



# Financiële haalbaarheid van $\mu$ -WKK met een nanogrid

Uitgave 2013



Technisch rapport ET-21





IWO Project

Zweerslaan 46  
6711GG Ede  
The Netherlands

Contact:  
Dr. R Hunik  
tel. +31 263341555  
mob. +31 644460983  
r.hunik@iwo.nl

nr. IP13P1001

# Financiële haalbaarheid van $\mu$ -WKK met een nanogrid

Auteur: R. Hunik IWO PROJECT

Datum: 9 okt. 2013  
Opdrachtgever: TVVL

© 2013 IWO Project b.v., Ede, NL.

Alle rechten voorbehouden. Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van IWO Project b.v. mag niets uit deze uitgave worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, elektronische publicatie of welke andere wijze van kopiëren dan ook.

De eventuele opdrachtgever voor het werk dat in dit document wordt gerapporteerd is bevoegd dit rapport ter inzage geven aan direct belanghebbenden bij de case waarvoor het werk is verricht.

IWO Project b.v. is niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

Dit rapport wordt uitgebracht als IWO-rapport onder inhoudelijk wetenschappelijke kwaliteitscontrole van Stichting Instituut voor Wetenschap en Ontwikkeling (Ede, NL) en voert daarmee ook het betreffende logo. Het rapport blijft qua contractuele verplichtingen voor verantwoording voor IWO Project bv.

## VOORWOORD

Sinds 10 jaar is het Instituut voor Wetenschap en Ontwikkeling (IWO) sterk betrokken bij de introductie en promotie van elektrisch vervoer in Nederland. Belangrijk is hierbij, dat dit vervoer energetisch gezien aanzienlijk zuiniger is dan het conventionele vervoer met benzine, gas of dieselmotoren. Bij de huidige toepassing van elektrische auto's wordt het bezuinigingspotentieel slecht benut, doordat de optie van elektriciteitsopwekking voor de auto in combinatie met huisverwarming ( $\mu$ -WKK: micro-warmte-kracht-koppeling) nagenoeg niet wordt toegepast. De doelstelling van het rapport is om deze toepassing nader toe te lichten en de financiële aspecten ervan globaal te vergelijken met conventionele energiehuishouding in huizen en gebruik van een conventionele (benzine) auto. Hierbij wordt aangetoond, dat bij een modale woning het energiegebruik gereduceerd kan worden tot dat van een NZEB (Nearly Zero Energy Building) huis, mits maar rekening wordt gehouden met buitenshuis gerealiseerde energiebesparingen ten behoeve van de huiseigenaar. Bij de toepassing is het gebruik van nanogrids in de elektrische huishouding zeer voor de hand liggend. Uiteindelijk leidt deze toepassing van  $\mu$ -WKK tot een grote energetische efficiëntie verbetering voor zowel de huisinstallatie als ook de auto.

De overheidsdoelstelling energieneutrale of zelfs energieopwekkende gebouwen in 2020 komt hiermee in zicht.

Ede, 26 sept 2013

## SAMENVATTING

In dit rapport wordt een  $\mu$ -WKK installatie beschreven, waarmee een modaal huis (gemiddeld elektriciteitsgebruik en gasverbruik) energieleverend kan worden. De geleverde energie kan toegepast worden om een elektrische auto (gemiddeld gebruik) te laten rijden. Voor dit huis worden het energiegebruik zonder en met  $\mu$ -WKK vergeleken. Uit de vergelijking blijkt, dat de energiebesparing en de daarmee samenhangende reductie in CO<sub>2</sub>-uitstoot groot zijn: meer dan factor 2 voor energie en een factor 5 voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het rijden.

De extra kosten voor de  $\mu$ -WKK installatie zijn bij een afschrijving over 10 jaar vergelijkbaar met de bespaarde kosten op gas, elektra en benzine. Dit impliceert, dat een energetisch zeer matig scorend huis nagenoeg zonder kosten "omgebouwd" zou kunnen worden tot een NZEB huis met een uitstekende score voor het energiegebruik. Aanbevolen wordt het technisch/financieel concept van deze  $\mu$ -WKK verder in detail uit te werken.

In de regelgeving wordt helaas geen rekening gehouden met deze wijze van scoren bij het huis met  $\mu$ -WKK en elektrische auto. Aanbevolen wordt hieraan in de toekomst meer aandacht te geven.

