



MNP Rapport 500083003/2006

Micro-warmtekracht en de virtuele centrale

Evaluatie van transitie op basis van systeemopties

H.E. Elzenga, J.A. Montfoort, J.P.M. Ros

Contact:

Johanna Montfoort

Nationale Milieubeleidsevaluatie en Duurzaamheid (NMD)

johanna.montfoort@mnp.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Directie MNP

Abstract

Evaluating transitions: the micro co-generation systems option and the virtual power plant

Micro co-generation systems (micro CHPs) provide heat and electricity on the household scale. Compared to separate generation of heat in a central heating system and electricity in a power plant, micro CHPs use less fuel and therefore produce lower emissions of CO₂ and NO_x.

Among the techniques that can be used in micro-CHPs are the Stirling engine, the gas engine and the fuel cell. Engine-based micro-CHPs have now been sufficiently developed to be allowed on the market; this is expected to take place around 2008. There is a chance that production capacity for micro-CHPs will be allocated to the Netherlands. Although fuel cell systems have a higher electrical efficiency than engine-based systems, they are still in development and not expected on the market in the next 5 to 10 years.

The extent of energy-saving and emission reduction will depend on the number of CHP systems sold, the heat demand in households and the efficiencies of both CHP and the reference technologies. Based on the realisation of 4.1 million CHP systems in 2030 (anticipated by manufacturers and considered as a maximum potential) – compared with separate production in high-efficiency central heating systems and high-efficiency gas-fired power plants – micro-CHPs can save up to 55 PJ. This comes to almost 3 megatonne CO₂ and 5 kilotonne NO_x. These numbers can vary if the efficiencies in 2030 deviate from the efficiencies used in the calculations.

In the future, large numbers of micro-CHPs, along with windmills and photovoltaic systems, could be connected to form a so-called ‘virtual power plant’ (VPP). This plant can be operated with the aid of software to match electricity demand and supply, which could lead to more security of supply and lower investment costs for power companies. However, the possible benefits of such a VPP have not yet been proven.

The Dutch energy transition policy has both enhanced the visibility of the micro-CHP and been instrumental in bringing parties involved in developing and manufacturing this technique into closer cooperation. However, the government does not actively stimulate the introduction of micro-CHP, neither with norms or obligations, nor with financial incentives.

Key words: micro-CHP, Virtual Power Plant, VPP

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	11
1.1 Evaluatie van transitiebeleid	11
1.2 De systeemoptie micro-warmtekracht	12
1.3 Werkwijze en leeswijzer	12
2 Beschrijving van de systeemoptie micro-warmtekracht	15
2.1 Korte schets van het basisidee	15
2.2 Productiestructuur	15
2.3 Consumptie	18
2.4 Instituties	18
2.5 Ruimtelijke invulling	19
2.6 Belangrijke spelers	19
2.7 Relatie met andere systeemopties	20
3 Beoordeling van de potentiële effecten van micro-warmtekracht	21
3.1 Mogelijke sociale effecten in Nederland	21
3.2 Mogelijke economische effecten in Nederland.....	21
3.3 Mogelijke ecologische effecten	22
4 Resultaten van activiteiten in de voorontwikkelingsfase	29
4.1 Ontwikkelen probleempceptie / sense of urgency	29
4.2 Toekomstvisie / sense of opportunity	29
4.3 R&D	32
4.4 Experimenten in de praktijk.....	34
4.5 Samenhang tussen de activiteiten	37
5 Motivatie voor systeemverandering	41
5.1 Recente gebeurtenissen en acties	41
5.2 Krachtenveldanalyse	42
6 Conclusies	51
Referenties	57

Samenvatting

Met het Nationaal Milieubeleidsplan 4 hebben transitieprocessen in het milieubeleid meer aandacht gekregen. Het gaat om ingrijpende veranderingen op de lange termijn met grote milieuwinst als doel. Het Milieu- en Natuurplanbureau heeft het proces van de afgelopen jaren en de rol van het Nederlandse beleid daarin geëvalueerd voor een van de opties voor het toekomstige systeem: micro-warmtekrachtkoppeling (micro-WKK). Een micro-WKK is de gecombineerde opwekking van warmte en elektriciteit op de schaal van een huishouden. De micro-WKK-potentiëlen zijn niet vergeleken met die van andere mogelijke technieken voor de opwekking van warmte en elektriciteit in de toekomst.

Relevante doelstellingen op de lange termijn

Micro-WKK zou een bijdrage kunnen leveren aan de volgende langetermijndoelstellingen:

- In het kader van het energiebesparingsbeleid streeft het kabinet naar een energiebesparingstempo van 1,5% per jaar vanaf 2012.
- In het kader van het klimaatbeleid streeft het kabinet naar reducties van broeikasgasemissies in 2050 van 50% ten opzichte van 1990.
- In het kader van het Europese luchtkwaliteitsbeleid zijn voor NO_x-emissies nog geen doelen voor de lange termijn aangegeven, maar in het kader van de Thematische Strategie wordt voor 2020 voor Nederland een plafond van 201 kton voorgesteld.

Betekenis van micro-WKK voor het behalen van de doelen

- Voor micro-WKK komt een aantal technologieën in aanmerking. Dit zijn de Stirlingmotor, de gasmotor en de brandstofcel. Micro-WKK's gebaseerd op de Stirling- en de gasmotor worden bijna rijp geacht voor marktintroductie. Voor brandstofcelsystemen – die een hoger elektrisch rendement hebben – wordt verwacht dat introductie pas over 5 tot 10 jaar zal kunnen plaatsvinden.
- De gepresenteerde energiebesparings- en emissiereductiepotentiëlen (CO₂ en NO_x) van micro-WKK zijn gebaseerd op 4,1 miljoen installaties; dit aantal kan volgens fabrikanten van micro-WKK in een hoge groeivariant in 2030 zijn geplaatst. Het kan worden beschouwd als een maximaal potentieel, bij gunstige ontwikkelingen ten opzichte van de HR en andere verwarmingstechnieken, zoals de warmtepomp. De besparings- en reductiepotentiëlen zijn verder gebaseerd op een door een consortium van energieonderzoeksbureaus veronderstelde ontwikkeling van de rendementen en emissiefactoren van micro-WKK en die van de technologieën waarmee vergeleken wordt (HR-ketel en elektriciteitscentrales).
- Op basis van de gekozen uitgangspunten is het energiebesparingspotentieel in vergelijking met gescheiden opwekking van warmte met een HR-ketel en elektriciteit met een elektriciteitscentrale als volgt:

Jaar	Referentie	Besparing in PJ	Besparingstempo micro-WKK 2020 – 2030 (%/jaar)	
			t.o.v. huishoudelijk primair energiegebruik in 2030	t.o.v. Nederlands totaal primair energiegebruik in 2030
2030	Efficiënte gascentrale	55	0,7	0,1
	Gemiddelde park	97	1,1	0,2

- Op basis van de gekozen uitgangspunten is het CO₂-emissiereductiepotentieel in vergelijking met gescheiden opwekking van warmte met een HR-ketel en elektriciteit met een elektriciteitscentrale als volgt:

Jaar	Referentie	Emissiereductie in Mton CO ₂ -eq/jaar	Relatieve reductie micro-WKK (%)	
			t.o.v. huishoudelijke CO ₂ -emissie in desbetreffende jaar (inclusief emissie t.g.v. elektriciteitgebruik)	t.o.v. Nederlandse CO ₂ -emissie in 2030
2030	Efficiënte gascentrale	2,8	8,6	1,1
	Gemiddelde park	9,8	20,2	3,8

- Een keuze voor micro-WKK leidt tot een lagere centrale elektriciteitsproductie en vermindert daarmee het reductiepotentieel van ondergrondse CO₂-opslag bij elektriciteitscentrales. Met CO₂-opslag kan een hogere emissiereductie worden bereikt. Het extra energiegebruik voor CO₂-opslag maakt daarentegen het verschil in totaal energiegebruik ten gunste van micro-WKK nog groter. Bij centrale productie van waterstof als brandstof voor micro-WKK met CO₂-opslag verandert dit plaatje weer.
- Op basis van de gekozen uitgangspunten is het NO_x-emissiereductiepotentieel in vergelijking met gescheiden opwekking van warmte met een HR-ketel en elektriciteit met een elektriciteitscentrale als volgt:

Jaar	Referentie	Emissiereductie in kton NO _x	Relatieve reductie micro-WKK (%)	
			t.o.v. huishoudelijke NO _x -emissie in desbetreffende jaar (inclusief emissie t.g.v. elektriciteitgebruik)	t.o.v. Nederlandse NO _x -emissie in 2030
2030	Efficiënte gascentrale	4,6	29	2
	Gemiddelde park	5,6	30	2

- Grote aantallen micro-WKK's die aan het elektriciteitsnet terugleveren kunnen samen met duurzame bronnen en grotere WKK-installaties worden opgenomen in een digitaal netwerk en centraal worden aangestuurd. Dit wordt aangeduid als een 'virtuele centrale'. Voor- en nadelen van de virtuele centrale moeten nog in de praktijk worden onderzocht.

Beoordeling van het proces en de rol van het Nederlandse beleid

- Micro-WKK was al voor het jaar 2000 in beeld. Het energietransitiebeleid heeft bijgedragen aan de totstandkoming van een groot aantal samenwerkingsverbanden en de zichtbaarheid van micro-WKK versterkt.
- Na 2000 heeft met betrekking tot Stirling-WKK een ontwikkeling plaatsgevonden van demonstratie-eenheden met enkele installaties naar projecten op systeemniveau en voorbereiding van massaproductie. Deze ontwikkeling heeft ertoe geleid dat de techniek momenteel ver genoeg is ontwikkeld om op de markt te worden geïntroduceerd.
- De grote commerciële belangen van fabrikanten en onderzoekers verhinderen een open communicatie over de voor- en nadelen van micro-WKK. Met name de technische prestaties en resultaten van praktijkexperimenten worden in beperkte mate openbaar gemaakt en met elkaar gedeeld.
- Een belangrijke belemmering voor introductie is dat de consumenten energiebelasting moeten betalen over elektriciteit die zij tijdelijk aan het net leveren en vervolgens weer afnemen, terwijl ze al energiebelasting over het gebruikte gas hebben betaald (dubbele energiebelasting). Een andere belemmering is dat de verwachte aankoopprijs van een micro-WKK installatie bij marktintroductie nog enkele malen hoger zal zijn dan de prijs van het huidige alternatief, een HR-ketel. Het is daarom de vraag of deze aankoopprijs, afgezet tegen de jaarlijkse kostenbesparing op de elektriciteitsrekening, aantrekkelijk zal zijn voor consumenten.
- De overheid zet momenteel geen instrumenten in om de marktintroductie te stimuleren: noch met normen of verplichtingen, noch met ondersteunende financiële prikkels zoals aanschafsubsidies.
- Voor de ontwikkeling van brandstofcellen speelt Nederland een relevante rol in Research&Development (R&D). Dit onderzoek wordt financieel door de overheid ondersteund.
- Een eventuele grootschalige introductie van Stirling-WKK op korte termijn zal een toekomstige introductie van brandstofcel-WKK op lange termijn waarschijnlijk niet belemmeren. De vervangingssnelheid van verwarmingsinstallaties maakt dat de markt niet voor tientallen jaren 'dicht' zal zitten. Ook is het niet waarschijnlijk dat de intensiteit van het ontwikkelingswerk aan de brandstofcel negatief wordt beïnvloed door de marktintroductie van de Stirling-WKK. Voorwaarde voor een succesvolle introductie van brandstofcel-WKK is wel dat deze qua prestaties duidelijke voordelen biedt ten opzichte van Stirling-WKK en er voldoende prikkels uitgaan van het milieubeleid.
- Het zal waarschijnlijk nog geruime tijd duren voordat de virtuele centrale ver genoeg is ontwikkeld om te kunnen worden geïntroduceerd, ook omdat grootschalige introductie waarschijnlijk pas kan plaatsvinden als de brandstofcel-WKK voldoende is gepenetreerd en systemen voor warmteopslag voldoende zijn ontwikkeld.

1 Inleiding

1.1 Evaluatie van transitiebeleid

In 2001 heeft het vierde Nationaal Milieubeleidsplan (NMP4) een beleidsimpuls gegeven aan het denken in termen van systeemverandering op de lange termijn om hardnekkige milieuproblemen de baas te kunnen. Het heeft ook diverse beleidsacties in gang gezet, die invulling hebben gegeven aan het begrip transitie management in de context van duurzame ontwikkeling. Inmiddels is een interdepartementale directie voor de energietransitie in het leven geroepen, waardoor de breedte in de systeemopties – het gaat immers dikwijls over sectoren heen – beter kan worden aangestuurd. In overleg met alle betrokken ministeries is afgesproken dat het Milieu- en Natuurplanbureau in 2006 een eerste evaluatie uitbrengt van de voortgang van het transitieproces en de rol van het beleid daarin.

Het werken aan een beter systeem op de lange termijn heeft met het NMP4 weliswaar extra aandacht gekregen, maar het is er niet mee begonnen. Er liepen al tal van onderzoeksprogramma's en experimenten, er waren vele ideeën over nieuwe institutionele vormgeving en er was al veel beleid dat daar direct of indirect invloed op had. Het heeft geen zin de ontwikkelingen van de laatste jaren te beschouwen zonder deze context. Er is ook afgesproken dat het uitgangspunt voor deze evaluatie de voortgang van de processen in de praktijk zou zijn en dat daarbij wordt aangegeven welke prikkels er vanuit het beleid aan zijn gegeven en hoe effectief die zijn geweest.

In de voorontwikkelingsfase zijn transities doelzoekende processen. Zonder duidelijke doelen is het lastig evalueren, tenzij de evaluator een participerende en faciliterende rol neemt in een leerproces. Deze rol past niet bij het MNP als onafhankelijk planbureau. Er is gezocht naar een aanpak waarbij de evaluatie kan worden toegespitst op onderdelen van het transitieproces waarvoor inmiddels wel min of meer concrete doelstellingen zijn geformuleerd. Dat heeft geleid tot de keuze om systeemopties als uitgangspunt voor de evaluatie te nemen. Een systeemoptie schetst een deel van het toekomstige systeem, zoals dat zou kunnen worden. Het vormt een potentieel doel. De evaluatie richt zich op het proces om deze systeemoptie te realiseren. Bij de formulering van de eindconclusies dient te worden bedacht dat het proces moet worden afgestemd op andere processen, waarin mogelijke alternatieven worden ontwikkeld. De keuze voor een specifieke systeemoptie geeft de evaluatie wel het nodige houvast.

Binnen het MNP is een evaluatiemethodiek ontwikkeld die een leidraad vormt voor de evaluatie en bouwstenen aandraagt voor te hanteren methoden en modellen (Ros et al., 2006). Hoewel het proces en de rol van het beleid daarin centraal staan, wordt ook een eerste beoordeling van de mogelijke effecten bij realisatie van de systeemoptie gegeven, ook al omdat deze mogelijke effecten van invloed zijn op de houding van diverse actoren ten opzichte van de systeemoptie en daarom niet los kunnen worden gezien van het proces.

De evaluatie van de systeemoptie micro-warmtekracht is onderdeel van een reeks van zes systeemopties, die worden geanalyseerd. De andere systeemopties, waarvan de evaluaties eveneens in 2006 gepubliceerd worden, zijn:

- Vloeibare biobrandstoffen;
- Groene diensten in de landbouw;
- Groene grondstoffen;
- Visvoer voor viskweek;
- Brandstofcelauto op waterstof verkregen uit zonthermische krachtcentrales (CSP).

Ook zal er, op basis van deze zes rapporten, een samenvattend evaluatierapport over transities worden uitgebracht.

1.2 De systeemoptie micro-warmtekracht

In dit rapport worden de activiteiten rondom de systeemoptie ‘micro-warmtekracht’ beschreven en het beleid rondom deze systeemoptie beoordeeld. Micro-warmtekracht (ook wel aangeduid met micro-WKK, micro-WK of μ -WKK) is als systeemoptie gekozen omdat dit één van de geselecteerde transitiepaden is in het transitiebeleid van het ministerie van Economische Zaken, onder het transitieplatform ‘Nieuw Gas’. Micro-WKK kan een bijdrage leveren aan energiebesparing en de reductie van CO₂- en NO_x-emissies. Hoe groot die besparingen en reducties kunnen zijn, hangt af van de technische invulling van de systeemoptie, maar ook van de technologieën waarmee grootschalige introductie van micro-WKK wordt vergeleken (de referentie).

De gegevens in dit rapport zijn gebaseerd op literatuuronderzoek en vijf interviews met actoren die bezig zijn met micro-WKK vanuit de functies producent, energiebedrijf, wetenschap, maatschappelijke organisatie en intermediaire organisatie.

1.3 Werkwijze en leeswijzer

Er is gebruik gemaakt van de door het MNP opgestelde evaluatiemethodiek voor transities en de daarin aangegeven bouwstenen. Het rapport waarin deze evaluatiemethodiek is vastgelegd (Ros et al., 2006) is te vinden op de website van het MNP.

In de eerste plaats is een beschrijving en vooral de afbakening van de beschouwde systeemoptie van belang. Dit gebeurt in hoofdstuk 2. Het gaat om een samenhangend geheel van technieken, processen, instituties en structuren. De mogelijke effecten van de systeemoptie bepalen mede de houding van diverse actoren, daarom wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op de effecten, met speciale aandacht voor de effecten op energiebesparing, CO₂- en NO_x-emissies.

Milieubeleids-evaluaties worden veelal gebaseerd op de monitoring van emissies, milieukwaliteit en zo mogelijk, effecten. In het geval van de lopende transitieprocessen is dit niet zo

zinnig. De beoogde veranderingen in deze grootheden worden pas op de lange termijn bereikt. Beleid dient zich eerst te richten op de voorontwikkeling van dat veranderingsproces. Daarin zijn vier typen activiteiten verondersteld:

- het ontwikkelen van een gevoel van urgentie op basis van een probleemperceptie;
- het ontwikkelen van een gezamenlijke toekomstvisie;
- onderzoek en ontwikkeling van nieuwe technologie en nieuwe instituties;
- experimenten in de praktijk met onderdelen van het nieuwe systeem of het inrichten van niches.

