. Voor dergelijke systemen is wel meer intelligentie op het net nodig (zie tekstkader). Dit houdt in dat er meer meetpunten in het net komen en er meer communicatie (en ook tweeweg) moet plaatsvinden tussen gebruikers en producenten. Opslag van elektriciteit kan op verschillende manieren plaatsvinden⁹. Het kan elektrisch worden opgeslagen in accu's, batterijen of condensatoren, het kan worden omgezet in waterstof of het kan mechanisch worden opgeslagen in bijvoorbeeld een vliegwiel. Opslag en vraagsturing zijn concurrerende systemen, die naast elkaar kunnen bestaan. Als de vraagsturing goed werkt, dan is minder opslag nodig.

Productietechnieken voor elektriciteit op woning of wijkniveau zijn inmiddels vrij algemeen bekend, denk bijvoorbeeld aan PV cellen, een mini biomassa-centrale, (mini)windmolens, of elektriciteit afkomstig van een HRe-ketel (een micro-wkk). Als de momentane elektriciteitsproductie hoger is dan momentane elektriciteitsvraag in de woning kan het overschot aan het elektriciteits-distributienet worden geleverd (of worden opgeslagen).

Opslag van elektriciteit op woningniveau staat overigens qua markttoepassingen nog in de kinderschoenen. Teruglevering aan het elektriciteits-distributienet van (overschotten aan) in de woning geproduceerde elektriciteit is de standaard in de markt.

Meer decentraal elektrisch vermogen vraagt om meer intelligentie op het net

In het Energierapport 2008 worden decentrale energiesystemen als een optie gezien om de energievoorziening te verduurzamen. Decentrale energiesystemen (zowel elektrische als thermische) kunnen milieuvoordeel opleveren ten opzichte van de conventionele energievoorziening. Dit voordeel ontstaat bijvoorbeeld doordat de productie van elektriciteit en warmte wordt gecombineerd (met een hoog totaalrendement), doordat gebruik wordt gemaakt van lokale opwekking uit hernieuwbare bronnen (bijv. de zon, wind of rivierwater) en doordat transportverliezen worden geminimaliseerd. De decentrale systemen hebben echter ook impact op de stuurbaarheid van het totale voorzieningsstelsel. De huidige elektriciteitsvoorziening is goed stuurbaar omdat dit een beperkt aantal productie-eenheden heeft, waarvan een deel snel en met weinig energieverlies kan worden geregeld. Deze eenheden passen continu hun productie aan op de vraag in het net. Daarbij is het spanningsniveau op het elektriciteitsnet een indicator voor de vraag. Als deze daalt wordt meer elektriciteit gevraagd. Als deze stijgt wordt minder elektriciteit gevraagd. Naast de netspanning spelen ook frequentie en fase een rol. In het huidige elektriciteitsnet vindt informatie-uitwisseling over de spanning (en dus over de vraagontwikkeling) plaats tussen relatief weinig meetpunten in het net en een beperkt aantal grote centrales. Dat wordt een stuk complexer bij een toenemend decentraal aanbod van elektriciteit. Er moet dan op veel meer plaatsen spanning

⁹ Overigens altijd als gelijkspanning, niet als wisselspanning.



worden gemeten en rekening worden gehouden met het (te verwachten) aanbod van de decentrale systemen.

Daarnaast kunnen de decentrale systemen ook spanning op het lokale net brengen op momenten dat die niet wordt verwacht (bijv. bij storingen of onderhoud). Hierop moet de beveiliging van het net worden aangepast. Ten slotte moet de informatie over de spanning op het net - naast naar centrale eenheden - ook naar lokale aanbieders of vragers van elektriciteit worden gezonden, zodat zij respectievelijk hun aanbod en vraag daarop kunnen afstemmen. Vandaar dat in de literatuur wordt gesproken van een groeiende behoefte aan intelligentie op het elektriciteitsnet, naarmate het decentrale elektriciteitsaanbod toeneemt.

De elektriciteit leverende woning heeft twee belangrijke voordelen:

1. Het concept draagt bij aan een (meer) duurzame elektriciteitsproductie.
En
2. Het kan fluctuaties opvangen tussen vraag en aanbod in het landelijke of regionale elektriciteitsnet. Deze behoefte zal in de toekomst toenemen, naarmate het aandeel wind en zonne-energie toeneemt in de totale elektriciteitsproductie.

De vraag bij dit woningconcept is wel of elektriciteitsopslag op woningniveau technisch en economisch efficiënter is dan opslag op lokaal of landelijk niveau. Daar is nu lastig een uitspraak over te doen, omdat de technologische ontwikkelingen nog volop gaande zijn. Hoewel stroomopslag bij kan dragen¹⁰ aan het vergroten van het aandeel duurzame energie in Nederland, geniet het vanzelfsprekend de voorkeur om opgewekte elektriciteit direct te gebruiken. Dit omdat opslag gepaard gaat met verliezen. Het rendement van een opslagsysteemcyclus (laden+ontladen) varieert van dertig procent (waterstof) tot negentig procent (vliegwielen).

In dit hoofdstuk beschrijven we drie categorieën voor de elektriciteit leverende woning; regelsystemen, opslagsystemen en opwekkingssystemen. In Tabel 6 zijn de bouwstenen van deze categorieën weergegeven.

Tabel 6 Overzicht van de bouwstenen van het elektriciteit leverend woonconcept

Categorie	Bouwstenen
Regelsystemen	Power Matcher
	(Qbox, Qserver, MyGrid)
Opslagsystemen	Batterijen en accu's
	Supercondensatoren
	Vliegwielen
	Waterstof (brandstofcel)
Opwekkingssystemen	Vehicle to Grid
	HRe-ketel
	PV-vermogen
	Windvermogen

¹⁰ Grootschalige opslag van elektriciteit kan in Nederland onder de huidige marktcondities resulteren in een verhoogd aandeel van (veelal kolengestookte) basislastcentrales in de Nederlandse elektriciteitsproductie.