## INHOUD

	blz.
VOORWOORD .....	4
SAMENVATTING	2
0 Inleiding.....	7
1 Praktische en financieel aantrekkelijke uitvoering van nanogrid gestuurde energie-installatie voor modaal huis.....	9
2 Toelichting bij tabel en bijbehorende berekeningen.....	14
3 CONCLUSIES/AANBEVELINGEN .....	18
REFERENTIES .....	19

## Lijst van **SYMBOLEN**, acroniemen en afkortingen

$\mu$ -WKK	Micro- warmtekrachtkoppeling
PV	Photo- voltaïsch
HR-ketel	Hoog rendementsketel
HRe-ketel	Hoog rendementsketel met elektriciteitsopwekking
COP	Coefficient of performance
W2W	Well-to-wheel (van bron naar (kracht op de) wiel(en))
STEG-eenheid	Stoom en gas-eenheid
EV	Electric vehicle/elektrisch vervoer
FC	Fuel cell (brandstofcel)
	Rendement
NZEB	Nearly zero energy building

## **0 INLEIDING**

### **Algemeen**

In het merendeel van de huidige gebouwen (woningen, kantoren, winkels, openbare ruimten ed.) wordt energie gebruikt voor voornamelijk verwarming en elektriciteit. Deze energie wordt meestal extern aangevoerd (gas, elektriciteit), waardoor deze gebouwen "energiegebruikend" zijn. "Energieproducerende" gebouwen kunnen gerealiseerd worden door bijvoorbeeld PV-panelen en/of micro-warmte-kracht installaties te plaatsen en het teveel aan geproduceerde energie (in de vorm van elektriciteit/warmte) elders te benutten. Hierbij kan zelfs gemiddeld over bijvoorbeeld een jaar een positieve energiebalans gerealiseerd worden, met name als gerekend wordt met een netto energiebalans: ENERGIE-UIT met verrekening van daardoor gerealiseerde besparing in primaire energie minus ENERGIE-IN met verrekening van daarvoor benodigde primaire energie. Met primaire energie wordt hier bedoeld de energie, die uit fossiele brandstoffen gehaald wordt, in tegenstelling met duurzame energie als bijvoorbeeld uit wind en zon. Voor een groot aantal woningen, niet alle, is dit te realiseren, waarbij op primaire energie meer dan een factor twee bezuinigd kan worden mits overgegaan wordt op rijden met plug-in hybride auto's. Dit alles, inclusief de meerkosten voor de hybride auto, is nagenoeg kostenneutraal en zonder comfort-verlies te realiseren voor nieuwbouw of grote renovatie.

In de hoofdstukken worden achtereenvolgens de keuze van de energie-installatie, de praktische invulling hiervan, de financiële perspectieven en het besparingspotentieel behandeld.

### **Keuze van energie-installatie**

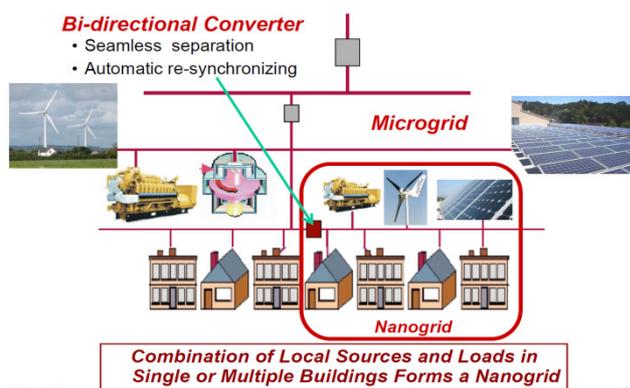
Een simpel ontwerp voor realisatie van boven genoemde energie-installatie met gunstige energiebalans kan bereikt worden door "veel PV-panelen" te installeren. Dit leidt wel tot veel onbalans in vraag/aanbod (dag/nacht, zomer/winter, bewolkte/onbewolkte periodes), waardoor naast grote oppervlakken voor de zonnepanelen kostbare elektriciteitsopslag nodig is om comfortabel gebruik van het gebouw te realiseren, ook bij toepassing van het huidige salderen. Een financieel aantrekkelijke oplossing blijkt op deze wijze moeilijk te realiseren.

Een andere oplossing kan gerealiseerd worden door naast zonnepanelen micro-warmte-kracht opwekking toe te passen. Hiervoor zou de huidige HRe-ketel toegepast kunnen worden. De onbalans van met name zomer/winter en in mindere mate dag/nacht en bewolkte/onbewolkte perioden zou dan verkleind worden. Hierdoor kan een gereduceerd oppervlak aan PV panelen ( ten opzichte van de "veel PV-panelen oplossing") toegepast worden. De prijzen van deze HRe-ketels en de relatief (in verhouding tot de

warmtelevering) geringe elektriciteitsproductie maken, dat ook deze oplossing financieel niet erg aantrekkelijk is.