In hoofdstuk 4 worden de feitelijke ontwikkelingen in de voorontwikkelingsfase van de transitie van de afgelopen jaren op een rij gezet. Nagegaan wordt wat er op die punten de afgelopen jaren is gebeurd en welke beleidsacties daarop gericht zijn geweest. In dit hoofdstuk wordt ook ingegaan op de samenhang tussen deze ontwikkelingen. Hierbij wordt vooral beschouwd in hoeverre de cyclus van visievorming→Research&Development→experimenten, die gericht is op de lange termijn, spoort met de cyclus van actiegerichtheid→creëren van markten en niches, die gericht is op de korte termijn.

In hoofdstuk 5 wordt nagegaan in hoeverre de activiteiten in de voorontwikkelingsfase en het gevoerde overheidsbeleid de motivatie vergroten om tot daadwerkelijke systeemverandering over te gaan. Daartoe worden cruciale acties geïdentificeerd die zouden kunnen leiden tot de beslissing om te investeren in productiecapaciteit. In krachtenveldanalyses worden al deze factoren samengebracht.

In hoofdstuk 6 worden conclusies getrokken over de mogelijke effecten, de voortgang van het proces en de invloed van het Nederlandse beleid daarop.

2 Beschrijving van de systeemoptie micro-warmtekracht

2.1 Korte schets van het basisidee

Een micro-warmtekrachtsysteem (micro-WKK) is de gecombineerde opwekking van warmte en elektriciteit op de schaal van een huishouden. Het systeem komt in de plaats van de huidige verwarmingsketel. Het idee is dat met het systeem de totale warmtevraag van één huishouden wordt opgewekt, en tevens (een deel van) de benodigde elektriciteit. Ten opzichte van een situatie waarin de warmte met een HR-ketel en de elektriciteit in een elektriciteitscentrale wordt opgewekt, kan een micro-WKK besparen op het gebruik van primaire energie (brandstof). Dit komt vooral doordat in de meeste elektriciteitscentrales 45 tot 60% van de energie-inhoud van de ingezette brandstof in de vorm van warmte verloren gaat. Doordat bovendien bij micro-WKK warmte en elektriciteit daar worden opgewekt waar het wordt gebruikt, zijn er anders dan bij centrale elektriciteitsproductie nauwelijks transportverliezen. Door de besparing op brandstof kunnen ook de CO₂- en NO_x-emissies lager zijn.

Er bestaan ideeën om in de toekomst micro-WKK-systemen en eventueel andere decentrale elektriciteitsopwekkers, zoals windmolens en zonnecellen, te koppelen tot 'virtuele centrales'. In een dergelijk systeem worden de deelnemende installaties geheel of gedeeltelijk centraal aangestuurd om elektriciteitsvraag en -aanbod met elkaar in evenwicht te brengen. Mogelijke voordelen van virtuele centrales zijn dat de leveringszekerheid toeneemt en dat de centrale capaciteit kan worden beperkt. De virtuele centrale is echter nu nog vooral een theoretisch concept, waarmee op bescheiden schaal wordt geëxperimenteerd. De mogelijke voordelen moeten dan ook nog in de praktijk worden bewezen.

2.2 Productiestructuur

Technieken voor de micro-WKK-eenheden

Er is een aantal verschillende typen micro-WKK-systemen voor huishoudelijk gebruik in ontwikkeling. De Nederlandse markt spitst zich voornamelijk toe op: de Stirlingmotor, de gasmotor, de polymere brandstofcel (PEMFC) en de vast oxide brandstofcel (SOFC).

De *Stirlingmotor* is een externe verbrandingsmotor waarbij de cilinder met werkgas (bijvoorbeeld helium) van buitenaf verhit wordt. De warmte van een externe warmtebron – bijvoorbeeld een brander zoals ook in HR-ketels wordt toegepast - wordt omgezet in mechanisch vermogen dat met behulp van een generator wordt omgezet in elektrisch vermogen (Novem, 2002). Micro-WKK-installaties op basis van deze techniek worden naar verwachting binnen 1 à 2 jaar op de markt geïntroduceerd.

De *gasmotor* is een gewone zuigerverbrandingsmotor zoals ook in voertuigen wordt toegepast. In een gasmotor wordt meestal aardgas als brandstof toegepast. Met de warmte van de

motor, de generator en de uitlaatgassen kan tapwater en/of verwarmingswater worden verwarmd. De gasmotor werd al veelvuldig toegepast in WKK-systemen, bijvoorbeeld in de glastuinbouw en in grotere gebouwen, maar deze systemen waren door hun (te) grote vermogen niet toepasbaar in eengezinswoningen. Momenteel zijn ook microvarianten van de gasmotor verkrijgbaar.

PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) is een micro-WKK-systeem dat gebaseerd is op polymere brandstofcellen. In een brandstofcel worden brandstof en zuurstof 'rechtstreeks' (dat wil zeggen zonder dat een generator nodig is) omgezet in elektriciteit en warmte. De zogenaamde 'natte' PEM-brandstofcellen werken bij lage temperatuur (± 70 °C), en hebben waterstof als brandstof nodig. Daarom worden deze systemen uitgerust met een brandstofvoorbereider die aardgas transformeert tot een waterstofrijk gas (Ruijg en Ribberink, 2004). *SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)* is een micro-WKK-systeem dat is gebaseerd op vast oxide brandstofcellen, waarin op hoge temperatuur (900 °C, mogelijk dalend naar 600 °C) aardgas rechtstreeks als brandstof kan worden gebruikt. SOFC-technologie verkeert nog in een vroeg stadium van ontwikkeling (Ruijg en Ribberink, 2004). Brandstofcellen leveren gelijkstroom. In micro-WKK-systemen die gebaseerd zijn op brandstofcellen is een (dure) omvormer nodig om de geproduceerde gelijkstroom om te zetten in wisselstroom. Brandstofcel-WKK-systemen zijn nog niet ver genoeg ontwikkeld om op de markt te worden geïntroduceerd. Naar verwachting is dit pas over 5 tot 10 jaar het geval.

De productiestructuur voor systemen op basis van Stirling- of gasmotor systemen zal niet ingewikkelder zijn dan die voor HR-ketels en branders. Er is geen reden om te veronderstellen dat dit in de toekomst anders zal liggen voor micro-WKK-systemen die gebaseerd zijn op brandstofcellen. Er zijn wel specifieke bedrijven bezig met de productie van brandstofcellen.

Afstemming van vraag en aanbod

De verhouding waarin warmte en elektriciteit worden geproduceerd is per techniek verschillend. Stirling heeft een warmte/elektriciteit-verhouding (W/K-verhouding) van 4 tot 9, gasmotoren van 3 tot 4, en brandstofcellen van 2 (PEMFC) of 1 (SOFC). De verhouding in de jaarlijkse warmte- en elektriciteitsvraag van een gemiddeld huishouden was in 2002 4,4¹. Over de dag en over de seizoenen genomen kunnen vraag en aanbod zelfs nog sterker uit elkaar liggen. Rekening houdend met verschillende woningtypen en gebruikers zal de W/K-verhouding van de verschillende micro-WKK-systemen dus niet altijd passen bij de W/K-verhouding van een huishouden. Daarom kunnen aanvullende voorzieningen gewenst zijn: afhankelijk van het knelpunt zijn warmte-opslag, elektriciteitsopslag, regelstrategieën of een virtuele centrale denkbaar. Warmte die niet direct nodig is, kan worden opgeslagen, bijvoorbeeld in buffervaten voor kortdurende opslag of in (ondergrondse) reservoirs voor seizoensopslag. Seizoensopslag lijkt vooral voor de virtuele centrale een noodzakelijke voorzie-

¹ Gebaseerd op een gemiddeld gasgebruik voor ruimteverwarming en warm tapwater van 1690 m³ en een elektriciteitsgebruik van 3400 kWh (landelijk gemiddelde voor een huishouden) (ECN, 2006). In de toekomst zal de warmtevraag waarschijnlijk dalen en de elektriciteitsvraag stijgen (zie paragraaf 3.3).

ning, omdat deze ook tijdens de zomer elektriciteit zal produceren, terwijl er dan weinig warmtevraag is.

Voor elektriciteit die op het moment van productie niet door het huishouden wordt gebruikt (maar wel op een later moment), is opslag in bijvoorbeeld accu's in principe mogelijk, maar het is bij de huidige beperkte capaciteiten van accu's efficiënter om deze tijdelijk aan het net te leveren. Zo'n 'parkeerregeling' komt vooral in aanmerking voor Stirling-WKK's, die ondanks de relatief lage elektriciteitsproductie (minder dan de jaarlijkse eigen vraag) op sommige momenten van de dag toch meer elektriciteit kunnen produceren dan er gebruikt wordt. Bij brandstofcel-WKK's die gedimensioneerd zijn op de volledige warmtevraag van de huishoudens, is de elektriciteitsproductie op jaarbasis waarschijnlijk vaak groter dan de eigen behoefte. Een tijdelijke opslagvoorziening is dan niet voldoende: het overschot zou permanent aan het net moeten kunnen worden teruggeleverd (dat wil zeggen verkocht). Om terugleveren aan het net mogelijk te maken zijn elektriciteitsmeters nodig die zowel elektriciteitsafname als -levering door het huishouden kunnen meten. Deze zijn al beschikbaar, maar worden nog niet standaard toegepast.

Om in een gemiddeld huis op alle momenten de volledige warmtevraag, inclusief warmtapwater, te kunnen dekken met de micro-WKK-eenheid zou een systeem met een thermisch vermogen van 15 tot 22 kW nodig zijn. Wanneer gebruik wordt gemaakt van een buffervat van ongeveer 100 à 200 liter om warm water in op te slaan of van een piekbrander, kan volstaan worden met een thermisch vermogen van ongeveer 10 kW_{th} (Ruijg en Ribberink, 2004). Het buffervat heeft als functie om onmiddellijk aan de vraag naar warm tapwater te kunnen voldoen, en om te voorkomen dat de Stirling moet worden uitgezet als er tijdelijk geen warmtevraag is. Dit zou leiden tot stop- en startverliezen. Pieken in de warmtevraag kunnen ook worden opgevangen met een zogenaamde piekbrander, maar daardoor zal het energetisch rendement van de installatie omlaag gaan.

Virtuele centrale

In de meest eenvoudige situatie bepaalt de warmtevraag van de woning de inzet van een micro-WKK-installatie. Losse micro-WKK-installaties kunnen echter ook worden opgenomen in een digitaal netwerk en centraal worden aangestuurd. Dit wordt aangeduid als een 'virtuele centrale'. Om deze virtuele centrale te kunnen realiseren is het nodig dat er software wordt ontwikkeld die elektriciteitsvraag en -aanbod optimaal met elkaar in evenwicht brengt. Vooral brandstofcel-WKK's komen vanwege hun lage W/K-verhouding in aanmerking voor deelname aan een virtuele centrale. Ook de elektriciteitsproductie van Stirling-WKK's kan geoptimaliseerd worden, hoewel ze ook dan per eenheid warmte minder elektriciteit leveren dan een brandstofcel-WKK. Overigens is het elektrische vermogen van een virtuele centrale in die zin beperkt dat de jaarlijkse warmteproductie niet de jaarlijkse warmtevraag mag overstijgen. Is dat wel het geval, dan zou immers warmte moeten worden 'weggegooid'. Dit betekent dat de installaties om een maximale energiebesparing en emissiereductie te realiseren moeten zijn gedimensioneerd op de jaarlijkse warmtevraag. Een tijdelijk warmteoverschot hoeft geen probleem te zijn als deze wordt opgeslagen om later te worden gebruikt.

2.3 Consumptie

Om een succes te kunnen worden is het van belang dat micro-WKK-systemen hetzelfde comfort bieden als de HR-ketel. Dat betekent dat ze warm tapwater moeten kunnen leveren op het moment dat de kraan wordt opengedraaid en een koud huis binnen beperkte tijd tot een aangename temperatuur kunnen verwarmen. Op dit moment richten de ontwikkelingen zich op een WKK-installatie met een thermisch vermogen van 10 kW of hoger in combinatie met een buffervat van 100 à 200 liter of een piekbrander.

Verder is van belang dat aankoop en plaatsing van een micro-WKK-installatie niet ingewikkelder is en niet langer duurt dan aankoop en plaatsing van een HR-ketel en dat het apparaat niet meer ruimte vraagt. In de praktijk vindt aankoop van een verwarmingsinstallatie vaak plaats omdat de oude installatie plotseling de geest geeft, waarbij dus snelle vervanging verlangd wordt (Cogen, 2003). Momenteel gelden er nog wettelijke administratieve belemmeringen voor installaties die elektriciteit kunnen produceren.

In het geval dat losse installaties worden gekoppeld tot een virtuele centrale vraagt dit om een systeem waarbij een energiebedrijf de afzonderlijke systemen op afstand kan aansturen. Als dit letterlijk betekent dat het energiebedrijf beslist op welk moment installaties worden ingezet, raken de bezitters van micro-WKK-systemen (een deel van) hun autonomie kwijt. Dit zou op weerstand kunnen stuiten. Er is echter ook een systeem denkbaar waarbij de beheerder vraag en aanbod in evenwicht brengt door de terugleververgoeding te verhogen of te verlagen.

2.4 Instituties

Met een micro-WKK-systeem wordt een woning/huishouden een energieproducent. Dit vraagt om aanpassingen op institutioneel niveau. Huishoudens moeten hun micro-WKK aanmelden en zouden ook een vergoeding moeten ontvangen voor te veel geproduceerde elektriciteit. Zaken als vaststelling van de prijs, wie dat bepaalt en wie dat betaalt, en het administratieve systeem eromheen moeten worden vastgelegd en ingericht.

Om de micro-WKK-installatie bij stroomuitval als noodstroomvoorziening te kunnen laten fungeren zal het noodzakelijk zijn om wettelijk toe te staan dat een micro-WKK zelfstandig mag functioneren. Momenteel gelden hiervoor nog wettelijke beperkingen: bij stroomuitval moet ook de micro-WKK worden afgeschakeld. Dit verbod geldt uit veiligheidsoverwegingen, om te voorkomen dat er plotseling spanning op het net komt te staan terwijl er aan wordt gewerkt. Dit zou kunnen worden opgelost met een 'eilandbedrijfschakelaar' (Ruijg, 2006)².

² Overigens zijn Stirling-WKK's met een elektrisch vermogen van 1 kW niet erg geschikt als noodstroomvoorziening, omdat ze vrij snel van slag raken door plotselinge veranderingen in de elektriciteitsvraag (bijvoorbeeld het aanslaan van een koelkast). Dit zou kunnen worden opgelost met een vliegwiel.

2.5 Ruimtelijke invulling

Er zijn geen specifieke ruimtelijke aspecten.

2.6 Belangrijke spelers

Producenten

Per techniek zijn er diverse bedrijven bezig met de ontwikkeling van micro-warmtekracht-systemen. Tabel 2.1 geeft een overzicht.

Tabel 2.1 Bedrijven betrokken bij de ontwikkeling van micro-warmtekrachtssystemen (Ruijg, 2005; Cogen, 2006).

Techniek	Bedrijven
Stirling (vrije zuiger)	Enatec/Infinitia/Rinnai, Microgen/Remeha, Bosch
Stirling (kinematisch)	Whispertech/Magic Boiler Company
Gasmotor	Senertec, Ecopower, Honda
Gasturbine	Micro Turbine Technology (MTT)
PEMFC	Vaillant/Plugpower/Ballard, Toshiba, Mitsubishi, Nedstack
SOFC	Sulzer-Hexis, Vaillant/Webasto

Installateurs

Installateurs zullen de apparatuur bij de consumenten moeten installeren en onderhouden. Een belangrijk aandachtspunt is een opleidingsprogramma voor installateurs, omdat een tekort aan kennis voor onderhoud belemmerend kan werken op de introductie.

ICT-branche

Deze branche speelt een belangrijke rol bij het ontwikkelen van de virtuele centrale.

Samenwerkingsverbanden

De fabrikanten hebben zich in Nederland verenigd in de Smart Power Foundation (SPF).

Naast de fabrikanten (ontwikkelaars) zijn de grote energiebedrijven betrokken bij micro-warmtekracht in de 'werkgroep micro-warmtekracht' van Cogen.

Micro-warmtekracht is een 'erkend transitiepad' onder het energietransitie platform 'Nieuw Gas', waar in 2005 ook de werkgroep 'Decentrale energieopwekking' is opgericht.

Er is een groot samenwerkingsverband dat gericht is op het ontwikkelen van de virtuele centrale: Smart Power System (SPS), opgezet door Energy Valley samen met Continuon, ECN, Eneco Netbeheer BV, Essent Netwerk B.V., Gasunie Engineering & Technology, Gasunie Trade&Supply, ICT Automatisering, Kema, N.V. NOM, TiëtoEnator en TNO (SPS 2006). Onder de noemer van SPS wordt gewerkt aan het inbrengen van onder andere micro-WKK in

een collectief systeem (een virtuele centrale). De nadruk ligt op het ontwikkelen van de noodzakelijke sturingssystemen.

Woningbouwcorporaties

Bij marktintroductie kan een actieve rol van de woningbouwcorporaties zorgen voor een snelle introductie van grote aantallen micro-WKK's en daarmee voor een snelle prijsverlaging.

Consumentenorganisaties

Consumentenorganisaties kunnen, net als bij de introductie van de HR-ketel, een belangrijke rol spelen in het aankoopgedrag van consumenten. Een positieve beoordeling kan leiden tot een snelle penetratie, en omgekeerd.

2.7 Relatie met andere systeemopties













In de gebouwde omgeving is met name ook de ontwikkeling van de elektrische warmtepomp van belang. Vooral nieuwbouwwijken die geen aansluiting op het gasnet krijgen, zullen de markt voor micro-warmtekracht beperken. Het is echter waarschijnlijk dat micro-WKK en de elektrische warmtepomp goed naast elkaar kunnen bestaan, omdat micro-WKK vooral geschikt is voor bestaande bouw met een hoge warmtevraag, en de elektrische warmtepomp vooral voor goed geïsoleerde nieuwbouw. Het naast elkaar bestaan van micro-WKK en elektrische warmtepompen kan er bovendien voor zorgen dat elektriciteitsproductie en -vraag binnen de 'sector' huishoudens meer in evenwicht blijft. Daarmee worden elektriciteitsoverschotten vermeden die zouden kunnen ontstaan bij grootschalige, eenzijdige implementatie van micro-WKK (Harmsen et al., 2006).