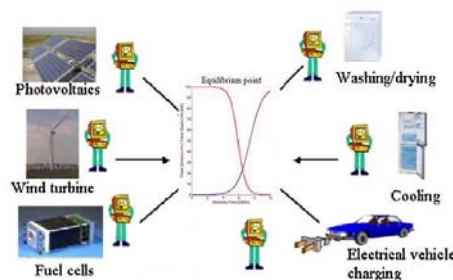


4.2 Elektriciteitslevering door regelsystemen

Smart power system: Power Matcher

Korte beschrijving

De Power Matcher van ECN is software die vraag en aanbod van elektriciteit op lokaal niveau op elkaar afstemt. Dit kan bijvoorbeeld een elektriciteitsvraag zijn van apparaten in de woning zoals een was-machine of een koelkast, of een elektriciteitsaanbod van een HRe-ketel of zonnecellen op het dak.



De software werkt met zogenaamde intelligente agents (autonome software) die apparaten aan- en uitschakelen. Deze agents zijn gekoppeld aan het besturingssysteem van de apparaten. De agents communiceren draadloos met een centraal systeem; de zogenaamde Power Matcher. Binnen de Power Matcher wordt een waarde van de aangeboden elektriciteit bepaald op basis van vraag en aanbod. Deze waarde wordt uitgedrukt in een prijs. Zowel de vragers als de aanbieders van apparaten in een systeem worden op basis van deze prijs aan- of uitgeschakeld, rekening houdend met de eisen die een bewoner heeft gesteld ten aanzien van het functioneren van zijn apparaten. Zo kan de bewoner bijvoorbeeld instellen dat de temperatuur in de woning maximaal 1°C mag afwijken van zijn thermostaat. De berekende prijs in de Power Matcher is voornamelijk virtueel geld, maar het is niet ondenkbaar dat op basis van deze waarde een feitelijke betaling plaatsvindt in de toekomst.

Marktfase

De Power Matcher bevindt zich in de testfase. Een eerste veldtest is binnen het EOS-programma¹¹ afgerond met tien micro-wkk's bij huishoudens in Noord-Nederland. Het doel was om de belasting op een elektriciteitsnet met vraagsturing en productie van elektriciteit door micro-wkk's te minimaliseren. Vraagsturing vond plaats bij het verwarmen van de woning en het tapwater. De veldtest is in de zomer uitgevoerd en leidde tot een reductie van 30% van de piekbelasting. Verwacht wordt dat deze reductie in het stookseizoen nog verder omhoog kan. Momenteel wordt het concept verder ontwikkeld. Naar verwachting wordt het op grotere schaal getest in nieuwe praktijkproeven in het Engelse Woking (als onderdeel van het Europese project Fenix) en in Noord-Nederland (als onderdeel van het Europese project Integral).

Toepassingsniveau

De Power Matcher kan op woningniveau functioneren en daarmee het aanbod en de vraag in de woning goed op elkaar afstemmen. Het is echter vooral bedoeld voor een toepassing op wijkniveau. Door verschillende decentrale producenten te integreren in een elektriciteitsnet, vertoont het enigszins vergelijkbare eigenschappen met een grote elektriciteitscentrale. Zo'n geclusterd systeem wordt dan ook wel een virtuele elektriciteitscentrale genoemd.

¹¹ Het EOS-programma is een subsidie programma vanuit het ministerie van Economische Zaken dat door SenterNovem wordt uitgevoerd.



Voordelen voor de elektriciteitsvoorziening

De Power Matcher kan het lokale aanbod en de vraag van elektriciteit op elkaar afstemmen. Dit geeft de mogelijkheid is om kleinschalige elektriciteitsnetten te realiseren, bijv. op wijkniveau zodat de in de energieleverende woningen opgewekte duurzame energie direct kan worden gebruikt om de vraag van nabijgelegen energievragende woningen te dekken. Dat kan een milieuvoordeel opleveren. Daarnaast heeft het een economisch voordeel; het verlaagt de netto energievraag tijdens piekmomenten, als de elektriciteit duur is. Op den duur kan hierdoor een uitbreiding van het elektriciteitsnet, of een extra elektriciteitscentrale worden voorkomen. De directe voordelen hiervan liggen bij de huidige marktorganisatie bij verschillende partijen.

Bron: (ECN, 2007); (Powermatcher, 2009); (Verwarming&ventilatie, 2008).

4.3 Elektriciteitslevering door opslagsystemen

Batterijen en accu's

Korte beschrijving

Het oudste type oplaadbare batterij dat nog steeds gebruikt wordt, is de **lood-accu**, ook wel lood-zwavelzuurbatterij of loodzuurbatterij genoemd. De loodzuuraccu is zwaar in verhouding tot de geleverde hoeveelheid energie. De energie- en vermogensdichtheid is het laagst van alle oplaadbare accu's. Niettemin wordt dit type accu veel gebruikt, want de productiekosten zijn laag en de te leveren elektrische stroom is groot. Loodaccu's zijn weinig temperatuurgevoelig en vormen in die zin ook een positieve uitzondering op alle andere soorten batterijen. Mits de afvallogistiek goed geregeld is, en dat is in Europa inmiddels het geval, kan een loodaccu voor 98% gerecycled worden.

De **Nikkel-cadmium**-batterijen hebben een gemiddelde energiedichtheid en een relatief lange levensduur. Het nadeel van deze batterijen is het voorkomen van toxische materialen. **Nikkel-metaal-hybride**-batterijen hebben een hogere energiedichtheid van de nikkel-cadmium-batterij maar een gereduceerde levensduur. Daarnaast bevat dit materiaal geen toxische materialen.

De **Lithium-ion-accu** is een accu die vaak in consumentenelektronica wordt gebruikt, vooral door de hoge energiedichtheid. Er kleven echter ook een paar nadelen aan dit type accu. Omdat er een regelsysteem aan gekoppeld moet zijn, is dit type accu vaak *specifiek* voor een apparaat gemaakt.

Een **Redox Flow-accu** is een nieuw soort accu, dat zich nog in de experiment-fase bevindt.

Marktfase

Loodaccu's zijn zoals gezegd, het oudste type oplaadbare batterij en dus in allerlei varianten op de markt. Een voorbeeld van een woning waar het lood-accu-systeem is toegepast is het zonnehuis in Castricum (zie ook Hoofdstuk 5, Autarke woning) en ook in een zonnewoning in Boskoop was er in eerste instantie gekozen voor opslag van elektrische energie in een loodaccu. In het Energyhouse concept van OTB¹² is bij het onderzoek naar de meest optimale accu gekozen voor de Rolls deep-cycle accu van 2 Volt/3232 Ah, zie onderstaand kader.