De uiteindelijk meest aantrekkelijke installatie (op dit moment) bestaat uit een gasmotor met generator, een warmtepomp, een accu en een zonnepaneel, waarbij de gasmotor thermisch geïntegreerd wordt met de warmtepomp. Met name de prestaties van de warmtepomp kunnen daarbij verbeterd worden, terwijl verder ook alle componenten onafhankelijke kunnen werken om optimaal onder alle omstandigheden (zomer/winter, dag/nacht, door-de-week/weekend, aan/afwezigheid, wel/geen E-uitval) de benodigde energie te kunnen leveren. De componenten kunnen samen met gebruikerscomponenten elektrisch met elkaar verbonden worden in een zogeheten nanogrid (deze grids worden beschouwd als de kleinste zelfstandige eenheden, waarbinnen balans tussen vraag en aanbod van elektriciteit/energie geregeld wordt en die aangesloten kunnen worden op het openbare elektriciteitsnet (laag spanning). In nanogrids (zie figuur 1) kan in principe worden "gecommuniceerd" met aangesloten componenten (status doorgeven, aansturing), met gebruikers (informatie, wensen doorgeven en controle) en met openbare (smart) grids (voor verdere balancering). Hiermee kan de energiehuishouding geoptimaliseerd worden.

Deze installatie vergt een hoge mate van investeren, maar verdient zich op termijn terug.



2010 12 16

11

Figuur 1: Positie van het nanogrid in het elektriciteitsnet. Het nanogrid is "straatniveau" en is gekoppeld aan het laagspanningsnet. Dit grid kan 1 of enkele huizen/winkels betreffen.

# **1 PRAKTISCHE EN FINANCIËEL AANTREKKELIJKE UITVOERING VAN NANOGRID GESTUURDE ENERGIE- INSTALLATIE VOOR MODAAL HUIS**

## **Integratie van gasmotor en warmtepomp**

De energetische integratie van gasmotor en warmtepomp is een bekende manier om de efficiëntie van met name de warmtepomp (en daarmee de efficiëntie van de combinatie) te verhogen (ref. Gasterra). In dit rapport wordt verdergaande integratie voorgesteld, waarmee ook de efficiëntie van de gasmotor wordt verhoogd.

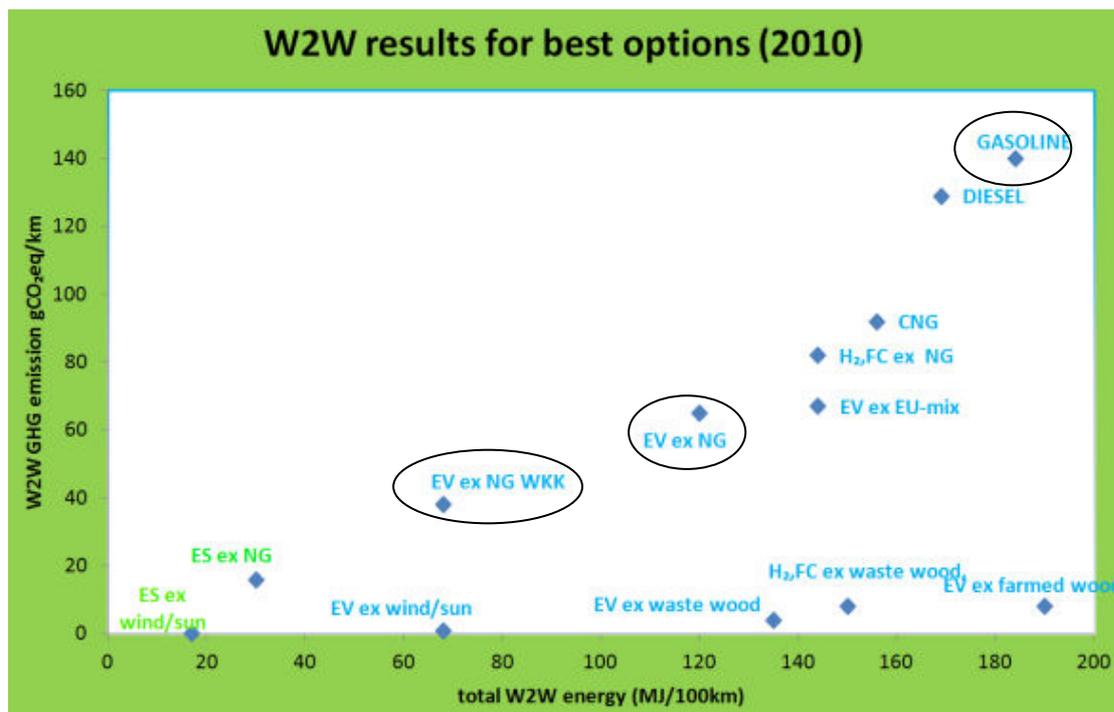
De mate van integratie van gasmotor en warmtepomp is afhankelijk van welke typen componenten hiervoor gekozen worden. De belangrijkste opties voor de keuze voor de gasmotor zijn de zuigermotor of de turbinemotor en voor de warmtepomp de absorptiepomp of de mechanische pomp. Het effect van de thermische integratie, die zowel aan inlaat als aan uitlaat van beide componenten kan plaatsvinden, kan afhankelijk van voornoemde keuze leiden tot een verhoging van de COP van de warmtepomp, alsook tot verhoging van het mechanisch/elektrisch rendement van de gasmotor. De integratie is het meest aantrekkelijk voor het goed functioneren van het totale systeem voor  $\mu$ -WKK, als dit rendement van de gasmotor zo hoog mogelijk is, bij voorkeur boven de 25 %. Bij de keuze van de gasmotor heeft dit rendement dan ook een zeer belangrijke rol gespeeld. De gekozen motor is een speciaal voor de  $\mu$ -WKK ontwikkelde verbrandingsmotor in de kW-range met een "EXlink" (grotere expansie slag dan de compressie slag (ref. Honda)), waardoor meer mechanische energie vrijkomt, die omgezet kan worden naar elektrische energie.