Daarnaast zijn er raakvlakken met de ontwikkeling van brandstofcellen voor auto's. Het is ook denkbaar dat in de toekomst het overschot aan elektriciteit dat is geproduceerd door brandstofcelmicro-wkk kan worden gebruikt voor bijvoorbeeld een plug-inpowermodule (een accu) voor de auto.

De virtuele centrale kan ook de inpassing in de Nederlandse elektriciteitsvoorziening van andere decentrale opwekkingssystemen zoals windenergie en PV-zonnecellen vergemakkelijken.

3 Beoordeling van de potentiële effecten van micro-warmtekracht

Tabel 3.1 Duurzaamheidstoets microwarmtekracht.

	Sociaal		Economisch		Ecologisch	
In Nederland	Leveringszekerheid Koopkracht	 	Werkgelegenheid Gasvoorraad Investerings in elektriciteit	  	Verzurende emissies	
Elders	Geen invloed		Geen invloed		Broeikasgasemissies	
 slechter  iets slechter  neutraal  iets beter  beter						

3.1 Mogelijke sociale effecten in Nederland

Er is nog geen duidelijkheid in welke mate micro-WKK kan bijdragen aan meer leveringszekerheid en of micro-WKK gevolgen heeft voor de stabiliteit van het net. Technisch bestaat de mogelijkheid dat de micro-WKK-bezitter minder afhankelijk kan worden van (het functioneren van) het elektriciteitsnet, door de micro-WKK in te zetten als noodstroomvoorziening. Met de huidige regelgeving is dat echter nog niet toegestaan (zie paragraaf 2.4).

De invloed van micro-WKK op de koopkracht van huishoudens is mede afhankelijk van de investeringskosten en energieprijzen. De aanschafprijs van een micro-WKK zal weliswaar hoger zijn dan van een HR-ketel, maar door besparing op het elektriciteitsgebruik kunnen de meerkosten worden terugverdiend. Uitgaande van een meerprijs ten opzichte van de HR-ketel van 1500 euro³ en een jaarlijkse besparing op de elektriciteitsrekening van ruwweg 300 euro (Cogen, prijspeil 2005) bedraagt de terugverdientijd circa vijf jaar.

3.2 Mogelijke economische effecten in Nederland

Het is niet duidelijk welke effecten de introductie van micro-WKK zal hebben op de werkgelegenheid in Nederland. De micro-WKK is de beoogde opvolger van de HR-ketel (vervangingsmarkt). Dat betekent dat een deel van de huidige productie van HR-ketels zal verdwij-

³ De verwachting is dat deze meerprijs voor micro-WKK op basis van Stirling in 2010-2012 zal worden gerealiseerd. Deze installaties zullen dan ongeveer het dubbele kosten van een HR-ketel (Gasunie, 2006)

nen. Het is de vraag of Nederland op het gebied van micro-WKK een voorlopersrol weet te bemachtigen, waarbij productie in Nederland wordt geplaatst. Wordt de productie in het buitenland opgepakt, dan zal dit een negatief effect hebben op de werkgelegenheid in Nederland, wordt de productie binnen Nederland opgepakt, dan kan dit een positief effect op de werkgelegenheid hebben. Ketelfabrikanten Remeha en Bosch hebben al aangegeven dat zij de productie van micro-WKK eenheden bij voorkeur binnen Nederland willen oppakken (Sijbring, 2006). Ook worden momenteel onderhandelingen gevoerd over de mogelijke oprichting van een productielocatie van Stirlingmotoren in Nederland die, ingekocht door ketelfabrikanten voor de micro-WKK's, de Europese markt zou gaan aanleveren. Daarbij zou op termijn sprake kunnen zijn van werkgelegenheid voor 400 personen (Overdiep, 2006; Stromen 2006b).

Micro-WKK zou financieel voordelig voor de energiebedrijven kunnen zijn als er daardoor minder investeringen in piekvermogen en in netcapaciteit nodig zijn. Voorwaarde is dan wel dat deze installaties elektriciteit produceren op de momenten dat er piekvraag is. Dit is waarschijnlijk alleen te garanderen als de installaties deel uitmaken van een virtuele centrale die door een netwerkbeheerder kan worden aangestuurd.

Hoewel met de maatregel op energie wordt bespaard, is het niet helemaal zeker of dit ook geldt voor het gasgebruik. Bij huishoudens zal het gasgebruik toenemen. Weliswaar is de hoeveelheid vermeden brandstof bij elektriciteitscentrales groter dan deze extra gasinzet, maar het is niet zeker in hoeverre deze besparing plaatsvindt bij gascentrales dan wel bij kolencentrales.

3.3 Mogelijke ecologische effecten

Micro-WKK heeft ten opzichte van gescheiden opwekking in principe een lager primair energiegebruik en lagere emissies van CO₂ en NO_x. De grootte van de besparing en de reducties is afhankelijk van de opwekkingsrendementen van de toegepaste techniek, van de warmtevraag van de woningmarkt, van de aantallen installaties en ten slotte van de rendementen van de installaties waarmee de gescheiden opwekking zou plaatsvinden als geen gebruik zou zijn gemaakt van de micro-WKK (de referentie). In deze paragraaf wordt een kwantitatieve raming gegeven van het besparings- en reductiepotentieel voor de periode 2010 – 2030. De cijfers voor energiebesparing en CO₂-reductie zijn gebaseerd op een in opdracht van de Werkgroep Decentraal opgesteld rapport (Cogen, 2006). Dit rapport werd samengesteld door een groot aantal spelers uit de energiewereld –Cogen Projects, ECN, Ecofys, TNO en Gasunie E&T– en geeft daarmee een breed gedragen visie over het technische energie- en CO₂-besparingspotentieel van micro-WKK in Nederland weer. Omdat in het rapport geen NO_x-reducties worden geraamd, zijn deze door MNP berekend. Daarbij is aangesloten bij de in het rapport gehanteerde uitgangspunten.

De gehanteerde uitgangspunten worden hieronder samengevat. Vervolgens worden het energiebesparings- en emissiereductiepotentieel dat op basis van deze uitgangspunten is berekend gepresenteerd.

Rendementen en emissiefactoren micro-WKK

Uitgangspunt is dat er in de periode 2010 – 2030 steeds toestellen met een steeds hoger elektrisch rendement beschikbaar zullen komen, bij een gelijkblijvend totaal rendement. Daardoor neemt het besparings- en reductiepotentieel toe. Verondersteld is dat in de periode tot 2015 toestellen met een elektrisch rendement van 15% worden geplaatst, in de periode 2015 – 2020 toestellen met een elektrisch rendement van 25%, en vanaf 2020 toestellen met een elektrisch rendement van 35%. In tabel 3.2 worden de in (Cogen, 2006) gebruikte rekenwaarden weergegeven. De waarden geven aan dat bij inzet van een eenheid brandstof (in Joules) in een in 2010 beschikbare installatie 90% wordt omgezet in warmte en 15% in elektriciteit (beide eveneens in Joules).

Tabel 3.2 Veronderstelde rendementen van micro-WKK systemen die in de periode 2010-2030 worden geplaatst.

Periode	Gemiddeld elektrisch jaargebruiksrendement	Gemiddeld thermisch jaargebruiksrendement	Gemiddeld totaal jaargebruiksrendement
-2010	15%	90%	105%
2010-2015	15%	90%	105%
2015-2020	25%	80%	105%
2020-2030	35%	70%	105%

Bron: Cogen, 2006

Hoewel in het rapport gesproken wordt over toestellen van ‘categorie C, categorie B en categorie A’⁴, kan worden afgeleid dat het in de eerste twee gevallen zal gaan om Stirling- en gasmotoren en in het derde geval om brandstofcellen.

Ervan uitgaande dat in een micro-WKK aardgas wordt ingezet, is de CO₂-emissiefactor 56,8 kg per ingezette GJ. De NO_x-emissiefactor is afhankelijk van het systeem. Stirling werkt met branders die ook in HR-ketels worden toegepast: nieuwe exemplaren hebben een NO_x-emissiefactor van ongeveer 20 g/GJ (Kroon et al., 2005). Verondersteld wordt dat deze emissiefactor voor de gehele periode 2010 – 2030 geldt. Gasmotoren, mits voorzien van een katalysator om NO_x gedeeltelijk uit de rookgassen te verwijderen, kunnen eveneens een NO_x-emissiefactor van 20 g/GJ halen (Kroon, 2006). Brandstofcellen, die volgens (Cogen, 2006) vanaf 2020 op de markt zullen komen, hebben een NO_x-emissiefactor in de orde van 1 g/GJ (UCE/STS/ECN/Ecofys, 2001).

Rendementen en emissiefactoren van de referentie

De omvang van de te bereiken energiebesparing en CO₂-emissiereductie is, zoals gezegd, ook afhankelijk van de rendementen en de emissiefactoren van de referentietechnieken waarmee wordt vergeleken. Het ligt voor de hand om de hoogrendementsketel (HR) als referentietechniek voor warmteopwekking te kiezen. Voor de elektriciteitsproductie zijn echter verschil-

⁴ Hier is voor gekozen ‘om de energiebesparing niet uitsluitend te koppelen aan een bepaald type technologie of een bepaald model’.

lende veronderstellingen mogelijk, zowel ten aanzien van het elektrisch rendement als de brandstofmix. Er kan zowel worden vergeleken met het gemiddelde rendement en de emissiefactoren van het huidige centrale elektriciteitspark, als met die van een op gas gestookte Stoom- en Gascentrale (STEG). In (Cogen, 2006) worden voor beide referenties resultaten gepresenteerd. Opgemerkt wordt dat vergelijking met een STEG-centrale in die zin zuiverder is dat het CO₂-reducerend effect dat in dat geval berekend wordt enkel en alleen het gevolg is van het hogere totaalrendement van micro-WKK en niet geflatteerd wordt door het feit dat er in het Nederlandse elektriciteitspark niet alleen gas maar ook kolen – met een veel hogere CO₂-emissiefactor – worden ingezet. Ook in de Europese richtlijn voor warmtekrachtkoppeling (EP, 2004) wordt gesteld dat bij de berekening van energiebesparing door WKK moet worden vergeleken met elektriciteitsproductie waarbij *dezelfde* brandstofsoort is gebruikt en die bovendien als de best beschikbare (onder economische randvoorwaarden) technologie kan worden beschouwd.

In tabel 3.3 worden de rendementen en CO₂-emissiefactoren gegeven die Cogen (2006) voor de periode 2010 – 2030 heeft gehanteerd. Deze waarden sluiten aan bij het Global Economy scenario dat in Van Dril en Elzenga (2005) en CPB/MNP/RPB (2006) is beschreven en uitgewerkt. Omdat in Cogen (2006) geen NO_x-emissiefactoren worden gegeven zijn deze op andere manieren afgeleid. Voor de NO_x-emissiefactor van de HR-ketel wordt een waarde van 20 g/GJ verondersteld (Kroon et al., 2005). Voor de NO_x-emissiefactoren van de elektriciteitsopwekking wordt uitgegaan van de prestatienorm (in g per GJ ingezette brandstof) die voor alle deelnemers aan NO_x-emissiehandel zal gelden. Voor het jaar 2010 is deze vastgesteld op 40 g per GJ ingezette brandstof. Verondersteld is dat deze norm in 2020 is aangescherpt tot 35 g/GJ en in 2030 tot 30 g/GJ. Dit zijn arbitraire, maar vermoedelijk tevens conservatieve schattingen. Uitgaande van deze prestatienormen is op basis van het elektrisch rendement de emissiefactor per GJ_{elektrisch} berekend.

Tabel 3.3 Veronderstelde rendementen (η) en emissiefactoren van de referentietechnieken (inclusief netverliezen.)

Jaar	Park			STEG			HR		
	η_{el}	CO ₂ (kg/GJe)	NO _x (g/GJe)	η_{el}	CO ₂ (kg/GJe)	NO _x (g/GJe)	η_{th}	CO ₂ (kg/GJ)	NO _x (g/GJe)
2010	0,43	164	93	0,56	96,7	71	1,05	56,8	20
2020	0,43	160	81	0,58	93,6	60	1,05	56,8	20
2030	0,44	194	68	0,58	93,6	52	1,05	56,8	20

Bron: Cogen, 2006

Energievraag in huishoudens

In Cogen (2006) is de energievraag in huishoudens voor de periode 2010-2030 ingeschat op basis van het aantal woningen en de energievraag per woning. Daarbij is onderscheid gemaakt in een aantal huizentypen (vrijstaand, rijtjeswoning, 2/1-kap en meergezins) en bouwjaar, elk met een specifiek gemiddeld energiegebruik. Voor de ontwikkeling van de aantallen woningen per huizentype in de periode 2010 – 2030 is aangesloten bij het eerder genoemde

Global Economy-scenario. Het voert te ver om hier in detail in te gaan op de gehanteerde aantallen. Daarvoor wordt verwezen naar het rapport. Wel wordt hier in tabel 3.4 voor de jaren 2010, 2020 en 2030 weergegeven hoe de *gemiddelde* energievraag per woning zich ontwikkelt, berekend op basis van de gegevens in Cogen (2006). Deze waarden hebben immers een sterke invloed op het besparings- en reductiepotentieel van micro-WKK. Te zien is dat de gemiddelde vraag naar ruimteverwarming sterk afneemt. Dit komt door het grotere aandeel nieuwe huizen en door na-isolatie. De elektriciteitsvraag neemt daarentegen juist toe.

Tabel 3.4 Gemiddelde energievraag van huishoudens Cogen (2006).

	2000	2010	2020	2030
Warmtevraag (GJ)	37,0	32,0 ¹	26,9	23,9
Warmtapwatervraag (GJ)	9	8,6	8,3	8,1
Elektriciteitgebruik (GJ)	12,1	14,7	16,7	17,9

1 Deze waarde is door MNP door middel van interpolatie berekend

Penetratie van micro-WKK

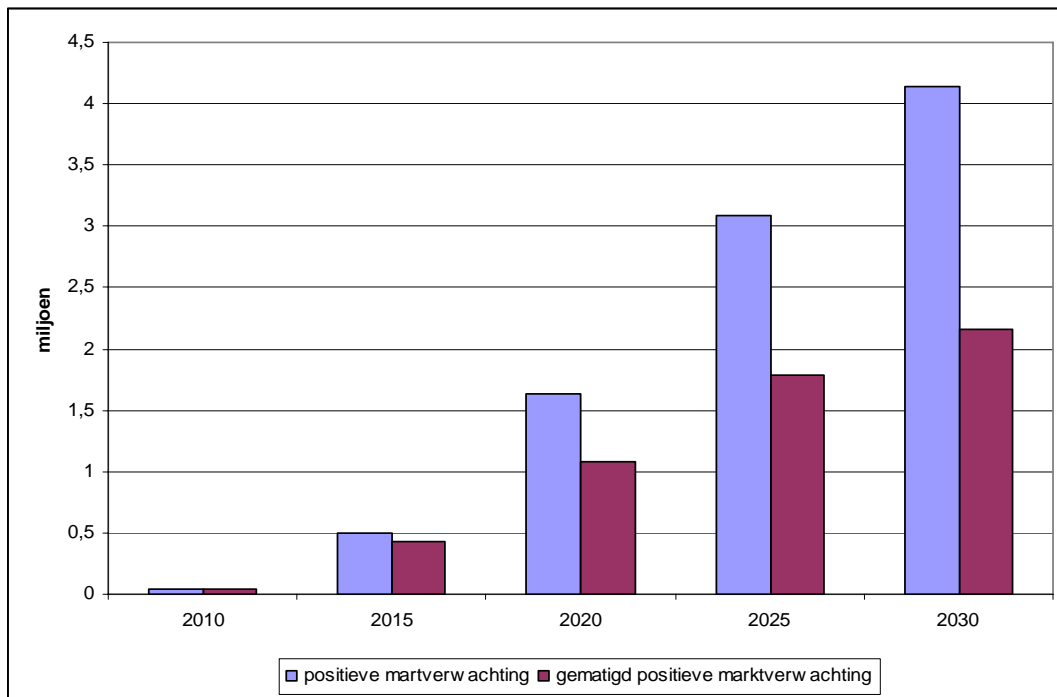
De gedetailleerde gegevens over aantallen woningen per huizentype worden in Cogen (2006) gebruikt bij de modellering van de penetratie van micro-WKK. Daarbij wordt per zichtjaar aangenomen dat bij aanschaf van een micro-WKK gekozen zal worden voor het type toestel dat op dat moment het hoogste besparings- en reductiepotentieel heeft. Toestellen met een lager potentieel zullen dan niet meer worden gekocht. Tevens wordt aangenomen dat de toestellen een levensduur hebben van 15 jaar en dan vervangen worden door toestellen met het hoogste elektrische rendement. Zoals in tabel 3.2 is aangegeven worden in de periode tot 2015 uitsluitend installaties met een elektrisch rendement van 15% geplaatst, in de periode 2015-2020 installaties met een elektrisch rendement van 25% en na 2020 alleen nog installaties met een elektrisch rendement van 35%. In 2030 zijn door de gekozen levensduur van 15 jaar alle installaties met het laagste rendement vervangen door installaties met het hoogste rendement.

Verondersteld wordt dat de beschikbare toestellen eerst zullen worden geplaatst in woningtypen met de hoogste warmtevraag (oude, vrijstaande huizen); pas nadat dit segment is verzadigd worden toestellen geplaatst in woningtypen met de op één na hoogste warmtevraag, enzovoort. Hierdoor wordt het CO₂-reductiepotentieel gemaximaliseerd.

Voor de inschatting van de aantallen micro-WKK die zullen worden verkocht, is in Cogen (2006) aangesloten bij marktverwachtingen die door de Smart Power Foundation zijn opgesteld (zie ook SPF 2006). Daarbij worden een positieve en een gematigd positieve variant onderscheiden. In de positieve variant worden vanaf 2020 jaarlijks 300.000 toestellen verkocht, in de gematigd positieve variant zijn dat er 150.000. Bij de positieve variant heeft de marktontwikkeling van de HR-ketel in de afgelopen 20 jaar model gestaan. Voorwaarde is dat de terugverdientijd maximaal 5 jaar is. De gematigd positieve marktverwachting geldt voor het

geval dat deze terugverdientijd niet wordt gerealiseerd of dat er concurrerende technologieën op de markt komen.