¹² OTB (Only the Best) is een onderzoeksinstituut van de TU Delft.



Rolls deep-cycle accu

In het onderzoek van het Energyhouse concept van OTB naar de meest optimale accu's kwam de oude vertrouwde loodaccu als beste uit de bus. Verder hebben loodaccu's de laagste prijs per kWh opslag. Loodaccu's zijn een stuk zwaarder dan moderne li-ion accu's maar bij de plaatsing in een huis speelt gewicht niet zo'n rol. Li-ion is vooral interessant in transporttoepassingen waar de hoeveelheid energie per kg erg belangrijk is.



In het onderzoek is aangenomen dat een modern zuinig huishouden maximaal 10 kWh/dag nodig heeft aan elektrische energie. Om volledig zelfvoorzienend te kunnen draaien is de aanname gedaan dat men een buffer zou moeten hebben voor ongeveer 3 weken. Hierbij is uitgegaan van een benodigde accucapaciteit van zo'n 200 kWh. De garantie op deze accu's is 12 jaar, maar de gemiddelde levensduur ligt vermoedelijk veel hoger. Bij het onderzoek hiernaar kwam OTB een project in Zwitserland tegen die vergelijkbare accu's in gebruik heeft sinds 1988. Nu 20 jaar na dato zitten de accu's nog steeds op 88% van de oorspronkelijke capaciteit. De kosten voor deze accu's samen zijn ongeveer 14.000 Euro.

Bron: Olino (2009).

In 2005 is een inventarisatie verricht van de status van opslagtechnologieën en hieruit kwam naar voren dat **li-ion**-technologie de meeste perspectieven voor toepassing in de gebouwde omgeving biedt vanwege compactheid, potentieel lange levensduur en mogelijkheden voor verdere kostendalingen. De accu is wel op de markt maar nog niet toegepast in een woning voor energieopslag. De ECN-groep EGON doet sinds 2005 testen met li-ion-cellen in testwoningen om ervaring op te doen.

Een **Redox Flow**-accu is een experimenteel systeem om (duurzame) energie op te slaan in vloeistof. Op dit moment is de toepassing voor elektrische voertuigen die de vloeistof kunnen tanken. Met dergelijke accu's worden al op grote schaal proeven gedaan in Japan, de Verenigde Staten, Canada, Australië, het Verenigd Koninkrijk en Denemarken. De technologie bestaat al sinds 1986 en in het Amerikaanse Utah is er een voorbeeld van een 250 kW-systeem. In Nederland zijn geen bedrijven die Redox Flow-systemen bouwen. Wel loopt er een experiment voor de ontwikkeling van een Redox Flow 3-batterij van Kema, de Universiteit Twente en het Schiedamse bedrijf Magneto waarin geprobeerd wordt met één elektrolytische vloeistof te werken; zuurstof uit de lucht is dan de tweede elektrolyt. Het project wordt gesubsidieerd door SenterNovem en heeft tot doel de kostprijs van de accu te halveren. In 2010 zal er een werkende proefopstelling zijn.

Toepassingsniveau

De loodzuuraccu en li-ion-opslagsystemen zijn allen geschikt op woningniveau. De Redox flow-batterij is niet geschikt voor een woning vanwege de grootte en dus meer geschikt voor wijken en grote kantoorgebouwen.

Voordelen voor de elektriciteitsvoorziening

De opslagsystemen batterijen en accu's zijn in principe systemen die in het elektriciteitssysteem binnen de woning geplaatst kunnen worden, en kunnen zorgen voor het aftoppen van pieken in vraag en aanbod van elektriciteit vanuit de woning. Het elektriciteitsnet wordt op die manier ontlast. De li-ion accu is geschikt voor grootschalige opslag van elektriciteit (>1 kWh). Voor elektriciteit die op laag-spanningsniveau is opgewekt blijken de verliezen die



ontstaan door het transport via het elektriciteitsnet naar gebruikers in de omgeving, geringer te zijn dan de laad- en ontladverliezen van de (nu nog gangbare) loodaccu's. Als de gebruikers zich op grote afstand bevinden waardoor transport ook via het elektriciteitsnet moet plaatsvinden, is het plaatselijk opslaan van elektriciteit in loodaccu's juist efficiënter.

Bron: UCE (2008); Olino (2009); Essent (2009), Wikipedia (2009).

Supercondensatoren

Korte beschrijving

Supercondensatoren vertegenwoordigen een van de laatste ontwikkelingen op het vlak van de opslag, ze overbruggen de kloof tussen de klassieke condensatoren en batterijen. Supercondensatoren kunnen helpen bij het afvlakken van piekvermogens zoals windvermogen en zonvermogen en ze kunnen helpen met het opvangen van spanningsstijgingen en -dips op het elektriciteitsnet. Het nadeel van de supercondensator is de lage nominale celspanning. Hierdoor is het nodig om tientallen cellen in serie te plaatsen om tot bruikbare spanning te komen.

Marktfase

Er zijn reeds verschillende supercondensatorbanken te verkrijgen. De huidige generatie supercondensatoren heeft nog talrijke ontwikkelingsmogelijkheden. De energiedensiteit en vermogensdensiteit zullen de komende jaren verder stijgen.

Toepassingsniveau

De supercondensator worden voornamelijk geplaatst bij toepassingen waarbij behoefte is aan energie-opslag, zoals bijvoorbeeld communicatie-apparatuur. Dit is voornamelijk op wijk- en landelijk niveau.

Voordelen voor de elektriciteitsvoorziening

Zoals reeds aangegeven kunnen supercondensatoren helpen bij het afvlakken van piekvermogens zoals windvermogen en zonvermogen en ze kunnen helpen met het opvangen van spanningsstijgingen en -dips op het elektriciteitsnet.

Bron: K.U. Leuven et al. (2008).