Het meest aantrekkelijke alternatief voor de gasmotor is de brandstofcel, die meestal een nog hoger elektrisch rendement heeft en gedeeltelijk ook geïntegreerd kan worden met een warmtepomp. Momenteel is een op aardgas werkende brandstofcel nog te duur om een financieel aantrekkelijke installatie te kunnen realiseren. Naar verwachting zal dit binnen 5 tot 10 jaar anders zijn.

## **Het effect van de combinatie met elektrisch rijden**

Het rijden met elektrische auto's is energetisch gezien veel aantrekkelijker dan het rijden met benzine auto's. Dit wordt weergegeven in onderstaande grafiek (figuur 2, ref. W2W), waarin de effecten van diverse brandstoffen voor auto's op CO<sub>2</sub>-uitstoot en energiegebruik worden vergeleken. Het betreft hier de effecten van "bron tot wiel" en daarin zitten bijvoorbeeld ook de effecten voor de productie van de brandstof. In de financiële beschouwing is bij de opstelling van de primaire energiebalans voor de productie-energie van benzine gecorrigeerd. Zichtbaar in de grafiek is, dat, wanneer elektrisch gereden wordt en de elektriciteit uit een aardgas gestookte centrale (STEG-eenheid) komt, de besparingen op CO<sub>2</sub> uitstoot en energieverbruik aanzienlijk zijn ten opzichte van een benzine auto (vergelijk punten "EV ex NG" en "gasoline). Wanneer de

elektriciteit voor het rijden wordt opgewekt in warmtekracht koppeling, zoals het geval is bij de toepassing, beschreven in dit rapport, loopt de besparing bij het autorijden op tot meer dan een factor 2 (vergelijk punten "EV ex NG WKK" en "gasoline") voor het energiegebruik en meer dan een factor 4 voor de CO<sub>2</sub> uitstoot (extra laag, omdat de energie deels duurzaam wordt opgewekt). De besparingen zijn ook zeer aanzienlijk als vergeleken wordt met rijden op diesel (punt "diesel"), op aardgas (punt "CNG"), op waterstof (punt "H<sub>2</sub>, FC ex NG") of wanneer de elektriciteit (bij elektrisch rijden) wordt gemaakt door de huidige mix van Europese (uit EU-lidstaten) centrales (punt "EV ex EU-mix").



Figuur 2: W2W resultaten met WKK-allocatie op energiebasis

De combinatie van elektrisch rijden met productie van elektriciteit in de woning is niet alleen energetisch en qua uitstoot van CO<sub>2</sub> aantrekkelijk (gebruik van afvalwarmte), maar ook financieel, omdat dure benzine vervangen kan worden door aanzienlijk goedkoper aardgas, zonne-energie en omgevingsenergie. De meerkosten voor de elektrische auto worden deels door de overheid gesubsidieerd (via ontheffing van wegenbelasting); het restant wordt in de financiële beschouwing verrekend. Hierbij is geen rekening gehouden met voordelen van verminderde bijtelling of andere subsidies ter stimulering van elektrisch rijden.