In figuur 3.1 zijn voor beide varianten de in totaal opgestelde aantallen micro-WKK installaties in de periode 2010 – 2030 weergegeven.

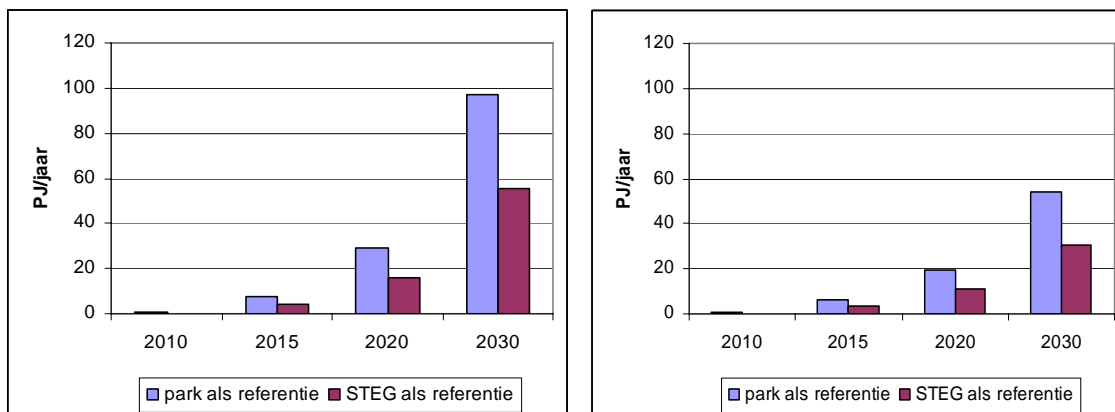


Figuur 3.1 Verwachte aantallen opgestelde micro-WKK installaties in Nederland (Cogen, 2006), 2010-2030.

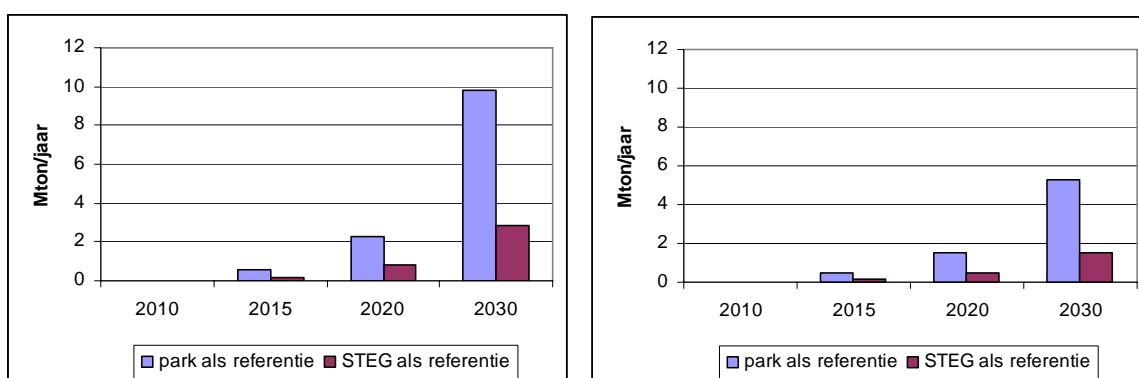
Absolute energiebesparing en emissiereductie

De absolute energiebesparing en CO₂- en NO_x-reductie (respectievelijk in GJ en kg) van een micro-WKK-installatie zijn het grootst als de volledige warmtevraag van een woning wordt gedekt door de installatie. In Cogen (2006) hebben alle micro-WKK's 'om praktische redenen' een gestandaardiseerd elektrisch vermogen van 1 kW. Met name voor brandstofcelsystemen – met een relatief lage warmte-krachtverhouding – kan dit betekenen dat het thermisch vermogen te beperkt is om volledig aan de warmtevraag te kunnen voldoen, vooral als deze volgens het model worden geplaatst in oudere huizen met een hoge warmtevraag. Deze aanname leidt er dus toe dat het berekende besparings- en reductiepotentieel mogelijk lager is dan in de praktijk haalbaar is.

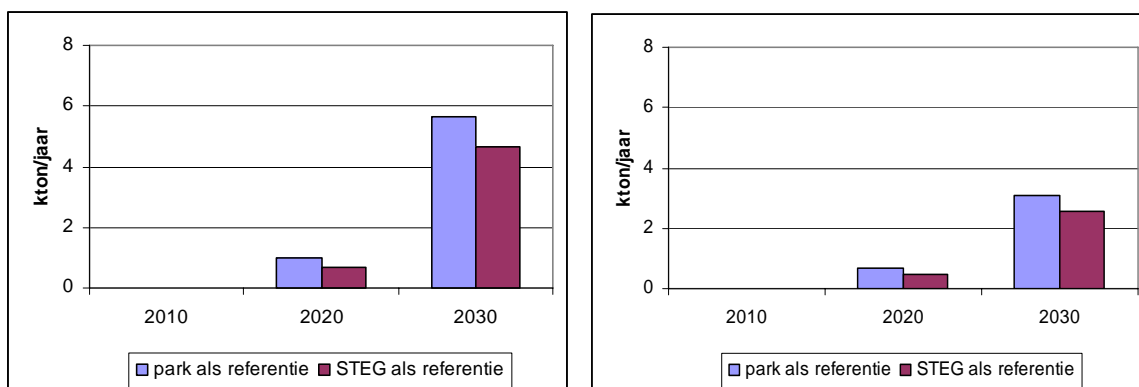
In de figuren 3.2, 3.3 en 3.4 wordt voor zowel de positieve als de gematigd positieve marktverwachting het energiebesparings- en emissiereductiepotentieel gegeven dat op basis van de beschreven veronderstellingen voor de jaren 2010, 2015, 2020 en 2030 is berekend. De cijfers voor het energiebesparings- en het CO₂-reductiepotentieel zijn overgenomen uit Cogen (2006), de cijfers voor het NO_x-reductiepotentieel zijn door MNP berekend. Daarbij is aangesloten bij de uitgangspunten die in Cogen (2006) zijn gehanteerd.



Figuur 3.1 Energiebesparingspotentieel bij positieve (links) en gematigd positieve marktverwachting (rechts) (Cogen, 2006).



Figuur 2.3 CO₂-reductiepotentieel bij positieve (links) en gematigd positieve marktverwachting (rechts) (Cogen, 2006).



Figuur 3.4 NO_x-reductiepotentieel bij positieve (links) en gematigd positieve marktverwachting (rechts).

Discussie

De gepresenteerde energiebesparings- en emissiereductiepotentiëlen worden in belangrijke mate bepaald door de veronderstelde marktpenetratie (zowel wat betreft aantallen als wat betreft type installaties) en de veronderstelde rendementen van zowel micro-WKK als van de referentie. De marktverwachtingen die in Cogen (2006) worden gehanteerd, kunnen worden beschouwd als een maximaal potentieel bij gunstige ontwikkelingen ten opzichte van de HR-

ketel en andere verwarmingstechnieken, zoals de warmtepomp. Daarbij kan worden opgemerkt dat in Cogen (2006) voor de ontwikkeling van de huizenmarkt wordt uitgegaan van het Global Economy-scenario, dat een hoge bevolkingsgroei en een relatief sterke afname van het aantal personen per gemiddeld huishouden veronderstelt. Het is niet ondenkbaar dat het werkelijke aantal huizen, waar in de toekomst micro-WKK-installaties kunnen worden geplaatst, lager zal zijn. Ook voor de rendementen en emissiefactoren geldt dat deze zich anders kunnen ontwikkelen dan in dit rapport is aangenomen, waardoor de potentiëlen kunnen afwijken van de hier gepresenteerde getallen. De gepresenteerde cijfers moeten daarom niet als 'meest waarschijnlijke uitkomsten' worden geïnterpreteerd, maar als potentiëlen die bij een gegeven aantal installaties en gegeven rendementen en emissiefactoren kunnen worden gerealiseerd.

Het potentieel kan ook (enigszins) zijn overschat vanwege het gebruikte penetratiemodel: daarbij worden beschikbare toestellen eerst geplaatst in woningtypen met de hoogste warmtevraag en daarna pas (na verzadiging) in woningtypen met een lagere warmtevraag. Omdat in de praktijk niet alleen de grootste CO₂-bespaarders zullen instappen, maar ook andere factoren een rol spelen bij de aanschaf van een micro-WKK, was een meer willekeurige verdeling van beschikbare toestellen over woningtypen wellicht een realistischer uitgangspunt geweest.

Daar staat echter tegenover dat door de keuze om het elektrisch vermogen van de installaties in Cogen (2006) in alle gevallen te standaardiseren op 1 kW, wellicht niet het volledige potentieel wordt benut. Het potentieel is immers het grootst als de volledige warmtevraag van een woning wordt gedekt door de installatie, en dat is met name bij brandstofcellen systemen in oudere huizen vanwege de gekozen beperking mogelijk niet altijd het geval. Het effect op de berekende potentiëlen is echter waarschijnlijk niet groot.

Tot slot wordt opgemerkt dat bij de berekening van de CO₂-reductiepercentages ervan uit is gegaan dat de door centrales geproduceerde CO₂ naar de lucht wordt geëmitteerd. Het is goed om te realiseren dat dit zal veranderen als deze CO₂ in de toekomst ondergronds zou worden opgeslagen. Daar staat tegenover dat ook bij centrale grootschalige waterstofproductie uit aardgas voor micro-WKK CO₂-opslag zou kunnen plaatsvinden.

4 Resultaten van activiteiten in de voorontwikkelingsfase

4.1 Ontwikkelen van probleemperceptie / sense of urgency

Maatschappelijke probleemperceptie

Er is een toenemend maatschappelijk besef dat energiegebruik leidt tot een risico voor klimaatverstoring. Uit enquêtes blijkt dat Nederlanders vinden dat er meer aandacht moet worden besteed aan (onderzoek aan) energiebesparing en de ontwikkeling van hernieuwbare energiebronnen. De huidige hoge olieprijs leiden ook tot een toenemende probleemperceptie ten opzichte van het gebruik van energie.

Probleemperceptie bij de actoren rondom micro-WKK

Ook door actoren rond micro-WKK wordt klimaatverstoring als het voornaamste probleem gezien waar micro-WKK gedeeltelijk een oplossing voor kan bieden. Daarbij wordt door de marktpartijen opgemerkt dat micro-WKK de enige beschikbare techniek is om in de *bestaan-*de woningmarkt substantieel energie te besparen.

Naast klimaat worden ook leveringszekerheid, investeringen in het elektriciteitsnet en de eindigheid van gasreserves als mogelijke problemen genoemd. Het huidige comfort en gebruikersgemak van warmtesystemen in huishoudens worden niet als probleem genoemd. Wel zijn de actoren het erover eens dat er op dat vlak geen enkele verslechtering mag plaatsvinden.

4.2 Toekomstvisie / sense of opportunity

Europese doelen

In 2004 hebben het Europese Parlement en de Europese Raad een richtlijn voor de bevordering van warmtekracht uitgebracht (EP, 2004). Het doel van de richtlijn is om energiebesparing te verhogen en voorzieningszekerheid te verbeteren door middel van een raamwerk voor de bevordering en ontwikkeling van hoogrenderende warmtekrachtkoppelinginstallaties (waaronder micro-WKK installaties). In de richtlijn worden geen kwantitatieve doelen ten aanzien van het beoogde aandeel van WKK in de elektriciteitsvoorziening gegeven. De richtlijn geeft wel stimulansen, maar omvat geen visie op de lange termijn.

Nationale doelen

Het energierapport 'Nu voor later' (EZ, 2005) richt zich op twee grote opgaven: het garanderen van de voorzieningszekerheid en het aanpakken van het mondiale klimaatprobleem. Naast duurzame energie is energiebesparing een van de belangrijkste manieren om dit te realiseren. Er wordt daarbij gestreefd naar een energiebesparingstempo van 1,5% per jaar vanaf 2012. Samen met de sector transport wordt de gebouwde omgeving als de sector gezien met het grootste besparingspotentieel. In het energierapport wordt voorgesteld om dit potentieel aan te spreken via een systeem van verhandelbare energiebesparingscertificaten (witte certificaten)⁵. Er wordt niet ingegaan op de vraag met welke concrete besparingsmaatregelen het potentieel kan worden benut. Hoewel wordt gesteld dat instandhouding en verdere doorgroei van het WKK-park essentieel is voor het bereiken van de beleidsdoelstellingen voor energiebesparing en CO₂-reductie, wordt daarmee vooral WKK op industriële schaal bedoeld. Ook de financiële ondersteuning is duidelijk gericht op grote installaties.

Het ministerie van EZ voert zelf geen beleid dat specifiek op micro-WKK is gericht. Indirect is dit echter wel het geval, aangezien het ministerie sinds 2001 het transitiebeleid naar een duurzamere energiehuishouding ondersteunt. In dat kader is in 2002 het Team Nieuw Gas opgericht, samengesteld uit personen uit verschillende disciplines uit markt, wetenschap en overheid. In een rapport dat eind 2003 door het Team Nieuw Gas werd uitgegeven is voor 2020 de ambitie geformuleerd dat er dan op tenminste 50 plaatsen in Nederland een gekoppeld systeem van kleinschalige warmte/kracht/koelingsapparaten bestaat, te gebruiken als aanvullende productiecapaciteit (virtuele elektriciteitscentrale) (TNG, 2003).

Later is het publiek-private Platform Nieuw Gas opgericht. Dit platform richt zich op de transitie naar een duurzaam gassysteem. Een van de zogenaamde 'transitiepaden' van het platform is decentrale energieopwekking. Om het transitiepad op te starten, verder te ontwikkelen en de afstemming met andere werkgroepen te verzorgen, is de Werkgroep Decentrale Energieopwekking opgericht (verder aangeduid als werkgroep Decentraal). Deze werkgroep, die is samengesteld uit vertegenwoordigers van een brede groep relevante partijen⁶, richt zich vooral op micro-WKK. De werkgroep heeft in een visiedocument (SPF, 2006) aangegeven welke marktverwachtingen er zijn ten aanzien van micro- en mini-WKK. Gebaseerd op de verwachtingen van de drie betrokken fabrikanten denkt men in 2007 1000 stuks te kunnen afzetten, oplopend tot 300.000 stuks in 2020⁷. Dit zou betekenen dat de HR-ketel in 2020 grotendeels door micro-WKK van de markt is verdrongen: in totaal worden (momenteel) jaarlijks circa 400.000 verwarmingstoestellen vervangen (Gasunie, 2006). In het document wordt opgemerkt dat het realiseren van dit scenario afhankelijk is van een groot aantal externe fac-

⁵ Volgens dit systeem krijgen de energieleveringsbedrijven de verplichting een bepaalde hoeveelheid energie te besparen. Zij kunnen dit doen door gecertificeerde energiebesparingsmaatregelen uit te laten voeren bij hun klanten of door certificaten van anderen te kopen.

⁶ Energiebedrijven, netbeheerders, meterbedrijven, installateurs, belangenverenigingen, projectontwikkelaars, woningbouwcorporaties, fabrikanten, overheid, gasector en onderzoek.

⁷ In 2020 zouden dan in totaal bijna 1,7 miljoen stuks zijn afgezet (zie ook figuur 3.1).

toren, maar dat het scenario door de betrokken fabrikanten desondanks als realistisch wordt beschouwd.

In het visiedocument worden geen doelen gesteld ten aanzien van de virtuele centrale. Wel wordt op de website van de werkgroep Decentraal vermeld dat virtuele centrales gebaseerd op micro-/mini-WKK (en eventueel duurzame energiebronnen⁸) door intelligente aansturing mogelijk zullen zijn, maar ook daar worden de doelen niet verder gekwantificeerd (WDE, 2006).

Bij de inpassing in het elektriciteitsnet van micro-WKK zijn vele partijen betrokken. In het recent opgerichte samenwerkingsverband Smart Power System (SPS) werken in Nederland voor het eerst een groot aantal van deze partijen⁹ aan het ontwikkelen van een ‘virtuele centrale’ (SPS, 2006).

Vermeldenswaardig is verder de visie op de toekomstige energievoorziening in de gebouwde omgeving die ontwikkeld is binnen het samenwerkingsverband ‘Building Future’ van TNO en ECN (TNO/ECN, 2004). Building Future streeft naar een transitie naar een duurzame energiehuishouding in de gebouwde omgeving. Concrete doelen zijn een halvering van het energiegebruik in 2030 en energieneutraliteit in 2050. Ook zij zien daarin een rol weggelegd voor micro-WKK, als onderdeel van een veelomvattend pakket aan maatregelen, zoals gebouwgeïntegreerde zonnepanelen en zongedreven warmtepompen. De opkomst van virtuele centrales – waarin naast micro-WKK ook zonne-energie is geïntegreerd – voorzien zij in de periode tussen 2030 en 2050.

Uit de afgenomen interviews (zie paragraaf 1.2) komt naar voren dat (Stirling)micro-WKK wordt gezien als een tussenstap voor de middellange termijn voor het *bestaande/oudere* woningbestand. Voor nieuwbouw biedt micro-WKK weinig voordelen als gevolg van de (te) lage warmtevraag in nieuwbouwwoningen. Er is overeenstemming over het feit dat micro-WKK-systemen gebaseerd op de Stirlingmotor het verst ontwikkeld zijn en het dichtst bij marktintroductie zitten. Er bestaat echter geen overeenstemming over de vraag of dergelijke (op Stirling gebaseerde) systemen nu met grote voortvarendheid zouden moeten worden gestimuleerd. Eén uiterste op het meningspectrum is dat de Stirlingmotor de enige mogelijkheid is om micro-WKK op korte termijn grootschalig te introduceren. Aan het andere uiterste van het spectrum bestaat de mening dat dan de kans bestaat op ‘lock-in’, dat wil zeggen dat de introductie van WKK op basis van Stirling de toekomstige introductie van brandstofcel-systemen kan bemoeilijken. Eén respondent verwachtte dat de markt de komende 15 jaar zal worden gedomineerd door micro-WKK die gebaseerd is op de Stirlingmotor, maar dat brandstofcel-systemen daarna zonder problemen hun plaats in de markt zullen vinden (Ruijg, 2006).