Vliegwiel

Korte beschrijving

Vliegwielen worden wel gebruikt om korte tijden van stroomuitval te overbruggen. Bij langere storingen kan dan een dieselaggregaat worden opgestart. Een vliegwiel is een relatief zwaar wiel of wieltje dat vrij kan ronddraaien. Door het gewicht is het zwaar om op gang te brengen, maar als het eenmaal draait, is het ook weer moeilijk af te remmen. Bij het op gang brengen van het wiel wordt (bijvoorbeeld) elektrische energie omgezet in kinetische energie van de rotatie. Deze kinetische energie kan later weer worden omgezet in elektrische energie.

Marktfase

Commercieel verkrijgbaar zijn vliegwielssystemen, die kortstondig (10 tot 100 sec) een belasting kunnen blijven voeden. Belangrijkste leveranciers zijn Piller in Duitsland, en Satcon en Active Power in de VS. Urenco Power Technologies (UPT) heeft enkele tientallen hoog-toeren vliegwielcombinaties geleverd, gebaseerd op zijn centrifuge technologie voor uraniumverrijking. Daarnaast is Beacon Power uit de VS zeer actief met het toepassen van hoge toeren vliegwielen in een zogenaamde Matrix. Hierdoor worden opslag-systemen samengesteld uit enkele tientallen vliegwielen, waardoor een



opslagsysteem in de MW-range wordt verkregen. Beacon richt zich met name op de toepassing van frequentieregeling en balanshandhaving, en heeft een aantal demonstratiesystemen voor deze toepassing opgesteld in Californië en New York.

Het Centre for Concepts in Mechatronics (CCM) in Nuenen is een onafhankelijk onderzoeks- en ontwikkelingsbedrijf en werkt al tientallen jaren aan vliegwielen. Momenteel werkt men aan reductie van gewicht en volume voor hoog vermogen en hoogtoeren-vliegwielttechnologie. De toepassing is meestal gericht op mobiele toepassingen zoals bussen en trams om energie te besparen. Ook werkt men aan toepassingen in elektrische en/of hybride voertuigen. De grootste nadelen zijn de relatief hoge prijs (tot 1.500 €/kWh ten opzichte van 200-900 €/kWh voor loodzuurbatterijen). Daarnaast zijn vliegwielen nog niet geschikt voor de opslag van grote hoeveelheden energie.

Toepassingsniveau

Op dit moment worden vliegwielsystemen met name gebruikt voor hele grote vermogens van elektriciteitsopslag maar ook als onderdeel van een back-up systeem voor het uitvallen van elektriciteit bij een ICT-bedrijf.

In het Europese MESSIB-project (zie paragraaf 4.5 Voorbeelden/Proefprojecten) zal de techniek van vliegwielen worden toegepast op woningniveau.

Voordelen voor de elektriciteitsvoorziening

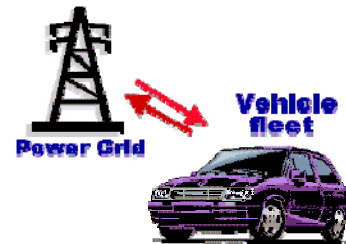
Vliegwielen hebben potentieel om een belangrijke rol te vervullen in het scenario waarbij veel windvermogen en/of zonvermogen opgesteld is. Ten opzichte van batterijen zijn ze milieuvriendelijker.

Bron: UCE (2008); Wikipedia, (2009).

Vehicle to Grid

Korte beschrijving

Vehicle To Grid oftewel V2G is een elektrische auto die met zijn accu het elektriciteitsnet voedt. In dit concept dient de auto als opslagmedium en zal dus niet alleen (tijdens daluren) worden opgeladen, maar ook (tijdens piekuren) elektriciteit kunnen terugleveren aan het elektriciteitsnet. Dit is een belangrijk verschil met het hiervoor reeds beschreven Mobile To Grid-concept.



De elektrische auto staat in dit concept bij de woning aan de acculader, of de accu nu al vol is of niet. De term 'lader' is in dit concept niet meer correct; feitelijk gaat het om een omvormer tussen de accu en het elektriciteitsnet, waarmee de accu zowel ontladen als geladen kan worden. De lader meldt zich dan aan bij de 'grid cloud' en wacht instructies af. Als er in dat deel van het elektriciteitsnet te veel belasting dreigt, krijgt de 'lader' van de netbeheerder de instructie dat hij kan gaan ontladen. Binnen een minuut leveren de slimme laders dan de stroom, waarmee de piekvraag wordt ingevuld. Bij lage netbelastingen krijgt de lader het signaal dat de accu mag worden geladen. Een elektrisch voertuig met een vermogen van 10 kW, kan gemiddeld 10 woningen voorzien van elektriciteit, gedurende de periode dat er voldoende energie in de accu zit.

Marktfase

Voor vervoer werkt ECN aan de mogelijkheden van intelligente laadsystemen 'Vehicle To Grid', en de koppeling van 'plug-in hybrides' aan het elektriciteitsnet. Verder neemt ECN deel aan het project 'Flexible Electricity Networks', samen met o.a. KEMA en TU Eindhoven.

Een opmerkelijk V2G-project in de Verenigde Staten is aan de Universiteit van Delaware, waar een V2G-team onder leiding van dr. Willett Kempton een lopend onderzoek uitvoert. Het onderzoek richt zich met name op de milieu- en economische voordelen van V2G en het versterken van de producten markt. Consumenten zouden kunnen verdienen aan het leveren van elektriciteit aan het elektriciteitsnet tijdens piekbelasting. Andere onderzoekers zijn PG & E, Xcel Energy, de federale National Renewable Energy Laboratory en de Universiteit van Warwick. Toyota overweegt de mogelijkheden gebruik te maken van de toekomstige elektrische auto's voor andere doeleinden dan het rijden. De onderneming stelt: "het is zeer goed mogelijk gebruik te maken van de auto thuis als een noodsituatie elektrische energiebron".

Toepassingsniveau

Het Vehicle To Grid-concept kan worden toegepast op woning, wijk en landelijk niveau.

Voordelen voor de elektriciteitsvoorziening

De voordelen van het Vehicle To Grid-concept zijn gelijk aan de voordelen van het Mobile Smart Grid-concept. Een aanvulling hierop is dat de elektriciteit ook weer teruggeleverd kan worden aan het elektriciteitsnet waardoor ook de pieken in de elektriciteitsvraag kunnen worden opgevangen.