Het gebruik van de accu van de auto als opslag is in de beschouwing niet meegenomen, maar kan in noodsituaties, evenals het elders laden, een rol spelen bij waarborging van de energievoorziening in huis. Financiële voordelen hiervan zijn ook niet meegenomen in de studie.



toepassing van bovenomschreven installatie gelijk is aan nul bij gebruik van een elektrische auto. Deze balanswoning wordt ten aanzien van energiegebruik en kosten op jaarbasis vergeleken met een conventionele woning met benzineauto. Ten aanzien van de kosten voor de conventionele woning valt op dat de kosten voor benzine (vergroot aangegeven in vet) het zwaarst wegen en naar verwachting aanzienlijk zullen stijgen in de tijd, waarover afgeschreven wordt. Overheersend voor het goed functioneren van het totaal systeem is het elektrisch rendement van de gasmotor (vergroot aangegeven in vet). Als dit rendement veel lager zou zijn, dan is een "zeer tochtig huis" nodig om voldoende elektriciteit te produceren. De totaal kosten (onderstreept aangegeven in vet) voor de balans woning en de referentie woning zijn bij afschrijving over tien jaar nagenoeg gelijk. Deze kosten zullen in de loop van de tijd (latere aanschaf van installatie) naar verwachting dalend respectievelijk stijgend zijn (aangegeven met pijltjes).

Tabel 1: Energiegebruik van een balanswoning versus een woning met HR-ketel op basis van jaarcijfers inclusief vervoer

Energiegebruik		
	balanswoning	ref. modale woning
Gas in (m <sup>3</sup> )	1500	1600
EV kilometers	17.000 (24 km woonwerk, idem gebruik in weekend)	
Benzine voor 17520 km (l)		1250
PV-opbrengst (±25 m <sup>2</sup> , kWh)	3800	-
E-verbruik huis (kWh)	3000	3000
W-verbruik verwarming huis (GJ)	40	40
W-verbruik tapwater	Uit gasmotor	10
Omgevingswarmte (GJ)	9	-
Netto energie	0	

Tabel 2: Gebruikskosten (brandstofkosten/subsidies) voor een balanswoning versus een woning met HR-ketel op basis van jaarcijfers inclusief vervoer

Gebruikskosten (brandstofkosten /subsidies) (€)		
	balanswoning	ref. modaal met benzine auto
Gas	975	1040
Benzine voor 17000 km		<b>2252 ↑</b>
E-verbruik huis		630
Correctie wegenbelasting	-868 ↑	0
Totaal jaarkosten energie en correctie	107	3922 ↑

Tabel 3: Investeringskosten voor een balanswoning versus een woning met HR-ketel op basis van jaarcijfers inclusief vervoer

Investeringskosten (€)				
balanswoning			Ref. modaal met benzine auto	
Apparaat	Specificatie	Kosten	Apparaat	Kosten
Gasmotor Honda $\epsilon = 0.27$ ; $\tau = 0.92$ (bij 20 <sup>0</sup> C)	$P_E = 1 \text{ kW}; P_T = 2.5 \text{ kW};$ $P_{Tot} = 3.77 \text{ kW}$	590	HR-ketel	200
Warmtepomp (kleiner dan normaal ivm lage $\Delta T$ door deellevering)	1.5 kW; COP=4 (nodig voor verwarmingseis)	600	-	
accu	5 kWh	200	-	
zonnepanelen	3800 kWh ( $\pm 25 \text{ m}^2$ )	650 ↓	-	
Nanogrid voor regeling		200 ↓		
EV (verschil met ref. auto)	Mitsubishi Outlander EV	1160 ↓	Mitsubishi Outlander benzine	
rentekosten afschrijving (4%/jaar in hypotheek)		710		40
Totaal kosten voor investering per jaar		4110 ↓		240

Tabel 4: Totaal kosten voor een balanswoning versus een woning met HR-ketel op basis van jaarcijfers inclusief vervoer

Totaal kosten		
	Balanswoning	Referentie woning
Gebruikskosten	107	3922 ↑
Investeringskosten	4110 ↓	240
Totaal	<b>4217 ↓</b>	<b>4162 ↑</b>

#### Aannames:

Aardgas: calorische waarde (stookwaarde): 31,6 MJ/m<sup>3</sup> (8,8 kWh), kosten: € 0,65/m<sup>3</sup>

Elektriciteit: kosten: €0,21/kWh; EV verbruik: 210 Wh/km

Benzine: calorische waarde 35 MJ/l, verhoging bij berekening primaire energie voor gebruik van benzine in verband met de productie en transport van benzine: 3 MJ/l, kosten: € 1,80/liter; autoverbruik: 14 km/l

Vastrecht gas/elektra in alle gevallen hetzelfde en daarom niet in tabel.