Over de mogelijkheid om micro-WKK eenheden te koppelen tot een ‘virtuele centrale’ bestaat onder de geïnterviewden geen duidelijke visie. In één interview werd gezegd dat de kos-

⁸ Daarbij wordt opgemerkt dat micro-WKK randvoorwaarden voor de toekomstige energie-infrastructuur kan scheppen, zoals net-balancering, en daardoor de inpassing van duurzame energie kan vereenvoudigen.

⁹ Continuon, ECN, Eneco Netbeheer BV, Energy Valley, Essent Netwerk B.V., Gasunie Engineering & Technology, Gasunie Trade & Supply, ICT Automatisering, Kema, N.V. NOM, TiëtoEnator and TNO ICT.

ten van een virtuele centrale nooit zullen opwegen tegen de mogelijke baten. Andere respondenten gaan echter uit van de extra voordelen die een virtuele centrale kan bieden en denken ook dat de virtuele centrale uiteindelijk realiteit kan worden. Eén respondent merkte op dat het succes van micro-WKK niet afhangt van het wel of niet koppelen tot een virtuele centrale.

Samenvattend

De rijksoverheid heeft geen duidelijke visie geformuleerd omtrent de wenselijkheid van een spoedige en grootschalige introductie van micro-WKK. Er zijn bijvoorbeeld (nog) geen overheidsdocumenten beschikbaar waarin de beoogde bijdrage van micro-WKK aan energiebesparing, CO₂-reductie en leveringszekerheid wordt geformuleerd. Wel ondersteunt de rijksoverheid de ontwikkelingen rond deze techniek indirect door middel van het transitiebeleid, al vinden diverse spelers dat het tempo dat de laatste jaren gemaakt werd te laag was. Het laatste jaar lijkt daarin verandering te komen: de werkgroep Decentraal heeft de verwachting ten aanzien van te verkopen aantallen installaties gepresenteerd en heeft opdracht gegeven om de potentiële effecten op energiegebruik en CO₂-emissies in kaart te brengen (SPF, 2006 en Cogen, 2006). De mogelijkheden en voordelen van de virtuele centrale worden benoemd, maar er worden geen doelen voor geformuleerd (in openbare bronnen).

4.3 Research&Development

Er zijn in de periode 2000-2005 veel technische studies uitgevoerd naar brandstofceltechniek, Stirlingtechniek en de ontwikkeling van de virtuele centrale.

De zogenaamde natte PEM-techniek werd zover ontwikkeld dat er een (Europees) demonstratieprogramma uit voortgekomen is (zie paragraaf 4.4). In de praktijk bleek echter dat door de lage temperatuur dit type minder geschikt is voor toepassing in micro-WKK. Om de verlangde temperatuur van 90 °C te bereiken is een hulpbrander nodig, waardoor het (energiebesparings)rendement omlaag gaat en daarmee ook minder emissiereductie kan worden bereikt. Momenteel wordt er daarom gewerkt aan de ontwikkeling van de droge PEM, maar deze is voorlopig nog niet geschikt om toe te passen in micro-WKK-installaties. Naast de temperatuur blijven ook de grootte, beschikbaarheid, levensduur en de kostprijs van de PEM knelpunten (Vaillant, 2006; Ruijg, 2006; Overdiep, 2006; De Bruijn, 2005).

De kostprijsontwikkeling van de PEM-brandstofcel laat wel een sterke daling zien. Waren de kosten voor een PEM-brandstofcel in 2000 nog € 95.000 per kWe, vorig jaar (2005) zat de Nederlandse producent Nedstack al op een prijs van € 1.000 per kWe. Door elk jaar de prijs te halveren verwacht Nedstack dat de prijs voor een brandstofcel rond 2010 op 45 euro per kWe komt (Stromen, 2006a). In 2005 werden de totale productiekosten voor een 1kWe micro-WKK-systeem ingeschat op circa € 25.000 - 75.000. Verwacht wordt dat de prijs in 2008-2010 zal zijn gedaald tot € 3700 (De Bruijn, 2005).

Ook op het gebied van de SOFC-brandstofcel zijn uitgebreide onderzoeken en praktijktesten uitgevoerd, in Nederland met name gebaseerd op de techniek van Sulzer-Hexis. Hier ligt het probleem vooral op het gebied van de te beperkte levensduur. Recent hebben Vaillant (fabrikant van verwarmingstechniek) en autoleverancier Webasto aangegeven de kennis te gaan bundelen en samen aan de ontwikkeling van een SOFC-brandstofcel voor stationaire toepassing te gaan werken.

Het onderzoek naar de virtuele centrale betrof tot voor enkele jaren geleden vooral technische verkenningen. Toegepast onderzoek vond in Nederland vooral plaats bij ECN waar een Nederlandse bijdrage aan het EU-project CRISP is geleverd met de ontwikkeling van een 'powermatcher', een intelligent softwareconcept voor beheersing van vraag en aanbod over opwek-, gebruik- en opslageenheden van elektriciteit (CRISP, 2006). Een belangrijke succes- of faalfactor voor de virtuele centrale is dat warmte efficiënt kan worden opgeslagen, bij voorkeur voor langere tijd (1 à 2 seizoenen). Momenteel wordt door Gasunie en ECN gewerkt aan een verdubbeling van warmteopslagcapaciteit van een 100 liter voorraadvat (Turkstra, 2006). Er wordt ook gedacht aan centrale opslag, bijvoorbeeld ondergronds (Overdiep, 2006). Inmiddels zijn ook belangrijke stappen gezet in de oprichting van samenwerkingsverbanden waarin experimenten worden opgestart en uitgevoerd die ingaan op de centrale aansturing van micro-wkk's en de effecten op de stabiliteit van het elektriciteitsnet (SPS, 2006). Hierop wordt in paragraaf 4.4 dieper ingegaan.

Ook bij de Stirlingtechniek vond in de beschouwde periode (vanaf 2000) R&D plaats, maar daar concentreerde het onderzoek zich vooral in de periode 2000-2002 en zijn eind 2002 veldtesten opgestart door het Nederlandse bedrijf ENATEC. Voor de Nederlandse markt zijn verder vooral de ontwikkelingen die het Britse bedrijf Microgen en het Nieuw-Zeelandse bedrijf Whispergen hebben gemaakt van belang. Het R&D-ontwikkelingstraject heeft bij alle drie bedrijven een prototype Stirling-WKK voor stationaire toepassing in huishoudens opgeleverd. Whispergen gaat hierbij uit van de vierzuiger-Stirlingtechniek, Enatec en Microgen van de vrije-zuiger-Stirlingtechniek.

Wat betreft de Stirlingtechniek lijkt de meeste aandacht nu uit te gaan naar praktijkexperimenten en naar het verder ontwikkelen en marktrijp maken. De beschikbaarheid van kennis in Nederland wordt door de personen die voor deze studie zijn geïnterviewd niet als problematisch beschouwd, ook omdat veel kennis momenteel wordt ingekocht (in producten/onderdelen) uit het buitenland.

De rijksoverheid heeft middelen beschikbaar gesteld voor de ontwikkeling van micro-WKK. Tot 2004 konden subsidies worden aangevraagd onder de regelingen Nieuwe Energie Conversiesystemen en Technieken (NECST, looptijd 1999-2001) en Nieuw Energie Onderzoek (NEO, looptijd 2002-2004). Sinds 2004 zijn in het programma Energie Onderzoek Subsidie (EOS) van EZ mogelijkheden opgenomen om R&D en experimenten rondom micro-WKK te subsidiëren. Studies rondom elektriciteitstransport, voorzieningszekerheid, netinpassing, vermogenslektronica en brandstofceltechniek zijn in de EOS benoemd als speerpunt. Aardgasconversie via Stirling-micro-WKK is echter als niet-relevant thema benoemd.

Ook in het vijfde (1998-2002) en zesde (2002-2008) EU- 'Framework Programme' was aandacht voor R&D en experimenten rondom micro-WKK. Tussen 1998 en 2002 is circa 95 miljoen euro beschikbaar gesteld voor R&D rondom waterstof en brandstofcellen, waarvan 12 miljoen specifiek voor R&D gericht op stationaire toepassingen (EU, 2004a). Voor onderzoek rondom decentrale opwekking was in de periode 1998-2002 19 miljoen beschikbaar (EU, 2004b).

4.4 Experimenten in de praktijk

Praktijkexperimenten met micro-WKK worden vooral uitgevoerd om de technische specificaties van de systemen te optimaliseren en om meer inzicht te krijgen in de praktijkcijfers voor kosten, energiegebruik en emissies. Door de experimenten wordt bovendien ervaring opgedaan met installatie en onderhoud, en krijgt men meer inzicht in de technische prestaties (comfort) bij gebruik door de consument in praktijksituaties. De experimenten richten zich voornamelijk op de Stirling-micro-WKK. De meeste activiteit rondom brandstofcellen speelt zich nog duidelijk af op R&D-vlak, al zijn er wel enkele praktijkopstellingen geweest met SOFC-brandstofcellen en is er zelfs een grootschalig Europees experiment geweest met de PEM-brandstofcel (zie paragraaf 4.3).

In tabel 4.1 wordt een overzicht gegeven van voor Nederland relevante experimenten die in de periode 2000 tot heden zijn uitgevoerd.

Tabel 4.1 Experimenten rondom micro-warmtekracht.

Techniek	Participanten	Korte inhoud
PEM-brandstofcel	Vaillant.	Eind 2001 vond CE-certificering plaats (bedrijfsveiligheid, milieuzorg, efficiënt energiegebruik voldoen aan Europese richtlijn voor gastostellen). Daarna zijn veldtesten in Duitsland gestart.
PEM-brandstofcel	Vaillant, Ruhrgas, E.ON Energie, EWE, Gasunie, Plug Power Nederland, Cogen Europe, Instituti superior technico (Universiteit Lissabon), Institute for technology of energy supply and energy systems (Universiteit Essen), Solarzentrum Duitse lucht- en ruimtevaart Almeria, Sisternas de Calor (Spaans verwarmings en airco-installatiebedrijf)	Europese test met 60 micro-WKK's geschikt voor meergezinswoningen. Looptijd 2001-heden. Met 31 van deze micro-wkk's (waarvan 11 in Nederland) is geëxperimenteerd met een virtuele centrale. In januari 2004 is deze virtuele centrale opgestart. Voor het project met de virtuele centrale is EU-steun ontvangen via het 5th Framework Programme.
Vrije Zuiger Stirling	ENATEC (Eneco, ECN, Atag).	Veldtest met 10 toestellen in Nederland in de periode 2002-2004.
Vier Zuiger Stirling	Gasunie Trade & Supply, Stichting Natuur en Milieu, Energiebedrijven, Cogen.	Demo met 50 geïmporteerde Whispergen-installaties is eind 2004 gestart en loopt momenteel nog. Voor dit project is subsidie

		ontvangen via de Unieke Kansen Regeling (UKR).
Vrije Zuiger Stirling	Gasunie Trade & Supply, Microgen, ENECO, Essent, Nuon.	Demoprogramma met 100 Microgen-micro-WKK-installaties. Het is het eerste Nederlandse experiment waarbij de micro-WKK als vervanging van de HR-ketel aan de wand opgehangen wordt. Het eerste exemplaar is in oktober 2005 geïnstalleerd. In 2006 worden naar verwachting 25 exemplaren geïnstalleerd, waarna begin 2007 nog 75 stuks volgen. Voor deze demo loopt een EOS-aanvraag.
Virtuele Centrale	Partners Smart Power System (SPS) Continuon, ECN, Eneco Netbeheer BV, Energy Valley, Essent Netwerk B.V., Gasunie Engineering & Technology, Gasunie Trade & Supply, ICT Automatisering, Kema, N.V. NOM, TietoEnator en TNO ICT.	Praktijkproeven Enicon en First Trial zijn de eerste Nederlandse experimenten die kijken naar de mogelijkheden voor besturing en effecten van netgekoppelde micro-WKK's. Enicon regelt de besturing van een drietal micro-WKK-installaties in de experimenteerfase door middel van sms-berichten. First Trial experimenteert met de centrale aansturing van 15 van de 50 Whispergen-installaties die in een demonstratie zijn opgesteld. First Trial heeft EOS-demosubsidie ontvangen.
Vrije Zuiger Stirling	Energy Valley, Gasunie Trade & Supply, Microgen, Energiebedrijven.	Grootschalige demo met circa 500 installaties in 2007 en nogmaals 500 stuks in 2008. Het gaat vooralsnog om Microgen Stirling installaties, maar mogelijk worden later ook andere micro-WKK's bij de demo betrokken (bijvoorbeeld de Stirling van Enatec). Het is de bedoeling dat de helft van de geïnstalleerde installaties wordt opgenomen in een virtuele centrale.

De tabel vermeldt alleen de experimenten die al zijn uitgevoerd, nog lopen of in een gevorderd stadium van voorbereiding zijn. Er wordt geen overzicht gegeven van de haalbaarheidsstudies die voor micro-WKK zijn uitgevoerd. De in het kader van de regeling Ondersteuning Transitie-Coalities (OTC-regeling) uitgevoerde haalbaarheidsstudies voor het transitiepad micro- en mini-WKK zijn terug te vinden op de website van energietransitie (Energietransitie, 2006).

Het eerste meer grootschalige Nederlandse experiment zou oorspronkelijk de plaatsing van 100 Stirling-installaties van de Nieuw-Zeelandse fabrikant Whispergen omvatten. Het project wordt geleid door Gasunie Trade & Supply. Verdere deelnemers zijn negen energiedistributiebedrijven met een behoorlijke regionale spreiding. Er is voorwerk verricht in een haalbaarheidstudie binnen de OTC-regeling en in het samenwerkingsverband van de werkgroep

micro-WKK onder leiding van Cogen Projects. Uiteindelijk zijn 50 systemen geplaatst in de huishoudens van werknemers van de deelnemende partijen. Deze zijn opgesteld naast de bestaande verwarmingstechniek. In totaal zullen de opstellingen gedurende 2 jaar gemonitord worden om de werking in de dagelijkse praktijk te bepalen. De eerste resultaten laten zien dat installatietechniek en aspecten rondom comfort zoals geluid, grootte en de gewenste snelheid van opwarmen van ruimtes nog ontwikkelpunten zijn.

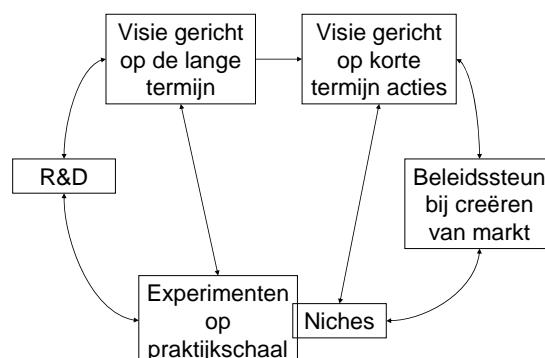
Verschillende fabrikanten geven aan binnen een of twee jaar een Stirling-micro-WKK op de markt te willen zetten. In interviews wordt – vooral door de marktpartijen – aangegeven dat er te weinig subsidiemiddelen beschikbaar zijn om de risico's van marktintroductie te onderhouden. Van de wel beschikbare subsidiemiddelen geven de marktpartijen aan dat de bruikbaarheid beperkt is, omdat men niet alle resultaten met concurrenten wil delen. Dit is vaak een voorwaarde voor subsidie.

Op het gebied van de virtuele centrale lopen ook veel ontwikkelingstrajecten. Achtergrond van het bovenstaande demoproject met 50 Whispergen-installaties is de facilitering van de overgang van (centrale) stand alone-energieopwekking naar (actieve) decentrale gecombineerde opwekking. In dit kader wordt in SPS verband bij 15 van de geplaatste systemen inmiddels geëxperimenteerd met centrale, slimme aansturing van de eenheden. Ook bereidt SPS een 'weilandproef' voor. Daarbij worden 50 micro-WKK's in een loods bijeengezet en tegelijkertijd ingeschakeld, waarna de invloed op de stabiliteit van het laagspanningsnet en de transformatoren wordt onderzocht. Smart Power System kijkt ook nadrukkelijk naar de ICT-aspecten. De doorbraak van domotica wordt aannemelijker met thuiscentrales, gecombineerd met een slimme meter. Hier kan NEN een rol spelen: zij hebben van het ministerie van Economische Zaken opdracht gekregen om de randvoorwaarden voor een 'slimme meter' vast te leggen (Energy Valley, 2006).

De betrokkenheid van installateurs wordt door alle partijen als belangrijk ervaren, maar deze was tot enkele jaren geleden nog beperkt. Recent is er meer aandacht voor dit aspect, zo is er bijvoorbeeld in oktober 2005 een special over warmtekrachtkoppeling verschenen in een installatievakblad (Intech K&S, 2005) en wordt bij de opgestarte demonstratieprojecten ook voorlichting en training aan installateurs gegeven. Ook wordt bij het opstellen van het eisenpakket van micro-WKK-installatie door sommige fabrikanten aangegeven dat installatie van een micro-WKK technisch niet ingewikkelder mag zijn dan installatie van een HR-ketel (Bijkerk 2006).

4.5 Samenhang tussen de activiteiten

De samenhang van de genoemde activiteiten in paragraaf 4.1 tot en met 4.4 en de relatie met de collectieve diensten wordt geanalyseerd aan de hand van bijgaand schema (onderdeel van de voor alle systeemopties toegepaste evaluatiemethodiek). Aan de linkerkant van het schema is de koppeling tussen visievorming, R&D en experimenten weergegeven, die sterk op de lange termijn zijn gericht (de LT-cyclus). Deze cyclus kan een versterkend effect op de ontwikkeling hebben,



als de visie richting geeft aan R&D en de resultaten daarvan leiden tot praktijkexperimenten. De leerervaringen van die experimenten leiden weer tot bijstelling, vaak concretisering van de visie, enzovoort. Aan de rechterkant van het schema is de visie meer gericht op concrete acties op de korte termijn (KT-cyclus). Er is dikwijls sprake van een lobby van enkele partijen om beleidssteun te verkrijgen, teneinde met die steun een gunstige marktsituatie gecreëerd te krijgen om niches in te richten. Het succes van een niche kan meer partijen ertoe brengen mee te gaan in de vernieuwing. Idealiter zijn deze twee ‘innovatiemotoren’ gelinkt. Praktijkexperimenten en niches kunnen hetzelfde zijn. De visie voor de lange termijn zou de basis moeten zijn voor de kortetermijnacties. De vraag is nu of het in de praktijk ook zo voor micro-WKK en voor de virtuele centrale werkt.