Waterstof

Korte beschrijving

Waterstof kan gebruikt worden om overschot aan elektriciteit in op te slaan. Bij een overschot aan elektriciteit wordt waterstof middels elektrolyse omgezet in waterstofgas H_2 . Dit waterstofgas kan vervolgens onder hoge druk worden opgeslagen in gascilinders. Door middel van een brandstofcel kan het waterstof vervolgens weer omgezet worden in elektriciteit. Het cycluserendement (van elektriciteit via elektrolyse naar waterstof, dan comprimeren, en vervolgens via de brandstofcel weer naar elektriciteit) ligt op circa 30%.

Marktfase

Bij het onderzoek naar een geschikte brandstofcel op woningniveau in het project van de OTB is opgevallen dat er in de markt vooral over PEM-(Proton Exchange Membrane) brandstofcellen gesproken wordt. Het lijkt erop dat dit vooral vanuit de automobielenindustrie komt. Echter er komen steeds meer berichten dat de levensduur van deze PEM-brandstof cellen erg tegenvalt. De laatste getallen geven aan dat deze slechts een levensduur zouden hebben van 1.500 uur. Bij OTB is daarom op dit moment gekozen voor een alkaline brandstofcel. Dit is dezelfde soort cel die al gebruikt werd voor de Apollo-vluchten van de NASA in de 60-er jaren. Bovendien is de levensduur van een alkaline systeem veel langer. Het rendement van zo'n alkaline brandstofcel is vergelijkbaar met een PEM-brandstofcel en ligt rond de 50%. Brandstofcellen hebben momenteel nog met tal van problemen te kampen, die zwaarder wegen dan de voordelen. Naast de technische problemen zijn de economische haalbaarheid en het ontbreken van een infrastructuur op dit moment de grootste barrières voor de succesvolle toepassing van waterstof.

Bron: UCE (2008); Olino (2009).



Naast bovenstaande systemen bestaan ook nog CAES (Compressed Air Storage) en SMES (Super Conducting Magnetic Energy Storage). Aangezien deze systemen zeer grootschalig zijn en daardoor niet toegepast worden op woningniveau worden ze hier niet verder uitgewerkt.

4.4 Elektriciteitslevering door opwekkingseenheden op woningniveau

Dit rapport richt zich op elektrische concepten en niet op individuele technieken. Technieken vormen wel de bouwstenen voor concepten. Om die reden worden individuele technieken wel genoemd met een korte toelichting, zodat de samenhang tussen concepten en technieken duidelijk blijft. Voor elektriciteitsopwekking op woningniveau gaat het om de volgende technieken. **Micro-WKK** kan de opvolger van de HR-ketel in de bestaande woningbouw worden. Deze installatie werkt op aardgas en produceert daarmee warmte en elektriciteit. Dankzij de gecombineerde functie is het rendement hoog en draagt het systeem dus bij aan CO₂-reductie in de gebouwde omgeving. De installatie werd onder de naam HRe-ketel in 2008 op de Nederlandse markt geïntroduceerd. **PV-systemen** zetten energie uit de zon om in elektriciteit. De **Miniwindturbine** zijn kleine windmolens die op woning- en utiliteitbouw geplaatst kunnen worden. Voor de huidige stand der techniek wordt verwezen naar de brochure 'Innovatie in Energie' (SenterNovem, 2008).

4.5 Voorbeelden/proefprojecten

Een mooi voorbeeld van de leverende woning is het HR-actiefhuis dat in Coevorden zal worden gebouwd (zie kader hieronder). Daarnaast heeft binnen de EOS regeling lange termijn van het Ministerie van Economische Zaken het WAELS-onderzoek (ECN, TNO en TU/e) plaatsgevonden. WAELS staat voor 'woningen als Energie leverend systeem' waarbij de elektriciteit wordt opgewekt uit zonne-energie en het overschot wordt opgeslagen. Het doel van dit onderzoek was om een zeer zuinige nieuwbouwwoning te ontwikkelen die gemiddeld genomen over een jaar duurzame energie levert aan het elektriciteitsnet. De drie pijlers van het onderzoek waren (1) ontwikkeling energie-zuinige bouwsystematiek, (2) efficiënte omzetting van zonlicht en (3) ontwikkeling van compacte warmteopslag. Het onderzoek is 1 september 2008 afgerond en heeft een vervolg gekregen in het Europese zevende kaderprogramma, onder de projectnaam MESSIB (Multi-source Energy Storage System Integrated in Building). Meer informatie over beide projecten is te vinden op www.waels.nl en www.Messib.eu.

HR-Actiefhuis

In de Coevordense nieuwbouwwijk Ossehaar zullen drie energie leverende woningen worden gebouwd. De woningen zullen volledig op de energie van zonnecollectoren draaien. De collectoren wekken zoveel energie op dat ook het gebruik voor verlichting en huishoudelijke apparaten kan worden afgedekt. De energievraag in de woning wordt gereduceerd door zuinige LED-verlichting en energiemonitoring. De woning bevat

innovatieve technieken die warmte achter de zonnecellen zullen benutten en opslaan in grote buffers in de grond. De woningen worden aangesloten op het landelijke elektriciteitsnet, maar zullen over een jaar gezien evenveel leveren aan het net als dat ze opnemen. De energierekening komt daarmee op nul Euro voor het variabele deel van de rekening.



Het gaat hier om een project met drie voorbeeldwoningen. De gemeente Coevorden wil namelijk op deze manier aan toekomstige kopers van kavels in de wijk laten zien hoe je energiezuinig kunt bouwen en hen ertoe 'verleiden' om duurzaam te bouwen. Dit gebeurt middels een stimuleringsregeling duurzaam bouwen. Bouwers die een energiezuinige woning bouwen conform de regeling krijgen een subsidie in de meerkosten hiervan. Seinen projectontwikkeling B.V. wil de woningen opleveren voor de bouwvakantie van 2009 en ze worden voor de kopers even duur als 'traditionele' nieuwbouwhuizen.

Bron: Architectenweb, 2009; Coevorden, 2009; Dhr. Seinen, 2009.