## 2 TOELICHTING BIJ TABEL EN BIJBEHORENDE BEREKENINGEN

### **Koppeling naar lokaal net**

Voor het realiseren van de netto nul energiebalans moet een substantieel deel duurzame energie opgewekt worden met zonnepanelen (toepassing van ± 25 m<sup>2</sup> panelen). Deze energie wordt voor een groot deel in de winter gebruikt. Hierbij accu's toepassen als elektriciteitsopslag is te duur. De wettelijk verplichte aansluiting op het lokale elektriciteitsnet wordt in de balanswoning gebruikt voor het gratis salderen van 5000 kWh (huidige regeling). Bij salderen zijn er geen kostenverschillen tussen afgenomen en terug geleverde kWh via de elektriciteitsaansluiting. Een klein accusysteem blijft nodig om te voorkomen, dat meer dan 5000 kWh gesaldeerde moet worden (in verband met de zeer vaak optredende (kortere) tijdverschillen tussen opwekking en gebruik).

### **Gebruik van primaire energie ("brandstofenergie")**

Voor de balanswoning wordt aan primaire energie gebruikt: 47,4 GJ; voor de referentie woning is dit 122 GJ. De reductie in dit gebruik bedraagt een factor 2,6. Het primair energiegebruik voor levering/productie van brandstoffen en voor levering van de investeringsgoederen beïnvloedt slechts in geringe mate nog bovengenoemde factoren, omdat met de grootste correctie (productie van de benzine) rekening is gehouden. De reductie in primaire energie komt overeen met een reductie van 2300 m<sup>3</sup> aardgas per jaar. (Nb.: de 2300 m<sup>3</sup> vermenigvuldigd met het aantal huishoudens in Nederland en vermenigvuldigd met ongeveer 20 jaar komt overeen met de hoeveelheid schaliegas, die verwacht wordt aanwezig te zijn in Nederland)

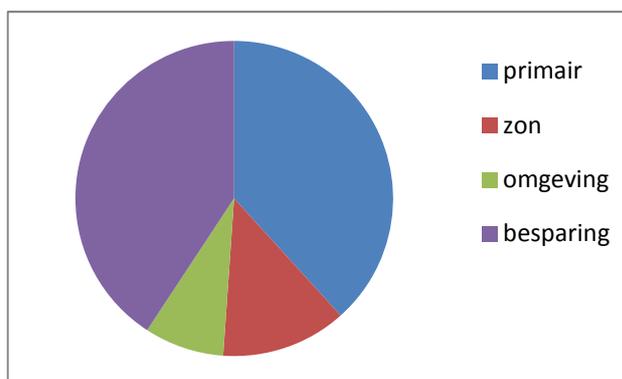
Deze reductie wordt verkregen door opwekking van duurzame energie enerzijds en anderzijds door besparing op gebruik van primaire energie.

### Opwekking van duurzame energie

De duurzame energie wordt in het voorbeeld verkregen door gebruik te maken van conventionele technieken. Dit zijn de toepassing van zonnepanelen (levert 15,7 GJ elektrische energie) en een warmtepomp (levert 9 GJ warmte energie). De levering van warmte door de warmtepomp wordt versterkt (COP verhoging door verlaging van temperatuurverschil over warmtepomp) door de koelwaterwarmte en de warmte in de uitlaatgassen van de gasmotor te benutten.

### Besparing van primaire energie

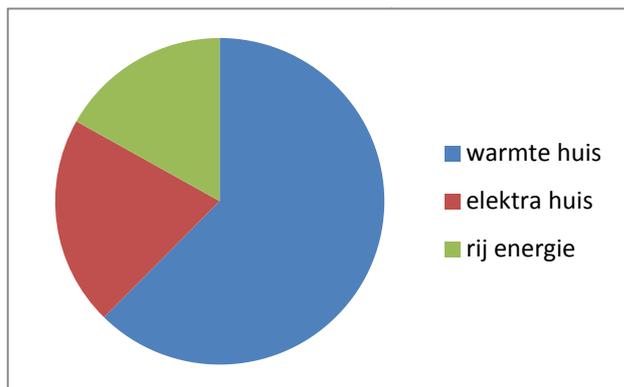
De wijze, waarop de primaire energie wordt gereduceerd, is weergegeven in figuur 4. Hierbij wordt in de auto de meeste energie bespaard door geen voor het rijden nutteloze warmte te produceren, zoals dat nu wel gebeurt in auto's met benzine motoren. Dit komt door het lage rendement van deze motoren; zie grafiek "bron naar wiel". Daarnaast wordt primaire energie bespaard door bij de opwekking van elektriciteit door de gasmotor nagenoeg alle warmte in huis weer te benutten en wordt verdere primaire energiereductie verkregen door toepassing van zonnepanelen en gebruik van omgevingswarmte. Meer besparing van primaire energie is mogelijk door duurzame brandstoffen voor de gasmotor toe te passen, maar nu is dit nog te duur en is de gasmotor daarop nog niet geoptimaliseerd.