Eerst een beschouwing op stand alone-micro-WKK-installaties in woningen. In de LT-cyclus speelt de brandstofcel een belangrijke rol. Er wordt onderzoek naar gedaan, waardoor de techniek verbetert. Experimenten worden voorbereid, maar toepassing lijkt nog ver weg. De LT-cyclus zal nog enige tijd door moeten draaien, maar het gaat langzaam, mede omdat in de lange-termijn-visie de voorkeur voor de brandstofcel niet erg expliciet is. Dit geeft in de KT-cyclus ruimte aan de Stirlingmotor om te domineren. Dit komt ook doordat de Stirling-WKK als geschikte optie voor bestaande woningen wordt gezien. Bij deze techniek worden inmiddels de laatste stappen van de voorontwikkeling uitgevoerd met proeven om de werking van de apparaten een laatste optimalisatieslag mee te geven. De ondernemers willen graag tot introductie overgaan, omdat zij marktkansen zien. De verwachtingen over aantallen micro-WKK-installaties tot 2020 lijken al een redelijk lange termijn te hebben, maar versterken in feite het KT-spoor, omdat de doelstellingen alleen met Stirling-micro-WKK kunnen worden gerealiseerd. De overheid geeft nauwelijks ondersteuning bij het creëren van de markt in de KT-cyclus, maar blijft ook buiten de langetermijnvisievorming.

Op zich is de Stirlingmotor geen wegbereider van de brandstofcel, maar indirect kan de introductie wel enig positief effect hebben, bijvoorbeeld bij het realiseren van voorzieningen die het mogelijk maken dat consumenten overtollige elektriciteit aan het net kunnen leveren.

Verschillende marktpartijen nemen momenteel initiatieven om tot een oplossing te komen voor dubbel betaalde energiebelasting. Dit is nodig om een parkeerregeling voor tijdelijk aan het net geleverde elektriciteit mogelijk te maken, maar het leidt echter niet automatisch tot een aantrekkelijke terugleververgoeding voor netto aan het net geleverde elektriciteit. Bij een parkeerregeling gaat het om een vergoeding die consumenten betalen voor elektriciteit die tijdelijk op het net wordt geparkeerd, terwijl het bij een terugleververgoeding gaat om een betaling van de energiebedrijven aan de consument. Bij de huidige consumentenprijzen voor aardgas (die veel hoger is dan de gasprijs voor de elektriciteitsbedrijven) zijn de productie-kosten voor deze elektriciteit echter hoger dan wat de energiebedrijven voor die elektriciteit zullen willen betalen (Ruijg en Ribberink, 2004). Al met al heeft de introductie van de Stirlingmotor weinig meerwaarde voor het transitieproces naar brandstofcellen in de micro-WKK- installaties.

Sommige geïnterviewden hebben aangegeven dat een grootschalige introductie van Stirling-WKK een toekomstige introductie van brandstofcel-WKK zelfs zou kunnen belemmeren, omdat het risico van lock-in zou bestaan. Op grond van de volgende overwegingen kan worden beredeneerd dat dat risico niet zo groot lijkt te zijn:

- De vervangingsnelheid van verwarmingsinstallaties komt globaal overeen met de termijn die nog nodig is om de brandstofceltechnologie marktrijp te maken. Het is dus niet waarschijnlijk dat bij een grote marktpenetratie van de Stirling-WKK de markt voor tientallen jaren ‘dicht’ zal zitten.
- Het is moeilijk in te schatten of de intensiteit van het ontwikkelingswerk aan de brandstofcel negatief wordt beïnvloed door de marktintroductie van de Stirling-WKK, maar vermoedelijk is dat niet het geval
- Indien de op brandstofcellen gebaseerde WKK op termijn een hogere energiebesparing (en vooral ook hogere kostenbesparing) leveren en verder qua comfort, gebruiksgemak en levensduur even goed scoren als de Stirling-WKK, is er geen reden om te veronderstellen dat gevestigde belangen rondom Stirling-WKK de introductie van brandstofcel-WKK zullen kunnen tegenhouden. Producenten die zich momenteel richten op de introductie van Stirling-WKK kijken voor wat betreft de lange termijn ook naar de mogelijke toepassing van brandstofcellen (Bijkerk, 2006 en Sijbring, 2006).

Er kan worden geconcludeerd dat de Stirling-WKK voor een deel de toekomstige introductie van de brandstofcel-WKK kan bevorderen, maar deze ook niet hoeft te belemmeren. Ondanks het lagere energiebesparings- en emissiereductiepotentieel hoeft een grootschalige uitrol van Stirling-WKK op korte termijn dus niet negatief te zijn. Een bijkomend argument is dat er met Stirling-WKK op korte termijn energiebesparing en emissiereductie kan worden gerealiseerd, terwijl het potentieel van brandstofcel-WKK's pas over geruime tijd (5-10 jaar) ‘ge-oogst’ kan worden.

De virtuele centrale komt voor in de LT-visie van enkele belangrijke spelers, al is er veel minder eensgezindheid over. Maar de visie is al krachtiger dan rond 2000. Voor de virtuele

centrale worden ontworpen van het systeem gemaakt en worden experimenten voorbereid. Ook deze LT-cyclus loopt echter in een bescheiden tempo.

Net als voor de brandstofcel-WKK geldt dat de activiteiten in de KT-cyclus, die gericht zijn op een spoedige marktintroductie van de Stirling-WKK, de toekomstige introductie van de virtuele centrale niet noodzakelijkerwijs zullen bevorderen, maar deze ook niet hoeven te belemmeren. Hiervoor gelden in grote lijnen dezelfde overwegingen. Er lijkt een veel grotere samenhang te bestaan met de introductie van de brandstofcel-WKK. Waarschijnlijk kan introductie van de virtuele centrale pas plaatsvinden als de brandstofcel-WKK voldoende is gepenetreerd. Deze installaties produceren immers per eenheid warmte veel meer elektriciteit dan Stirling-WKK, en zijn daarom meer geëigend voor deelname aan een virtuele centrale. In de LT-visie worden deze twee – virtuele centrale en brandstofcel-WKK's – echter nog weinig aan elkaar gekoppeld.

5 Motivatie voor systeemverandering

5.1 Recente gebeurtenissen en acties

De ontwikkelingen rondom micro-WKK zijn de laatste jaren versneld: vooral het laatste jaar hebben veel gebeurtenissen en acties plaatsgevonden die in de richting van een take-off wijzen. Tabel 5.1 geeft hiervan een overzicht. Het gaat daarbij vooral om gebeurtenissen waarbij de Stirling-WKK centraal staat.

Tabel 5.1 Recente gebeurtenissen die de inrichting van een systeem met micro-warmtekracht illustreren (2005-2006).

Gebeurtenis	Participanten	Kracht
Prototype Stirling-micro-warmtekracht ontwikkeld en aangeboden aan minister Brinkhorst.	Enatec (NL), Infinia (US), Rinnai (Japan).	Investeringsdrempel voor het opstarten van serieproductie voor alleen de Nederlandse markt ligt hoog, maar komt door de internationale samenwerking met (wereldleider gasgestookte installaties) Rinnai binnen bereik. Naar verwachting vindt eind 2007 commerciële marktintroductie plaats. Internationale marktafzet kan daarna voor een sterke verbetering van de prijs-prestatie-verhouding zorgen.
Publicatie voorontwerp Europese NEN-norm voor brandstofcellen.	Nederlands Normalisatie Instituut	Normering duidt op grotere rol brandstofceltechniek.
Oprichting samenwerkingsverband tussen leverancier Stirling-techniek en Nederlandse fabrikant van verwarmingstechniek voor in productie nemen van Stirling-micro-WKK.	Microgen (GB) en Remeha (NL)	Complexiteit neemt af door inbreng kennis door Microgen. Remeha verwacht in 2008 te kunnen starten met de productie.
Oprichting Smart Power Foundation en presentatie verwachte marktontwikkeling tot 2020.	Enatec, Microgen, Neffit/Bosch, Remeha, Vaillant met ondersteuning van Gasunie Trade & Supply.	Directe contacten tussen aanbieders techniek (Enatec, Microgen) en fabrikanten van verwarmingstechniek kunnen leiden tot samenwerking in plaats van concurrentie.
Oprichting Werkgroep Impuls	Brede groep betrokkenen met ministerie van Economische Zaken.	Kan een oplossing brengen voor de belangrijkste knelpunten bij de investeringsbeslissing voor de fabrikanten van verwarmingstechniek: de dubbele EB en de mogelijkheden voor een marktintroductiesubsidie.
Oprichting Magic Boiler Company en start demo installatieprogramma	Gasunie, De Kleine Aarde, ENECO, Essent, Nuon.	Regeling waarbij de consument de ketel kan kopen, huurkopen of

van 50 (geïmporteerde Whispergen) Stirling-micro-WKK's. .

huren van het energiebedrijf zorgt ervoor dat de investeringsbeslissing voor consumenten makkelijker wordt. Participatie van De Kleine Aarde geeft maatschappelijke betrokkenheid weer.

Zoals uit tabel 5.1 blijkt, worden er op dit moment volop strategische overeenkomsten gesloten tussen de verschillende partijen die componenten voor micro-WKK maken. De ontwikkelaars van micro-WKK hebben veel contacten in het buitenland; Duitsland, Groot-Brittannië, de VS en Azië/Japan worden daarbij geregeld genoemd. Het lijkt erop dat het bedrijfsleven de markten in die regio's als perspectiefvoller dan de Nederlandse markt ziet. Dit komt niet alleen door de grotere afzetmogelijkheden, maar ook door overheidssubsidies en een lagere energie-efficiency van de te vervangen verwarmingsinstallaties, waardoor micro-WKK eerder rendabel is.

5.2 Krachtenveldanalyse

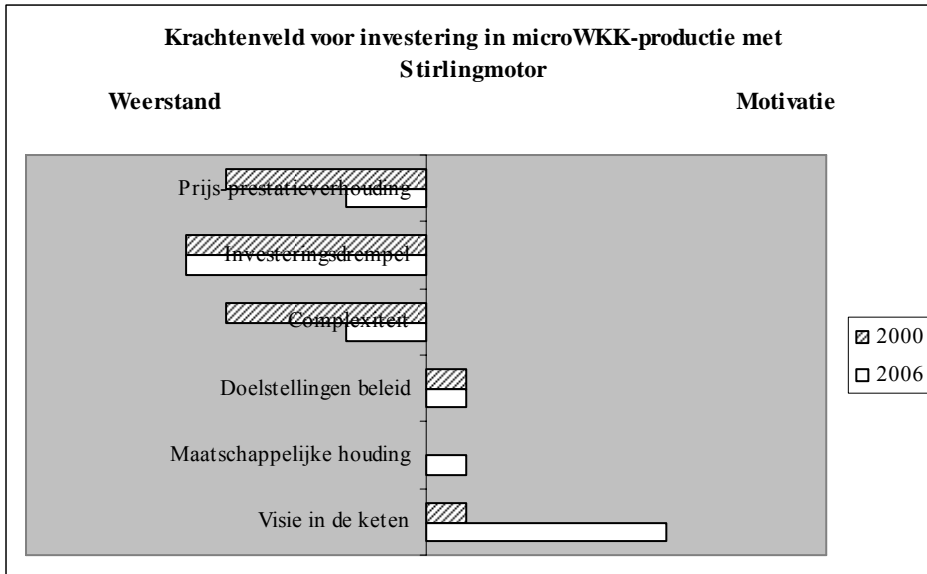
Om aan te geven in hoeverre de seinen op groen (kunnen komen te) staan voor investeringen in productiecapaciteit voor micro-WKK, wordt ingegaan op de (verandering in de) krachten die hierin een rol spelen. Hierin komen de resultaten van de voorontwikkeling samen met de kenmerken van het huidige systeem en de bestaande alternatieven. Ook de rol van het beleid wordt daarbij belicht.

In tabel 5.2 wordt de als meest marktrijp beschouwde Stirlingtechniek geanalyseerd. In figuur 5.1 is de ontwikkeling indicatief gevisualiseerd. Daarin valt op dat de visie van de marktpartijen steeds meer de overtuiging uitstraalt dat deze installaties er binnenkort gaan komen. Verschillende consortia geven aan dat er binnen enkele jaren een commerciële marktintroductie te verwachten is. Daardoor heerst er ook een steeds sterker concurrentiegevoel. Bovendien hebben de leerervaringen ertoe bijgedragen dat de techniek als minder complex wordt ervaren, en komt er ook aandacht voor kennisoverdracht naar installateurs, onder andere via experimenten. Beleidsdoelen spelen nauwelijks een rol in het krachtenspel, hoewel het beleid wel heeft bijgedragen aan de visie-ontwikkeling van de ondernemers door middel van het transitiebeleid. De prijs-prestatieverhouding is wel verbeterd, maar nog niet voldoende om rechts van de scheidingslijn tussen 'weerstand' en 'motivatie' uit te komen (figuur 5.1). Hier wordt in dit hoofdstuk in de paragraaf 'acceptatie van micro-WKK door de consument' dieper op ingegaan.

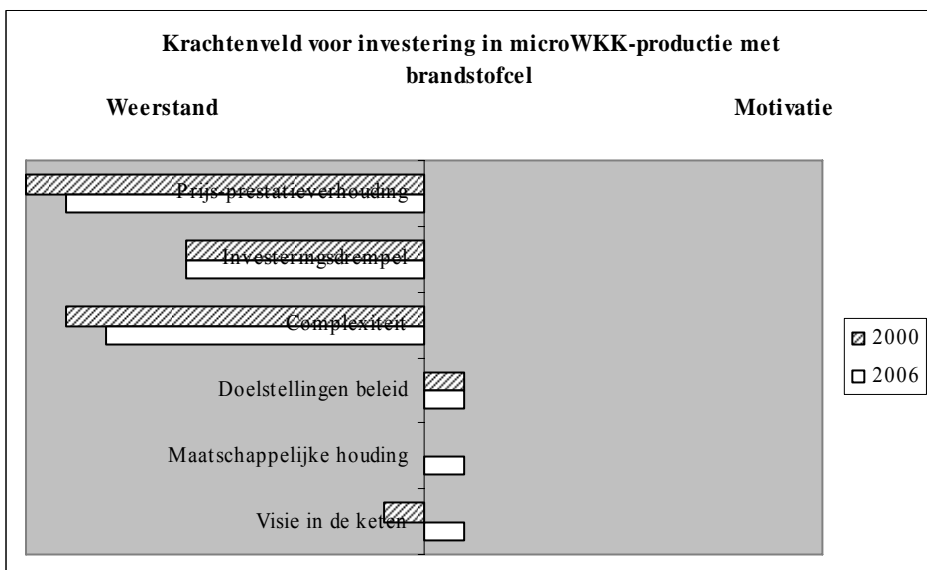
Tabel 5.3 gaat in op de krachten rondom de nog sterk in ontwikkeling zijnde brandstofcel met de visualisatie daarvan in figuur 5.2. Ondanks de verlaging van de prijs van de brandstofcel door het onderzoek is die nog sterk negatief en is de complexiteit nog een grote barrière. De krachten die voor het positieve tegenwicht moeten zorgen, zijn nauwelijks ontwikkeld.

Tabel 5.2 Krachtenveldanalyse voor de investering in het opzetten van een productielijn voor micro-warmtekracht met Stirling-techniek.

Kracht	Kenmerken en ontwikkelingen 2000-2006	Beleid (NI + EU)
Prijs-prestatieverhouding	De kostprijs van de Stirling-WKK is sterk verbeterd, maar desondanks zal bij marktintroductie rond 2008 de consumentenprijs nog rond de 4500 euro bedragen. Dat is enkele malen duurder dan het huidige alternatief, de HR-ketel. In samenwerking met buitenlandse partners kan door de schaalvergroting wel een verbetering plaatsvinden van de meerprijs.	Dubbele energiebelasting (EB), dat wil zeggen dat zowel over tijdelijk geparkeerde elektriciteit als over het gebruikte aardgas energiebelasting moet worden betaald. Subsidiereregelingen Nieuwe Energie Conversiesystemen en Technieken (NECST) en Nieuw Energie Onderzoek (NEO). Geen subsidies voor aanschaf van micro-WKK-installaties door consumenten.
Investeringsdrempel	Is groot voor alleen de Nederlandse vervangingsmarkt van verwarmingsketels. Er ontstaan daarom samenwerkingsverbanden met buitenlandse bedrijven, die de drempel verlagen.	Subsidiereregelingen Ondersteuning Transitie Coalities (OTC) en Unieke Kansen Regeling (UKR).
Complexiteit	Er heeft ontwikkeling van prototypes micro-WKK's plaatsgevonden; verbetering van installatietechniek en aspecten rondom comfort voor de consument blijven wel aandachtspunten. Ingewikkelde procedures rond de aanschaf van een installatie die elektriciteit kan leveren zijn nog onvolgende vereenvoudigd. Ook kennis bij installateurs over micro-WKK blijft een aandachtspunt, al worden zij de laatste jaren steeds meer betrokken bij de ontwikkeling. Dit blijkt bijvoorbeeld uit aandacht in vakbladen en betrokkenheid bij demonstratieprojecten.	Subsidiereregelingen NECST, NEO en EOS (in combinatie met netinpassing).
Doelstellingenoverheid		Energiebesparings-, klimaat- en verzuringsdoelstellingen zijn zwak gerelateerd aan dit onderwerp. Er zijn geen specifieke doelstellingen voor huishoudens en stationaire toepassing van micro-WKK.
Maatschappelijkehouding	Klimaatprobleem wordt urgenter maar micro-WKK wordt niet als dé oplossing gezien. Betrokkenheid van maatschappelijke organisaties is op gang gekomen (betrokken bij Platform Nieuw Gas en experimenten). Bij de burger is bekendheid iets toegenomen door introductie van - en demo's met de 'toverketel' of 'thuiscentrale'.	
Visie in de keten	Er is op zeer veel fronten samenwerking op gang gekomen. In 2006 heeft de werkgroep Decentraal documenten met marktverwachtingen en potentiële schattingen voor micro-WKK gepresenteerd.	Initiatief tot oprichting van privaat/publiek platform 'Nieuw Gas' met de daaronder hangende werkgroepen 'Decentraal' en 'Impuls'.