5 Autarkisch woonconcept

5.1 Conceptbeschrijving

In de drie hiervoor besproken concepten is de woning gekoppeld aan het landelijke net. Een laatst mogelijke stap is om de woning geheel los te koppelen van een elektriciteitsnet. De woning moet dan volledig in de eigen elektriciteitsvraag voorzien. Daarom zijn er opwekkingseenheden geïnstalleerd, zoals PV-cellen of windturbines. Daarnaast zal de elektriciteitsvraag sterk gereduceerd moeten worden, omdat de opwekkingseenheden die geschikt zijn voor de woning beperkingen kennen op het vlak van prijs en vermogen. Ook heeft een autarke woning buffercapaciteit (en/of stuurbaar elektrisch vermogen zoals een dieselgenerator) nodig omdat dit elektrisch vermogen niet stuurbaar is; zon en wind zijn niet altijd aanwezig en daarom moet elektriciteit kunnen worden opgeslagen. Bij een autarke wijk kan wel stuurbaar duurzaam vermogen worden opgesteld in de vorm van een biomassa-centrale, op woningniveau is die techniek nog niet beschikbaar.

Voor- en nadelen

Deze zogenaamde autarke woning draagt - net als de leverende woning - bij aan duurzaamheid en voorzieningszekerheid door duurzame energieproductie en energiebesparing. Voordelen van de autarke woning zijn dat er minder centraal elektrisch vermogen nodig is en dat er geen lokaal energienet aangelegd hoeft te worden. Daardoor zijn er minder transport- en distributieverliezen. Daarnaast wordt door groepen mensen veel waarde gehecht aan onafhankelijkheid en voorzieningszekerheid die bij een autarke woning maximaal is. Nadelen van autarke woningen zijn dat ze niet kunnen bijdragen aan het opvangen van fluctuaties in het landelijke net, en dat collectieve oplossingen (zoals bij een elektriciteitsnet met centraal vermogen) doorgaans grote voordelen bieden op het vlak van efficiëntie. Een autarkisch concept is daarom energetisch en financieel in veel gevallen onvoordeliger dan een leverende woning concept, zoals in onderstaand tekstkader uitgebreider wordt toegelicht.

Maar economisch efficiënt of niet, energie-autarkie blijft voor een omvangrijke groep consumenten een aantrekkelijk perspectief.

Figuur 4 Optimalisatie op individueel of collectief niveau (woningniveau, niveau van wijk, stad of blok)



(De)centraal of autarkisch?

Het is relevant om een globaal kader in het achterhoofd te houden dat aangeeft wanneer collectieve oplossingen (zoals landelijke elektriciteitsnetten) beter scoren dan oplossingen op woningniveau. De redenatie is in principe simpel. Stel dat er maar één woning bestaat, dan worden de voorzieningen op die woning geoptimaliseerd. Die woning is per definitie autark. Dat is het punt linksonder in Figuur 4. Maar als er meer en meer woningen komen, die ook nog eens dichter op elkaar worden gezet (dus richting rechtsboven in de figuur) dan ontstaat op een gegeven moment een omvang en een dichtheid die het financieel maar ook uit milieuoogpunt aantrekkelijk maken om te investeren in zaken als metrostelsels, in water- en rioolnetten, in dijken (in plaats van in individuele terpen) en bijvoorbeeld in elektriciteitsnetten. Kortom: in collectieve systemen. Er wordt dan geoptimaliseerd op wijk- of stadsniveau (of zelfs landelijk). Natuurlijk kan daar ook op woningniveau geoptimaliseerd worden, maar collectieve opties zijn dan aantrekkelijker, ook vaak financieel. Denk bijvoorbeeld aan het rioleringsstelsel; het ligt niet voor de hand om de vuilwaterverwerking op woningniveau op te lossen in stedelijk gebied, hoewel voor de totstandkoming van het rioolstelsel grote bestuurlijke daadkracht nodig is geweest.

Daar waar de bebouwingsdichtheid weliswaar hoog is, maar de totale omvang van de bebouwing relatief gering (denk bijvoorbeeld aan een kantoorcomplex of een grote flat) ligt een optimalisatie op gebouw- of blokniveau voor de hand. Toegepast op de elektrische concepten voor woningen is het de vraag wanneer een autarke woning beter scoort dan een woning die op een elektriciteitsnet is aangesloten. Om dat te bepalen zijn gedegen analyses nodig, waarbij zaken in beschouwing worden genomen zoals de productie- en afvalfasen van de accu's in de autarke woning en de efficiëntie van het elektriciteitsnet.

5.2 Technieken

De technieken in een autarke woning komen overeen met de technieken die zijn beschreven bij voorgaande concepten: de energievraag moet worden verlaagd (zie hoofdstuk 2), er moet een regelsysteem komen die de vraag en het aanbod afstemmen (zie hoofdstuk 3 en 4), er is opslag nodig en er zijn opwekkingseenheden nodig (zie hoofdstuk 4). In dit hoofdstuk beschrijven we daarom geen nadere technieken. Wel worden in de volgende paragraaf enkele voorbeelden gegeven.

5.3 Voorbeelden/proefprojecten

De Eco Iglo

De Eco Iglo is onlangs gepresenteerd op de Huis- en Tuinbeurs in Leeuwarden. Het is een milieu- en energieneutraal amfibisch concept voor een woonhuis of bedrijfspand. Het is een snel te bouwen woon-concept van Intact Rcodesign. Als de Eco Iglo op land wordt gebouwd, dient een betonnen bak als fundament. Wordt hij op het



water gebouwd dan dient een drijfelement als fundament. In de vloer is al het leidingwerk gestort en in een kelder onder de vloer bevinden zich de watertanks en de opslag van de batterijen. Op het fundament staat een duurzame staalglasconstructie in de vorm van een halve bol. Een deel van de glaspanelen

bevatten zonnepanelen. Het is een energie-autonoom concept waarbij alle benodigde energie uit natuurlijke bronnen wordt opgewekt.

De totale energiebehoefte wordt gedekt door zonne-energie, aardwarmte, en eventueel windenergie. Een power management-systeem stuurt de energiestromen. Dit systeem zit in het hart van de iglo. De prijs van de woning bedraagt 800 duizend Euro inclusief bouwgrond. Er zijn plannen om met de iglo te experimenteren in Almere.

Bron: Volkskrant, 2009; Nieuwsbank, 2009.