Figuur 4: Energiebesparing (in auto; in E-centrale; in raffinage en vervoer voor benzinelevering) door gebruik van zonne-energie, energie uit de lucht (omgeving) en slimmer gebruik (besparing). In blauw staat het restant primaire energie weergegeven; de figuur is berekend aan de hand van het in de tabellen gegeven voorbeeld en geeft een indicatie voor vergelijkbare situaties

Het gebruik van de energie, die wordt geproduceerd in de balanswoning wordt in figuur 5 weergegeven. Zo'n grafiek zou gebruikt kunnen worden bij het toeschrijven van de primaire energie (en CO<sub>2</sub> uitstoot) van de balanswoning aan de toepassingswijze ervan.

Als dat gedaan wordt ten aanzien van de CO<sub>2</sub> uitstoot bij het rijden, wordt een reductie ten opzichte van rijden met een benzine auto verkregen van bijna een factor 10.



Figuur 5: Gebruik van energie (indicatief)

### Flexibiliteit van energie levering

In de tabel ligt de nadruk vooral op de jaarlijkse energievoorziening en de daarbij behorende jaarlijkse kosten. Echter de gebruiker wenst dagelijkse aanpassing van energielevering aan de hand van zijn wensen rekening houdend met weersomstandigheden, gebruikspatronen, ziekten, vakantie, calamiteiten, enz.. Dit vereist, dat levering van elektriciteit en warmte op ieder moment (binnen grenzen) geregeld moet kunnen worden. Hiervoor is een opweksysteem met een zeer hoge mate van flexibiliteit vereist.

De flexibiliteit in elektriciteitslevering wordt verkregen door:

- aansluiting op het lokale elektriciteitsnet: dit is nodig onder andere in verband met saldering
- toepassing van accu's, die nodig zijn voor het beperken van de saldering tot minder dan 5000 kWh, voor snelladen van een auto-accu en voor netuitval: dan zijn accu's nodig voor het garanderen van de werking van de systeemsturing en onder andere de gasklep bediening
- toepassing van een gasmotor, nodig om de elektriciteitsopwekking energiezuinig te doen, om geen netto energiegebruik uit het elektriciteitsnet te hebben en om langdurige stroomuitvalperioden van het net te overbruggen.

De flexibiliteit in de warmtelevering wordt verkregen door zowel de gasmotor, die restwarmte levert, als de warmtepomp intermitterend te gebruiken en te zorgen voor het minimaal vereiste verwarmingsvermogen, dat voor het huis nodig is. Intermitterend gebruik is mogelijk, omdat ook in de winter beide systemen niet continu hoeven te draaien. Geschat wordt, dat de gasmotor inzet maximaal 60 % is en dat de warmtepomp inzet maximaal 20 % is.

In een aantal gevallen, zoals gasmotor uitval of lege accu's kan altijd nog van de aansluiting op het lokale net gebruik gemaakt worden voor (beperkte) opwekking van warmte met de warmtepomp.

### **Het nanogrid**

De combinatie van apparaten en aansluitingen moet ervoor zorgen, dat aan de wensen van de gebruiker ten aanzien van zowel zijn warmte- en elektriciteitsgebruik als ook ten aanzien van zijn financiële verwachtingen voldaan kan worden. Aansluiting van deze apparatuur op een (eigen) netwerk (zowel wat betreft energie uitwisseling als ook voor communicatie van apparatuurstatus) en sturing van de apparatuur gekoppeld aan dit netwerk is daarvoor vereist. Nanogrids zijn netwerken, die hiervoor zeer geschikt zijn. De keuze voor een DC-grid is gedaan uit overwegingen van besparing van conversieverliezen (AC-DC en DC-AC) en besparing van converters (centrale conversie-eenheid in plaats van aparte conversie-eenheden voor accu's, PV-panelen, gasmotor enz.). Het toepassen van DC-spanning en het gebruik van accu's vereisen extra aandacht voor beveiliging (elektrisch en thermisch), waarbij de keuze van het DC-spanningsniveau naar verwachting niet afgestemd kan worden met het DC-accu-niveau in de auto (te hoge spanning). Dit kan leiden tot een dure converter in de situatie, dat snelladen van de auto-accu gewenst is.

### **Toekomstige relevante ontwikkelingen**

De mate, waarmee elektriciteit gesaldeer kan worden, is momenteel beperkt. In de nabije toekomst wordt dit naar verwachting onbeperkt mogelijk. Dit impliceert, dat het toepassen van accu's minder noodzakelijk wordt (alleen klein systeem nodig voor elektriciteitsuitval en DC-buffering van energie). Dit levert een financiële besparing voor de balanswoning.

Nagegaan zou kunnen worden, of het totale rendement van de gasmotor verhoogd kan worden door toepassing van gebruik van condensatie-energie van water in de uitlaat van deze motor (zoals bij een HR-ketel).