Figuur 3.1 Indicatieve schets van de ontwikkeling in het krachtenveld rond de beslissing om te investeren in een fabriek voor de productie van Stirling micro-WKK-eenheden (toelichting in tabel 5.2).



Figuur 5.2 Indicatieve schets van de ontwikkeling in het krachtenveld rond de beslissing om te investeren in een fabriek voor de productie van brandstofcel micro-WKK eenheden (toelichting in tabel 5.3).

Tabel 5.3 Krachtenveldanalyse voor de investering in het opzetten van een productielijn voor micro-warmtekracht met brandstofcel-techniek.

Kracht	Kenmerken en ontwikkelingen 2000 - 2006	Beleid (NI + EU)
Prijs-prestatieverhouding	Ondanks enorme kostendalingen blijven brandstofcellen vele malen duurder dan een HR-ketel of een Stirling-systeem.	Dubbele energiebelasting (EB), dat wil zeggen dat zowel over tijdelijk geparkeerde elektriciteit als over het gebruikte aardgas energiebelasting moet worden betaald. Subsidieregelingen Nieuw Energie Conversiesystemen en Technieken (NECST), Nieuw Energie Onderzoek (NEO) en Energie Onderzoek Subsidie (EOS) EU steun (Fifth en Sixth Framework Programme) Geen subsidies voor aanschaf van micro-WKK-installaties door consumenten.
Investeringsdrempel	Is zeer groot voor de Nederlandse markt, vooral omdat de techniek nog niet marktrijp is.	Subsidieregelingen Ondersteuning Transitie Coalities (OTC) en Unieke Kansen Regeling (UKR).
Complexiteit	Met name levensduur (SOFC, PEM), beschikbaarheid en temperatuur (PEM) blijven belangrijke ontwikkelpunten. Onderzoek naar inpassing in net via de virtuele centrale is op gang gekomen, maar vereist nog veel aandacht.	Subsidieregelingen NECST, NEO en EOS (in combinatie met netinpassing)
Doelstellingen overheid		Energiebesparings-, klimaat- en verzuringsdoelstellingen zijn zwak gerelateerd aan dit onderwerp. Er zijn geen specifieke doelstellingen voor huishoudens en stationaire toepassing van micro-WKK.
Maatschappelijke houding	Klimaatprobleem wordt urgenter, maar micro-WKK wordt niet als dé oplossing gezien. Micro-WKK op basis van brandstofcellen is onbekend bij het publiek en ook maatschappelijke organisaties besteden er nog geen aandacht aan.	
Visie in de keten	Visiedocument werkgroep Decentraal met marktverwachtingen voor de middellange termijn is niet op brandstofcel-micro-WKK gericht. Visie op de virtuele centrale werkt enigszins ondersteunend.	Initiatief tot oprichting van privaat/publiek platform 'Nieuw Gas' en de daaronder hangende werkgroepen 'Decentraal' en 'Impuls'.

Bestaande barrières voor introductie

Over de bestaande barrières voor de introductie van micro-WKK bestaat veel overeenstemming. Een aantal van deze barrières draagt bij aan de negatieve scores van de krachten ‘complexiteit’ en ‘prijs- prestatieverhouding’ in figuur 5.1 en 5.2. Genoemd worden: (regels omtrent) de netaansluiting; de te lage terugleververgoeding voor elektriciteit c.q. de kosten voor het tijdelijk ‘parkeren’ van electriciteit op het net, onder andere vanwege dubbele energiebelasting; (procedures rond) meterwisseling en het (onvoldoende) meenemen van micro-WKK in waarderingsstelsels zoals voor de energie-prestatiecoëfficiënt. Daarnaast worden genoemd de meerprijs van de installaties ten opzichte van HR-ketels en de complexe administratieve handelingen die wettelijk voorgeschreven zijn bij plaatsing van een elektriciteitsgenerator. Daardoor kan niet gegarandeerd worden dat een micro-WKK binnen 24 uur na aankoop geplaatst kan worden.

Wellicht stimuleert de in paragraaf 4.2 reeds genoemde Europese Richtlijn voor de bevordering van warmtekrachtkoppeling (EP, 2004) lidstaten (waaronder Nederland) om administratieve barrières weg te nemen. Ingevolge deze richtlijn moeten de lidstaten de bestaande wet- en regelgeving ten aanzien van WKK evalueren, om na te gaan in hoeverre barrières kunnen worden weggenomen en administratieve procedures kunnen worden gestroomlijnd. Lidstaten moesten aanvankelijk uiterlijk 21 februari 2006 een rapport indienen waarin over de bevindingen wordt gerapporteerd, maar dit is inmiddels met een jaar uitgesteld.

Technisch gesproken verwachten ondernemers dat binnen enkele jaren de seinen op groen komen te staan voor marktintroductie van de Stirling-WKK. Resterende aandachtspunten rondom complexiteit verwachten zij dan opgelost te hebben en daarom worden momenteel investeringen voor productielijnen voorbereid (in samenwerking met buitenlandse partners). Wat betreft de belemmeringen rondom de prijs-prestatieverhouding zijn voor ondernemers vooral de ontwikkelingen rondom de ‘dubbele energiebelasting’ en de meerprijs ten opzichte van de HR-ketel belangrijk voor hun investeringsbeslissing. Zij verwachten de Stirling-micro-WKK de eerste jaren na marktintroductie voor rond de 4500 euro aan consumenten aan te kunnen bieden, waarna later de prijs zal moeten dalen tot de, al eerder genoemde, meerprijs van 1500 euro. Ter overbrugging achten zij daarom een startsubsidie op de aanschaf van micro-WKK installaties door consumenten gewenst voor een succesvolle marktintroductie. Beide belemmeringen vormen momenteel een belangrijk aandachtspunt in de werkgroep Impuls, die kan bijdragen aan een voor alle partijen aanvaardbare oplossing (Overdiep, 2006 en Bijkerk, 2006).

Acceptatie van micro-WKK door de consument

Ook wanneer bovengenoemde barrières afdoende zijn weggenomen, zal micro-WKK waarschijnlijk pas succesvol kunnen worden geïntroduceerd als de prijs-prestatieverhouding ook echt aantrekkelijk wordt gevonden door consumenten.

Zoals gezegd gaan ondernemers ervan uit dat de prijs-prestatieverhouding voor consumenten aantrekkelijk zal zijn als de meerkosten van een micro-WKK-systeem ten opzichte van een

HR-ketel binnen 5 jaar kunnen worden terugverdiend. Deze terugverdientijd zou bij een meerprijs van circa 1500 euro kunnen worden gerealiseerd (Overdiep, 2006 en Stromen, 2006b). De meerinvestering moet daarbij worden terugverdiend door te besparen op de inkoop van elektriciteit. Het leveren van elektriciteit aan het net zal vanwege de op korte termijn verwachte lage terugleververgoedingen geen extra inkomsten leveren (zie volgende pagina).

Het is nog maar de vraag of consumenten op basis van het argument dat zij kunnen besparen op de elektriciteitsrekening bereid zullen zijn om voor een apparaat te kiezen dat duurder in aanschaf is dan de HR-ketel. De geringe penetratie van de spaarlamp in huishoudens laat zien dat dit ook kan tegenvallen, hoewel dit in dat geval ook esthetische redenen kan hebben. In het geval van huurwoningen zijn er nog extra belemmeringen. Huurders zullen in het algemeen niet snel geneigd zijn om te investeren in de aanschaf van energiebesparende voorzieningen voor hun woning, omdat zij deze investering kwijt zijn zodra ze verhuizen. Verhuurders komen te staan voor een qua aanschaf duurder alternatief, terwijl zij niet zelf zullen profiteren van het verminderde energieverbruik.

Bij brandstofcellen systemen zijn de kansen ook sterk afhankelijk van de terugleververgoedingen in de toekomst. Dit komt doordat brandstofcellen systemen bij volledige warmtevraagdekking in veel gevallen meer elektriciteit zullen produceren dan binnen het huishouden nodig is. Het maximale energiebesparings- en emissiereductiepotentieel voor brandstofcellen kan daarom in de praktijk slechts worden gerealiseerd als de vergoeding voor teruggeleverde elektriciteit hoog genoeg is. Als dit niet het geval is, zullen de installaties waarschijnlijk alleen gebruikt worden om aan de eigen elektriciteitsvraag te voldoen. Bij de huidige consumentenprijzen voor aardgas (veel hoger dan de gasprijs voor de elektriciteitsbedrijven) zijn de productiekosten voor deze elektriciteit echter hoger dan wat de energiebedrijven daarvoor zullen willen betalen (de terugleververgoeding). Volgens (Ruijg en Ribberink, 2004) zou de terugleververgoeding ongeveer 6 eurocent/kWh hoger moeten zijn dan nu het geval is, voordat het voor een huishouden interessant wordt om te investeren in een systeem dat meer elektriciteit kan leveren dan het zelf nodig heeft¹⁰. Zolang dat niet het geval is, is het economisch voordeliger om de installatie te dimensioneren op de eigen elektriciteitsvraag. Aan de overige warmtebehoefte kan dan worden voldaan met een hulpbrander. De keerzijde is dat daardoor energiebesparing en emissiereductie lager zijn dan wat potentieel haalbaar is. Bovendien blijft de virtuele centrale dan echt uit beeld (hier wordt op de volgende pagina dieper op ingegaan).

Indien de overheid te zijner tijd¹¹ zou willen stimuleren dat brandstofcellen systemen op warmtevraag worden gedimensioneerd om aldus het maximale potentieel voor energiebesparing en emissiereductie te benutten, dan zou het de eerder genoemde 6 eurocent per geleverde kWh

¹⁰ Hierin zijn ook de kapitaalslasten verrekend die voortvloeien uit de meerkosten voor de aanschaf van een groter gedimensioneerd systeem, minus de uitgespaarde kosten voor de aanschaf van een hulpbrander: een hulpbrander is niet nodig bij een systeem dat gedimensioneerd is op de eigen warmtevraag, wel bij een systeem dat gedimensioneerd is op de eigen elektriciteitsvraag.

¹¹ Dat wil zeggen: tegen de tijd dat op brandstofcellen gebaseerde systemen op de markt komen.

moeten bijpassen¹². Een verplichting aan energiebedrijven om elektriciteit af te nemen en daar meer dan de marktprijs voor te betalen lijkt in een geliberaliseerde markt immers niet erg realistisch. Gesteld dat het verschil tussen terugleververgoeding en productiekosten ook in de toekomst rond 6 eurocent/kWh bedraagt is de subsidie-effectiviteit minder gunstig dan die van de MEP-subsidie voor duurzame energie. Dat komt doordat daar vergelijkbare vergoedingen per kWh voor worden gegeven¹³ en deze elektriciteit in tegenstelling tot die uit micro-WKK volledige CO₂-vrij is.

Behalve op het kostenaspect is er nog beperkt onderzoek gedaan naar de consumentenacceptatie van micro-WKK en de virtuele centrale. Over het algemeen worden er echter geen problemen verwacht met de maatschappelijke acceptatie van micro-WKK. Ook het op afstand aansturen van de micro-WKK, wat belangrijk is voor de ontwikkeling van de virtuele centrale, lijkt geen knelpunt te worden. Het bemeteren van energieconsumptie van huishoudens is immers al een alledaagse praktijk en ook het centraal aansturen van de micro-WKK's hoeft geen problemen op te leveren, zolang consumenten de micro-WKK op dezelfde manier kunnen gebruiken als nu ook de cv-ketel (Smaardijk et al., 2005). Voor consumenten zijn daarom comfort, installatie- en bedieningsgemak belangrijke acceptatiepunten voor de micro-WKK.

De virtuele centrale

Zoals in paragraaf 4.2 reeds is opgemerkt, bestaan er bij de geïnterviewden grote verschillen van inzicht wat betreft de mogelijkheid om micro-WKK-eenheden te koppelen tot een 'virtuele centrale'. Sommigen denken dat deze er vanwege hoge kosten nooit zal komen. Anderen denken dat dit vanwege de extra voordelen wel het geval zal zijn. In tabel 5.4 worden de in de praktijk gehoorde argumenten op een rij gezet.

Tabel 5.4 In de praktijk gehanteerde argumenten voor en tegen de ontwikkeling van de virtuele centrale met micro-warmtekrachtinstallaties.

Argumenten voor	Argumenten tegen
Maatregel om liquiditeit van de Nederlandse markt te vergroten en marktmacht van grote partijen te beperken.	Stirling-systemen worden gedimensioneerd op warmteopwekking en zullen netto een slechts beperkte bijdrage kunnen leveren aan het elektriciteitsnet.
Decentralisatie levert vermindering risico's van onder andere grootscheepse uitval en meer voorzieningszekerheid door spreiding van brandstofgebruik.	Bij brandstofcel-systemen zal het gebruik van de micro-WKK-installatie van de consument zich beperken tot het eigen verbruik omdat dat economisch gunstiger is.
Dure verbruikspieken in het stroomvoorzieningsnetwerk kunnen worden gecompenseerd.	Gebruikspieken van eigenaar micro-warmtekrachtinstallatie zullen samenvallen met de landelijke trends, waardoor dan netto slechts een beperkte bijdrage aan het elektriciteitsnet geleverd kan worden.

¹² Er is van uitgegaan dat dit verschil dan nog hetzelfde is, omdat moeilijk is te voorspellen wat het werkelijke prijsverschil zal zijn.

¹³ Variërend van 1,3 eurocent/kWh voor elektriciteit uit stortgas tot 9,7 eurocent/kWh voor elektriciteit van windmolens op zee.

Minder onderhouds- en storingsgevoelig dan een centrale.	Kostenontwikkeling virtuele centrale zullen niet tegen baten opwegen.
Vermijden van leidingverliezen.	Introductie van virtuele centrale geeft onzekerheid in de markt en is daarmee remmend op investeringsbereidheid producenten.
Minder belasting van het elektriciteitstransport- en distributienet.	Onaantrekkelijk voor producenten, omdat men verwacht een productie-eenheid gereed (reserve) te moeten houden voor balansdoeleinden.
Groter aandeel duurzame energie uit wind en zon mogelijk.	Verwacht wordt dat er op de markt weinig vraag voor lange termijn producten zoals virtuele centrale is.
Risico's die spelen bij bezit van een productie-eenheid (ondernemersrisico en operationele risico's) spelen niet bij een virtuele centrale.	CO ₂ -opslag kan wel bij centrale elektriciteitsproductie plaatsvinden, maar niet bij decentrale elektriciteitsopwekking

Bronnen: DTE (2005), Gasunie (2006), Ruijg (2006), Turkstra (2006), Nieuw Gas (2006)

Het is de vraag welke kans van slagen het concept van virtuele centrale zal hebben indien de marktprijs voor elektriciteit ook in de toekomst lager is dan de productiekosten (zie onder de paragraaf 'acceptatie van micro-WKK door de consument'). Het idee achter zo'n centrale is immers dat er netto elektriciteit aan het net wordt geleverd, en bij de huidige consumentenprijs voor aardgas en de marktprijs voor elektriciteit is het voor huishoudens niet erg aantrekkelijk om hier aan deel te nemen. Mogelijk zijn de in tabel 5.4 genoemde voordelen van een virtuele centrale voor energiebedrijven zodanig groot dat zij voor de elektriciteit uit een virtuele centrale meer dan de marktprijs willen betalen, maar zeker is dat niet. Een andere mogelijkheid is dat deelnemers aan een virtuele centrale net als grote elektriciteitsproducenten een lager tarief voor aardgas gaan betalen of dat de overheid het verschil tussen marktprijs en kostprijs bijpast.

De motivatie voor de ontwikkeling van de virtuele centrale is niet alleen toegespitst op toepassing voor micro-WKK, maar wordt vaak in een breder kader geplaatst waarin micro-WKK samen met duurzame energiebronnen en andere decentrale capaciteit in de elektriciteitsvoorziening van Nederland zou kunnen voorzien. De Dienst uitvoering en toezicht Energie (DtE) is door het ministerie van Economische Zaken gevraagd om een advies voor te bereiden inzake de ontwikkeling van virtuele centrale veilingen in de Nederlandse Visies Marktpartijen. Met dergelijke veilingen zou de liquiditeit van de Nederlandse elektriciteitsmarkt verbeteren. Op dit moment is het advies nog niet gepubliceerd, maar ligt er wel een Informatie- en Consultatiedocument voor virtuele centrale's (DTE, 2005) waarmee de visies van marktpartijen worden geïnventariseerd.

6 Conclusies

Relevante doelstellingen voor de lange termijn

Micro-WKK zou een bijdrage kunnen leveren aan de volgende langetermijndoelstellingen:

- In het kader van het energiebesparingsbeleid streeft het kabinet naar een energiebesparingstempo van 1,5% per jaar vanaf 2012.
- In het kader van klimaatbeleid streeft het kabinet naar reducties van broeikasgasemissies in 2050 van 50% ten opzichte van 1990 (zie Toekomstagenda Milieu).
- In het kader van het Europese luchtkwaliteitsbeleid zijn voor NO_x-emissies nog geen doelen voor de lange termijn aangegeven, maar in het kader van de Thematische Strategie wordt voor 2020 voor Nederland een plafond van 201 kton voorgesteld (een reductie van 48% ten opzichte van 2004).
- Speerpunten voor elektriciteitsvoorziening: leveringszekerheid en voorzieningszekerheid.

Betekenis van micro-WKK voor het behalen van de doelen

Voor micro-WKK komt een aantal technologieën in aanmerking. Dit zijn, voor de Nederlandse markt, de Stirlingmotor, de gasmotor en de brandstofcel. Micro-WKK's gebaseerd op de Stirling- en de gasmotor worden bijna rijp geacht voor marktintroductie. Voor brandstofcel-systemen wordt verwacht dat introductie pas over 5 tot 10 jaar zal kunnen plaatsvinden. De in het rapport gepresenteerde energiebesparings- en emissiereductiepotentieel van micro-WKK zijn gebaseerd op het aantal micro-WKK's dat fabrikanten in de toekomst (tot 2030) verwachten te verkopen en op een veronderstelde ontwikkeling van rendementen en emissiefactoren van micro-WKK en referentietechnieken. Of deze aantallen, rendementen en emissiefactoren daadwerkelijk worden gerealiseerd, zal in de praktijk moeten blijken. De gepresenteerde potentiëlen moeten daarom niet als 'meest waarschijnlijke uitkomsten' worden geïnterpreteerd, maar als potentiëlen die bij een gegeven aantal installaties en gegeven rendementen en emissiefactoren kunnen worden gerealiseerd. De micro-WKK-potentiëlen zijn bovendien niet vergeleken met die van andere mogelijke technieken voor de opwekking van warmte en elektriciteit in de toekomst.