Energy House-concept

Het Energy House-concept is een woonconcept van het onderzoeksinstituut OTB. Dit instituut is gelieerd aan de TU Delft en is gespecialiseerd in onafhankelijk onderzoek en advies op het gebied van wonen, bouwen en de gebouwde omgeving. Het Energy House-concept is in theorie eenvoudig. Het is voorzien van PV-panelen die in 2/3 van het elektriciteitsgebruik voorziet en van een micro windturbine die in 1/3 van het elektriciteitsgebruik voorziet. De thermische energie wordt voor de helft opgewekt aan de hand van zonnecollectoren. De andere helft wordt opgewekt door een elektrische warmtepomp. In het concept wordt een relatief laag elektriciteitsgebruik in de woning verondersteld. De elektriciteit wordt opgeslagen hetzij in accu's, hetzij door via elektrolyse waterstof te maken. Het Energy House-concept biedt om die reden ook een waterstoflaadstation voor een klein stadsautootje. De afronding van de theoretische ontwikkeling van het concept vond plaats in december 2008. Thans vinden onderhandelingen plaats om het concept op ware schaalgrootte te testen. Daarbij wordt de mogelijkheid opengehouden om meerdere 'Energy Houses' te koppelen in een zogenaamd 'mini grid'. Dan kunnen namelijk grotere windmolens en warmtepompen worden toegepast en dat levert kostenvoordelen op. Manager van het project 'Energy House-Concept' is de heer Cees Collart.

Bron: Metalelektro Profiel, 2007; Olino 2009.

De autarkische woning

Het autarkisch huis is een innovatief concept voor een nieuwe woning. Het huis is zelfvoorzienend door gebruik van hedendaagse milieutechnieken. Zonder kabels, leidingen en riolering is het vrij van bestaande infrastructuur en vaste netwerken. Het voorziet in zijn eigen water, energie en afvalwaterzuivering. Draadloze netwerken maken het de bewoner desondanks mogelijk zich te verbinden met de buitenwereld.

Dit concept is op papier uitgedacht en beschreven door zowel Stichting Autarkisch Huis (die een demonstratiewoning in Hoogvliet wilde bouwen) en Schie 2.0 in dit decennium. Het is in beide gevallen - maar dit heeft nog nader onderzoek om het met zekerheid te kunnen vaststellen - niet gekomen tot een demonstratieproject. Dat het autarkisch huis van Schie 2.0 uiteindelijk niet is gebouwd, lag deels aan een gebrek aan geld, maar ook aan de regelgeving die het verbiedt om zelfgefilterd drinkwater te gebruiken; aansluiting op het drinkwaternetwerk is in Nederland verplicht.

Bron: IFD Bouwen, 2009; Archined, 2009.



Het Zonnehuis

In Castricum staat sinds 1989 een zogenaamde PV-woning, die autonoom is voor elektriciteitsvraag- en opwekking. De elektriciteitgebruikende apparatuur in de woning is zeer efficiënt. Het zonnehuis is gebouwd met als doel om aan te tonen dat PV-woningen autonoom kunnen opereren, en om ervaring op te doen met het functioneren met een autonoom PV-project.



De benodigde elektriciteit wordt opgewekt met 23 m² PV-panelen op het dak met een piekvermogen van 2,56 kWp, en opgeslagen in accu's. Het back-up-systeem is een generator op aardgas. Het Zonnehuis in Castricum is een eenmalig demonstratieproject, waarin circa zes jaar is gemonitord. Tijdens deze periode hebben zich geen storingen voorgedaan.

Bron: Zon-pv, 2009.

Het aardehuis

Aardehuizen (Earthships) zijn woningen die hoofdzakelijk zijn gebouwd uit afvalmateriaal en aarde. In Zwolle wordt het eerste exemplaar in Nederland gebouwd door woningcorporatie SWZ en opleidingscentrum ROC Landstede. De elektriciteit wordt opgewekt door zonnecellen op het dak. Regenwater wordt opgevangen van het dak en gefilterd tot drink- en spoelwater. De huizen worden deels ingegraven. Aan de zuidkant wordt een glazen serre gebouwd om optimaal gebruik te maken van zonlicht en zonnewarmte. De wanden hebben veel thermische massa, die warmte afgeven als de zon is verdwenen. Er worden zoveel mogelijk gebruikte materialen toegepast in de bouw. Een onderzoek van het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie berekende dat een Earthship ruim negenmaal minder milieubelasting veroorzaakt dan een vergelijkbaar traditioneel gebouw.

Bron: Earthship, 2009; Toonen, 2008.



Literatuurlijst

CE Delft, 2008

F.J. (Frans) Rooijers, C. (Cor) Leguijt, H.J. (Harry) Croezen,
J.P. (Jan Paul) van Soest
Transitiestrategie Elektriciteit en Warmte
Delft : CE Delft, 2008

ECN, 2006

J.C.P. Kester, H.A. Zondag
Demand Side Management achter de meter; raming verduurzamingspotentiëlen
Petten : ECN, 2006

ECN, 2007

M.P.F. Hommelberg, B. Roossien, C.J. Warmer, J.K. Kok, F.J. Kuijper,
J.W. Turkstra
Aggregatie van micro-WKK's in een virtuele centrale : First trial smart power
system
Petten : ECN, 2007

K.U. Leuven et al., 2008

K.U. Leuven ELECTRA, TME, IMER, VUN in opdracht van VIWTA
Decentrale energievoorziening onder Lokaal Beheer
Leuven : Katholieke Universiteit Leuven, 2008

Metalelektro Profiel, 2007

'Energy House' bron van decentrale energie
In : Metal Elektro Profiel (2007); p.28-29

Toonen, 2008

A. Toonen
Duurzaam theedrinken in aardehuis
In : NRC Handelsblad, 20 november 2008

Graaf, 2002

A. van der Graaf
Leven onder de bron
In : Delft Integraal : wetenschappelijk magazine TU Delft, nummer 4 (2002) p...

Platform Nieuw Gas (PNG) en Platform Duurzame Elektriciteitsvoorziening (PDEV), 2008

actieplan Decentrale Infrastructuur
Utrecht : EnergieTransitie, 2008

SenterNovem, 2008

Innovatie in Energie
Utrecht : SenterNovem, 2008

UCE, 2009

'Opslag van elektriciteit : Status en toekomstperspectief voor Nederland',
eindrapport
Utrecht : Utrechtse Centrum voor Energieonderzoek (UCE), 2008