Voor de toegepaste  $\mu$ -WKK is een hoog omzettingsrendement naar elektrische energie van groot belang. Hiervoor is bij DLR (ref. DLR) een ontwikkeling gestart, waarbij een nieuw type motor (OPOC-motor) gecombineerd wordt met een lineaire generator. Door de OPOC toepassing worden trillingen onderdrukt (aantrekkelijk voor toepassing in huis) en is toepassing van duurzame ethanol mogelijk. Voor de lineaire generator is geen draaiende (krukas) beweging meer nodig, die bij conventionele motoren tot veel verlies en meer onderhoud leidt. Alleen de heen en weer gaande beweging van de zuiger wordt gebruikt (met aan die beweging gekoppelde magneten en daaromheen (stilstaande) spoelen) om elektriciteit op te wekken. Dit resulteert in een aanzienlijke verhoging van het elektrisch rendement. Dit kan ertoe leiden, dat:

- bij huizen met minder warmtebehoefte (dan in hier beschreven voorbeeld) de toepassing van de verbeterde  $\mu$ -WKK ook mogelijk is
- er meer duurzame warmte met de warmtepomp opgewekt kan worden

- minder/geen PV-panelen meer toegepast hoeven te worden
- de kosten voor de balanswoning verder omlaag gaan.

De ontwikkeling bij DLR heeft al geresulteerd in een werkend prototype van 8 kW, waarvan de (berekende) kosten aanzienlijk lager zijn dan van de in dit rapport genoemde gasmotor. Opschaling wordt voorzien naar ongeveer 20 kW systemen om de plug-in markt voor elektrische auto's te voorzien van efficiënte range extenders. Verkleining van schaal is niet voorzien, maar zou voor de  $\mu$ -WKK markt aantrekkelijk kunnen zijn, mits de verliezen bij randapparatuur ook verkleind kunnen worden.

### 3 CONCLUSIES/AANBEVELINGEN

- De toepassing van micro-warmtekracht in combinatie met elektrisch rijden kan voor huishoudens leiden tot een zeer aanzienlijke reductie van het gebruik van fossiele brandstoffen, meer dan factor 2, en reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot, meer dan factor 3
- De energetische integratie van een gasmotor en een warmtepomp maakt, dat de warmtekracht koppeling efficiënter wordt dan de gebruikelijke koppeling, waarbij restwarmte van de gasmotor alleen direct voor verwarmingsdoeleinden wordt gebruikt
- De globale kosten voor de  $\mu$ -WKK opstelling met geïntegreerde gasmotor/warmtepomp bij toepassing van elektrisch rijden is vergelijkbaar met de thans gebruikelijke HR-ketel met benzineauto bij een afschrijftermijn van 10 jaar
- De vereiste optimalisatie voor de geïntegreerde energie installatie kan naar verwachting goed gerealiseerd worden in combinatie met een nanogrid
- De vereiste flexibiliteit voor levering van warmte en elektriciteit kan bereikt worden zonder comfort verlies voor de gebruiker van de geïntegreerde installatie.
- De toepassing van  $\mu$ -WKK in een conventioneel NZEB huis is vanwege de goede thermische isolatie en de daarbij behorende lage vraag naar warmte weinig zinvol: weinig warmte resulteert in weinig kracht voor elektriciteitsopwekking bij  $\mu$ -WKK
- Aanbevolen wordt het technisch/financieel concept van deze  $\mu$ -WKK verder in detail uit te werken.
- In de regelgeving wordt helaas geen rekening gehouden met de in dit rapport behandelde methode om reductie van primaire energie te realiseren. In samenhang met de regels voor conventionele NZEP woningen en andere energiezuinige woningen zouden regels voor deze wijze van energiebesparen opgesteld moeten worden. Aanbevolen wordt hieraan op korte termijn meer aandacht aan te geven.

## REFERENTIES

- [1] Honda: <http://world.honda.com/powerproducts-technology/exlink/>
- [2] W2W: IPbv presentatie (gebaseerd op W2W analyses door EUCAR, Joint Research center Ispra, CONCAWE) in kader van ITM rapportage naar Agentschap.NL
- [3] Gasterra: <http://www.gaswarmtepompboek.nl/> hoofdstuk 4.1, figuur 2
- [4] DLR: <http://www.sae.org/mags/sohe/12284> of <http://www.greencarcongress.com/2013/02/dlr-20120220.html>



Korenmolenlaan 4  
3447 GG Woerden  
Telefoon: 088 401 06 20

[info@tvvl.nl](mailto:info@tvvl.nl) | [www.tvvl.nl](http://www.tvvl.nl)