Uitgaande van de in hoofdstuk 3 genoemde aantallen micro-WKK's en rendementen is het energiebesparingspotentieel in vergelijking met gescheiden opwekking van warmte met een HR-ketel en elektriciteit met een elektriciteitscentrale als volgt:

Jaar	Referentie	Besparing in PJ (range als gevolg van verschillende marktverwachtingen)	Besparingstempo (%/jaar) in voorgaande 10 jaar	
			t.o.v. huishoudelijk primair energiegebruik in desbetreffende jaar	t.o.v. Nederlands totaal primair energiegebruik in desbetreffende jaar
2010	STEG	0		
	Park	1		
2020	STEG	11 - 16	0,2 - 0,3	0
	Park	20 - 29	0,3 - 0,5	0 - 0,1
2030	STEG	31 - 55	0,3 - 0,7	0 - 0,1
	Park	54 - 97	0,5 - 1,1	0,1 - 0,2

Uitgaande van de in hoofdstuk 3 genoemde aantallen micro-WKK's, rendementen en CO₂-emissiefactoren is het CO₂-emissiereductiepotentieel in vergelijking met gescheiden opwekking van warmte met een HR-ketel en elektriciteit met een elektriciteitscentrale als volgt:

Jaar	Referentie	Emissiereductie in Mton CO ₂ -eq/jaar (range als gevolg van verschillende marktverwachtingen)	Relatieve reductie (%)	
			t.o.v. huishoudelijke CO ₂ -emissie in desbetreffende jaar (inclusief emissie t.g.v. elektriciteitsgebruik)	t.o.v. Nederlandse CO ₂ -emissie in desbetreffende jaar
2010	STEG	0	0	0
	Park	0	0	0
2020	STEG	0,5 - 0,8	1,7 - 2,6	0,2 - 0,4
	park	1,5 - 2,3	3,8 - 5,8	0,7 - 1,1
2030	STEG	1,5 - 2,8	4,6 - 8,6	0,6 - 1,1
	park	5,3 - 9,8	10,9 - 20,2	2,1 - 3,8

Opgemerkt wordt dat de reductiepercentages in een bepaald jaar in de tabel gelden ten opzichte van de geraamde emissie in datzelfde jaar. De reductiepercentages zullen ten opzichte van de emissies in 1990 (het jaar waar de klimaatdoelstelling aan wordt gerelateerd) groter zijn. Wanneer elektriciteitscentrales CO₂ ondergronds zouden opslaan, kan met micro-WKK welliswaar nog steeds energie bespaard worden, maar zou het reductiepotentieel van CO₂ verminderen of zelfs kunnen omslaan naar een grotere emissie dan bij de referentie. Daar staat tegenover dat bij centrale grootschalige waterstofproductie uit aardgas voor micro-WKK ook CO₂-opslag zou kunnen plaatsvinden en er mogelijk ook (CO₂ neutraal) biogas in micro-WKK's ingezet kan worden.

Uitgaande van de in hoofdstuk 3 genoemde aantallen micro-WKK's, rendementen en NO_x-emissiefactoren is het NO_x-emissiereductiepotentieel in vergelijking met gescheiden opwekking van warmte met een HR-ketel en elektriciteit met een elektriciteitscentrale als volgt:

Jaar	Referentie	Emissiereductie in kton NO _x (range als gevolg van verschillende marktverwachtingen)	Relatieve reductie (%)	
			t.o.v. huishoudelijke NO _x -emissie in desbetreffende jaar (inclusief emissie t.g.v. elektriciteitsgebruik)	t.o.v. Nederlandse NO _x -emissie in desbetreffende jaar
2010	STEG	0	0	0
	Park	0	0	0
2020	STEG	0,5 – 0,7	3 – 4	0
	park	0,7 – 1,0	3 - 5	0
2030	STEG	2,6 – 4,6	16 - 29	1 – 2
	park	3,1 – 5,6	16 - 30	1 - 2

Grote aantallen micro-WKK's die aan het elektriciteitsnet terugleveren, kunnen samen met duurzame bronnen en grotere WKK-installaties worden opgenomen in een digitaal netwerk en centraal worden aangestuurd. Dit wordt aangeduid als een 'virtuele centrale'. Mogelijke voor- en nadelen van de virtuele centrale moeten echter nog in de praktijk worden onderzocht. Stirling-WKK's leveren per eenheid warmte veel minder elektriciteit en zijn daarom minder geschikt voor een virtuele centrale dan brandstofcel-WKK-systemen.

Beoordeling van het ontwikkelingsproces van micro-WKK vanaf het jaar 2000

Na 2000 heeft met betrekking tot Stirling-WKK een ontwikkeling plaatsgevonden van demonstratie-eenheden met enkele installaties naar projecten op systeemniveau en voorbereiding van massaproductie. Deze ontwikkeling heeft ertoe geleid dat de techniek ver genoeg is ontwikkeld om op de markt te worden geïntroduceerd. De fabrikanten verwachten dat marktintroductie van Stirling-micro-WKK's in 2007 of 2008 zal plaatsvinden. Brandstofcel-systemen zitten nog volop in het ontwikkelingstraject, zodat marktintroductie pas over 5 tot 10 jaar wordt verwacht.

De grote commerciële belangen van fabrikanten en onderzoekers verhinderen open communicatie over de resultaten van praktijkexperimenten. Met name de technische prestaties en resultaten van praktijkexperimenten worden in beperkte mate openbaar gemaakt en met elkaar gedeeld. De recent opgerichte samenwerkingsverbanden kunnen een belangrijke rol spelen bij de communicatie en het wegnemen van belemmeringen.

Een belangrijke belemmering voor introductie van Stirling-micro-WKK is dat de consumenten energiebelasting moeten betalen over elektriciteit die ze tijdelijk aan het net leveren en vervolgens weer afnemen, terwijl ze al energiebelasting over het gebruikte gas hebben betaald (dubbele EB). Een andere belemmering is dat de meerprijs van de installaties ten opzichte van HR-ketels nog enkele malen hoger is. Het is de vraag of deze aankooprij, afgezet tegen de jaarlijkse kostenbesparing op de elektriciteitsrekening, aantrekkelijk zal zijn voor consumenten. De marktpartijen verwachten daarom dat het ministerie van Economische Zaken een marktintroductie financieel ondersteunt.

Het is duidelijk dat micro-WKK een bijdrage kan leveren aan energiebesparing en emissiereductie bij huishoudens. Het is echter ook duidelijk dat grote emissiereducties niet worden gerealiseerd in iedere technische en institutionele uitvoeringsvariant. Wanneer de vergoeding voor de aan het net teruggeleverde elektriciteit te laag is of niet gegarandeerd wordt, kan bij brandstofcelssystemen een deel van het besparingspotentieel onbenut blijven doordat de consument ervoor kiest om niet aan het net te leveren. Momenteel is het verschil tussen de marktprijs en de totaal benodigde terugleverprijs in de orde van 6 eurocent/kWh. In de toekomst kan dit anders zijn.

Het risico dat een grootschalige introductie van Stirling-WKK een toekomstige introductie van brandstofcel-WKK – met potentieel meer energiebesparing en emissiereductie – zal belemmeren is waarschijnlijk niet groot. De vervangingssnelheid van verwarmingsinstallaties maakt dat de markt niet voor tientallen jaren ‘dicht’ zal zitten. Ook is het niet waarschijnlijk dat de intensiteit van het ontwikkelingswerk aan de brandstofcel negatief wordt beïnvloed door de marktintroductie van de Stirling-WKK. Voorwaarde voor een succesvolle introductie van brandstofcel-WKK is wel dat deze qua prestaties duidelijke voordelen biedt ten opzichte van Stirling-WKK.

Voor de mogelijke invloed van een grootschalige introductie van de Stirling-WKK op de kansen van virtuele centrales gelden in grote lijnen dezelfde overwegingen. Sowieso zal het nog geruime tijd duren voordat de virtuele centrale ver genoeg is ontwikkeld om te kunnen worden geïntroduceerd, ook omdat grootschalige introductie waarschijnlijk pas kan plaatsvinden als systemen voor warmteopslag zijn ontwikkeld en de brandstofcel-WKK voldoende is gepenetreerd.

De rol van het Nederlandse beleid

Micro-WKK was al voor 2000 (start van het transitiebeleid met NMP4) in beeld. Het energietransitiebeleid heeft bijgedragen aan de totstandkoming van een groot aantal samenwerkingsverbanden en de zichtbaarheid van de optie versterkt. Het ministerie van Economische Zaken heeft – daarbij ondersteund door SenterNovem – partijen op het gebied van micro-WKK bij elkaar weten te brengen via het transitiepad onder het platform ‘Nieuw Gas’. Naast dit platform bestond ook al een micro-WKK werkgroep bij Cogen en inmiddels is door fabrikanten de ‘Smart Power Foundation’ opgericht. Recent is ook de werkgroep Impuls opgericht, waar een brede groep belanghebbenden samen met de beleidsmaker EZ werkt aan de knelpunten voor introductie van micro-WKK. Met name door het platform Nieuw Gas en de, door de overheid gesubsidieerde, experimenten lijkt micro-WKK meer aandacht te krijgen in pers en media.

In Nederland vindt momenteel R&D plaats voor de brandstofcel-WKK en de virtuele centrale. Ook vond er begin van deze eeuw onderzoek plaats rondom de Stirling-WKK. Dit onderzoek werd financieel door de overheid ondersteund met subsidieregelingen. Ook vinden er in Nederland sinds 2002 praktijkgerichte projecten met micro-WKK plaats, eveneens met finan-

ciële ondersteuning door de overheid. De overheid zet momenteel echter geen instrumenten in om de marktintroductie van micro-WKK te stimuleren: noch met normen of verplichtingen, noch met ondersteunende financiële prikkels, zoals aanschafsubsidies.

Referenties

- Bijkerk M. (2006). Persoonlijke communicatie met M. Bijkerk, Productmanager Remeha, d.d. 11 september 2006.
- Bruijn F.A. de (2005). Brandstofcellen: hoever zijn we nu? ECN-RX—05-118, Petten.
- Cogen (2003) Micro-CHP needs specific treatment in the European Directive on Cogeneration. Cogen Europe.
- Cogen (2006). Technisch energie- en CO₂-besparingspotentieel van micro-WKK in Nederland (2010-2030), Cogen projects, ECN, Ecofys, TNO, Gasunie E&T in opdracht van de werkgroep Decentraal, juli 2006.
- CPB/MNP/RPB (2006). Welvaart en LeefOmgeving, een scenariostudie voor Nederland in 2040, Centraal Planbureau, Milieu- en Natuurplanbureau, Ruimtelijk Planbureau, Den Haag/Bilthoven.
- CRISP (2006). Distributed Intelligence in CRITICAL Infrastructures for Sustainable Power. <http://www.ecn.nl/crisp/introduction.html>
- Dril, A.W.N. van en H.E. Elzenga (2005). Referentieramingen energie en emissies 2005-2020, ECN-C—05-018, Petten.
- DTE (2005). Informatie- en Consultatiedocument ten behoeve van het advies van DtE aan het ministerie van Economische Zaken (EZ) inzake Virtual Power Plant-veilingen voor de Nederlandse groothandelsmarkt, Dienst uitvoering en Toezicht Energie, Den Haag.
- ECN (2004). Intermediate results of the Enatec micro cogeneration system field trials, ECN-RX—04-011, Petten.
- ECN (2006). Gemiddeld energiegebruik per huishouden, 3 juli 2006, <http://www.energie.nl/index2.html?stat/trends024.html>.
- Energietransitie (2006). Resultaten beschikte OTC aanvragen, 3 juli 2006, <http://www.senternovem.nl/energietransitie/Financiering/otc/index.asp>.
- Energy Valley (2006). Smart Power System maakt energierevolutie mogelijk, 3 juli 2006, <http://www.energyvalley.nl/index.php?id=1234>.
- EP (2004). Directive 2004/8/ec of the european parliament and of the council of 11 February 2004 on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC.
- EU (2004a). European Hydrogen and Fuel Cell projects. Project Synopses Sixth Framework Programme, European Commission, Brussels.
- EU (2004b) European distributed energy resources projects. Project Synopses Sixth Framework Programme, European Commission, Brussels.
- EU (2002) European Hydrogen project 1998-2002, Brussels.

- EZ (2005), Nu voor later, Energierapport 2005, Den Haag.
- Gasunie (2006). Thuiscentrale, Voor een duurzame toekomst. Gasunie Trade & Supply B.V., Groningen.
- Gasunie (2006), Calorforce: thuiscentrale, 3 juli 2006, <http://www.gasunie.nl/Energietransitie/Calorforce+Thuiscentrale.htm>
- Harmsen, R., Snellen, J.H. & Hekkert, M.P. (2006) Wat beleidsmakers moeten weten over microWKK. Arena. 3, 29-32.
- Hilst, F van der (2005). Micro-w/k, een macro-innovatie?; Een analyse van de ontwikkeling van drie micro-wk-technologieën op basis van technologische karakteristieken en technologie specifieke innovatiesysteemfuncties, Universiteit Utrecht.
- Intech K&S (2005). Special warmte-kracht, oktober 2005.
- Kroon, P., Bakker, S.J.A. & De Wilde, H.P.J. (2005). NO_x-uitstoot van kleine bronnen, update van de uitstoot in 2000 en 2010, ECN-C--05-015, Petten.
- Kroon, P. (2006). Persoonlijk communicatie met P. Kroon van ECN, d.d. 5 juli 2006.
- Laag, P.C. en G.J. Ruijg (2002). Micro-warmtekrachtsystemen voor de energievoorziening van Nederlandse huishoudens, ECN-C—02-006.
- NEN (2006) Micro WKK bespaart 50% energiekosten, 3 juli 2006, artikel op <http://www2.nen.nl/nen/servlet/dispatcher.Dispatcher?id=221242>, mei 2006.
- Novem (2002) Warmtekrachtkoppeling in de gebouwde omgeving, stand der techniek en marktontwikkelingen. ECN Petten (samenstelling).
- PNG (2006). Verslaglegging van de workshops van de bijeenkomst 'Nieuw Gas in Actie!', gehouden 30 mei 2006 in Apeldoorn, Platform Nieuw Gas, 26 juni 2006.
- Ros J.P.M. et al. (2006). Evaluatiemethodiek voor NMP4-transities, MNP-rapport 500083001, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- Ruijg G.J. en P.C. van der Laag (2003). Rentabiliteit van micro-warmtekrachtsystemen, beschouwingen vanuit een particulier (eindgebruikers-)perspectief, ECN Schoon Fossiel, ECN-C—03-012.
- Ruijg, G.J. en J.S. Ribberink (2004). Optimale inzet van micro-wk, Spanningsveld tussen economie en ecologie, ECN-C—04-118.
- Ruijg, G.J. (2005). Micro-warmtekracht: Hoe magisch is de Toverketel?, ECN-RX—05-116, ECN colloquium 2 mei 2005.
- Ruijg, G.J. (2006). Persoonlijke communicatie G.J. Ruijg d.d 29 juni 2006.
- Sijbring, H (2006). Persoonlijke communicatie met H. Sijbring, voorzitter Smart Power Foudation, d.d. 11 september 2006.
- Smaardijk et al. (2005). Disperse energie – Liberale markt. Disperse energieproductie in een geliberaliseerde energiemarkt, ALTRAN, Provincie Zeeland en Delta N.V.

Statline (2006) Energiebalans centrale elektriciteitsproductie, 3 juli 2006, <http://statline.cbs.nl>

SPF (2006). Marktonwikkeling Micro- en mini-warmtekracht in Nederland tot 2020, Smart Power Foundation, april 2006.

SPS (2006). Smart Power System, description of the ENICON and first trial projects, www.smartpowersystem.com, juni 2006.

Stromen (2006a). Prijs brandstofcel snel op concurrerend niveau, Artikel in Stromen nummer 7, 21 april 2006.

Stromen (2006b). Microwarmtekrachtcentrales worden rijp voor de markt, Artikel in Stromen nummer 13/14, 18 augustus 2006.

TAM (2006). Toekomstagenda Milieu: schoon, slim, sterk, VROM 6139, Den Haag.

TNG (2002). Wegen naar Nieuw Gas, Mogelijkheden voor een transitie naar duurzame gasinzet in kaart, Rapport Team Nieuw Gas, december 2002.

TNG 2003. Wegen naar Nieuw Gas: 'De eerste stap is een daalder waard', Transitiepaden naar een duurzame gasinzet; visie opgesteld door het Team Nieuw Gas, december 2003.

TNO/ECN (2006). Building Future, visie op de ontwikkelingen naar een energie-neutrale gebouwde omgeving. Samenwerking TNO en ECN bij energie-toepassingen in de gebouwde omgeving. Rapport nr 2004-BBE-B-597/KNB (TNO-Bouw) of DEGO-Memo 2004-15 (ECN), december 2004.

Turkstra, J.W. (2006). The Gasunie smart distributed power systems program, Gaunie Engineering & Technology, 23rd World Gas Conference, Amsterdam.

UCE/STS/ECN/Ecofys (2001) Adding non-CO₂ data to Database Clean Energy Systems 2050, Update of final report Phase 1. Rapport nr. M/773001/01, Bilthoven.

Vaillant (2006), 3 juli 2006, www.vaillant.de.

WDE (2006). 3 juli 2006, op http://www.senternovem.nl/energietransitie/nieuw_gas/Werkgroepen/Werkgroep_decentrale_energieopwekking.asp

Wolferen, H. van en P.A. Oostendorp (2005). Strijd om opvolging van de HR-ketel, artikel in VV+, TNO Bouw en Ondergrond.

Interviews met:

Dhr Gielen, Enatec (2005)

Dhr. Overdiep, Gasunie Trade & Supply (2005, met aanvullingen in 2006)

Dhr. Gigler, Platformsecretaris Nieuw Gas (2005)

Dhr. Ruijg, ECN (2006)

Dhr. Jager, Stichting Natuur en Milieu (2005)