Roossien en Bakker, 2008

B. Roossien; E. Bakker

Virtuele energiecentrale: een veldtest met micro-wkk's

In : Verwarming & Ventilatie (2008); p.640-643

Volkskrant, 2009

Energieneutral wonen in een Eco-Iglo

In : Volkskrant, 7 maart 2009



Websites

Andis

Qbox

<http://www.andis.sk/pdf/as04flate.pdf>

4 februari 2009

Archined

Autarkie en autonomie

<http://www.archined.nl/archined/3641.html>

26 februari 2009

Architectenweb

Coevorden krijgt energieleverende woningen

http://www.architectenweb.nl/aweb/redactie/redactie_detail.asp?iNID=1874

1

6 maart 2009

CNet

Tendril: Smart grid meets Zigbee home networks, 29 juli 2008

http://news.cnet.com/8301-11128_3-10001329-54.html

17 februari 2009

Coevorden

Wonen zonder energielasten in de wijk Ossehaar in Coevorden

<http://www.coevorden.nl/web/show/id=235003>

6 maart 2009

Earthship

Wat is een earthship?

<http://www.earthship.nl/>

6 maart 2009

Essent

Onderzoek naar elektriciteitsopslag met batterij in een nieuw jasje

www.essentindexfixeerprijs.nl/index.asp?id=54&nieuwsid=323

10 maart 2009

Essent

Mobile Smart Grid

http://www.essent.nl/content/overessent/maatschap-pij/elektrisch_rijden/mobile_smart_grid.jsp

17 februari 2009

IFD bouwen

Autarkisch huis

http://www.sevrealisatie.nl/ifd/demoproj/project-pag.asp?vprojnr=02157&demo_ingediend=ingediend

26 februari 2009

Industrial-embedded

Tendril to Showcase New Residential Energy Management System at AMRA

Autovation, 2007

<http://www.industrial-embedded.com/news/db/?8499>

24 februari 2009



Advanced Metering Infrastructure (AMI)
http://www.itron.com/pages/solutions_detail.asp?id=itr_016422.xml
mei, 2009

Nieuwsbank
Huis en Tuin 2009: Eco Iglo amfibisch concept voor woning of bedrijf
<http://www.nieuwsbank.nl/inp/2009/03/05/V009.htm>
6 maart 2009

Milieucentraal
Apparaten kopen en gebruiken
<http://www.milieucentraal.nl/pagina?onderwerp=Apparaten>
24 februari 2009

Ministerie van Economische Zaken
Werking kleinverbruikersmarkt; eisen slimme meter
http://www.ez.nl/Onderwerpen/Voldoende_energie/Werking_Kleinverbruikersmarkt/Eisen_Slimme_Meter
17 februari 2009

NEDAP/MyGrid
MyGrid
www.my-grid.net
9 juli 2009

Olino
Energyhouse concept
www.olino.org/articles/2008/03/07/energyhouse-concept
6 maart 2009

Powermatcher
Powermatcher
<http://www.powermatcher.net/>
6 maart 2009

Plugwise
Plugwise
www.plugwise.com
9 juli 2009

Current
Qbox
<http://www.qurrent.com/pages/content.aspx?PageName=qbox&Language=3>
6 maart 2009

Sync
Qbox wint picnic green challenge
<http://sync.nl/qbox-wint-picnic-green-challenge>
30 januari 2009

Tendrill
<http://www.tendrillinc.com/>
17 februari 2009



Verlicht wonen

Automatische stand-by killers

http://www.verlichtwonen.nl/index.php?option=com_content&task=view&id=34&Itemid=70

24 februari 2009

Voltcraft

Voltcraft

www.voltcraft.nl

9 juli 2009

Wikipedia

Lithium-ion-accu en Loodaccu

www.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion-accu

www.wikipedia.org/wiki/Loodaccu

6 maart 2009

Zon-pv

Autonome PV_toepassingen; Castricum het zonnehuis

<http://www.xs4all.nl/~sens/toepassingen/autonoom/autotour/castricum.html>

26 februari 2009





Bijlage A Overzicht karakteristieken opslagsystemen

Hieronder wordt ter illustratie een overzicht van de karakteristieken van opslagsystemen, zoals opslagcapaciteit en kosten van de verschillende hoofdtechnieken gegeven. Deze tabel is rechtstreeks overgenomen uit het eindrapport 'Opslag van elektriciteit: Status en toekomstperspectief voor Nederland' (augustus 2008) dat binnen het programma Nieuwe Energie Onderzoek van SenterNovem door het Utrecht Centrum voor Energieonderzoek is uitgevoerd.

Tabel 7 Overzicht karakteristieken van energie opslagsystemen

Opslagsysteem	Capaciteit	Levensduur	Zelfontlading	Rendement	Ontlaadtijd	Kosten
<i>Eenheid</i>	<i>kWh</i>	<i>Cycli</i>	<i>%/mnd</i>	<i>%</i>	<i>Uur</i>	<i>€/kWh</i>
Loodzuur-batterij	1-40k	200-1.200	2-5	75-80	0,5-5	200-900
NiMH- & NiCd-batterij	1-40k	1k-3k	0,5-2	60-70	0,2-1	
Lithium batterij	15	3k-5k	1	95	0,5	500-2.500
Nas-batterij	1-50k	1k-4k	Geen	80-85	8	225-400
Zink-Bromide-batterij	50-500	1k	Geen	65-75	0,5-3	1.500
Vanadium flow-batterij	50-2k	5k-12k	Geen	80-87	1-8	100-500
Regenesys flow-batterij	120k	1k5-3k	Geen	70-85	1-8	600-3k
Metaal-lucht-batterij	1-10	100	7-10	40-50	1-8	
Vliegwielen	1-10	105-107	NB: 30-40/uur	90	NB: sec. - min.	1.500
Sypercondensatoren	1-100	105-107	20-30	90	NB: sec.	10k
SMES	0,1-3	10-tal jr.	< 1	95	NB: sec.	300-2k

Uitleg: Met SMES wordt Superconducting Magnetic Energy Storage bedoeld, oftewel opslag supergeleidende spoelen.

