

Energie- en CO₂-besparingspotentieel van micro-wkk in Nederland (2010-2030)

UPDATE 2008



Update 2008 Energie- en CO₂-besparingspotentieel van micro-wkk in Nederland

In juli 2006 is een eerste versie verschenen van het potentieelrapport van micro-wkk. Ten opzichte van het vorige rapport

- is de methodiek aangepast waarmee het referentierendement voor centrale opwekking van elektriciteit wordt bepaald,
- zijn de rendementen van micro-wkk aangepast volgens de nieuwste inzichten,
- is een bijgewerkt marktscenario van SPF gehanteerd,
- en is een disclaimer toegevoegd om de lezer te informeren over de scope van het rapport en gehanteerde uitgangspunten.

Opdrachtgever:

Werkgroep Decentrale Gastoepassingen, onderdeel van Platform Nieuw Gas

Contactpersoon: Ivo Blezer (werkgroepsecretaris).

Email: i.blezer@senternovem.nl

Website: www.energietransitie.nl

Auteurs:

COGEN Projects	Arjen de Jong
	Margot van Gastel
ECN	Ernst-Jan Bakker
	Harm Jeeninga
Ecofys	Jan Dam
TNO	Hans van Wolferen

Dit rapport is tot stand gekomen met medewerking van:

CE Delft	Frans Rooijers
	Marjolein Koot
COGEN Projects	Stijn Schlatmann
ECN	Ad Seebregts
	Marijke Menkveld
	Yvonne Boerakker
Ecofys	Robert Harmsen
Gasunie E&T	Jan Willem Turkstra

Disclaimer

Scope van het rapport

- Het rapport beschouwt alleen micro-warmtekrachtkoppeling (micro-wkk). Het effect van alternatieve of concurrerende maatregelen (inclusief bijbehorend besparingspotentieel of kosteneffectiviteit) op marktpenetratie en besparingspotentieel van micro-wkk is niet beschouwd.
- Het rapport betreft een studie naar technisch potentieel. De business cases, met aspecten zoals marketing en rentabiliteit (meerkosten, financieel eindplaatje voor eindgebruiker inclusief terugleververgoedingen, etc.), zijn niet specifiek beschouwd. In het aangeleverde scenario voor marktpenetratie spelen economische afwegingen wel deels een rol.

Gehanteerde uitgangspunten

- Voor de marktpenetratie scenario's van micro-wkk is uitgegaan van het door Smart Power Foundation¹ (SPF) aangeleverde scenario, waarin een terugverdientijd van maximaal 5 jaar is aangenomen (onder aanname van voldoende ondersteuning en terugleververgoedingen). SPF heeft deze terugverdientijd bepaald op basis van aannamen die in het kader van dit onderzoek niet zijn getoetst of noodzakelijkerwijs zijn onderschreven. Om de gevoeligheid van deze marktvoorspelling te toetsen is een tweede, minder positief scenario toegevoegd.
- Als referentie voor warmteopwekking is de HR-ketel aangehouden. Referenties met een lager (bijv. VR-ketel) of hoger (bijv. warmtepomp) rendement zijn in principe ook mogelijk, maar gezien de huidige marktpenetratie is de HR-ketel nu de meest logische referentie.
- Als referentie voor centrale elektriciteitsopwekking is het marginale rendement (en emissie) van het centrale park aangehouden. Uitgangspunt is dat tot en met 2020 de elektriciteitsproductie door micro-wkk kan worden opgevangen door bijregelen van bestaand vermogen (operational margin) en dat in 2030 door micro-wkk uitrol het bijbouwen van één of meerdere centrales wordt vermeden (build margin, volgens Best Available Technology). Voor 2030 is daarbij gekeken naar een scenario met een beperkte en een ambitieuze CO₂-reductiedoelstelling, in lijn met huidige (nog niet volledig uitgewerkte) beleidsvoornemens.
- Voor de micro-wkk rendementen is gebruik gemaakt van prognoses, deels gebaseerd op 'expert opinions'. Deze prognoses bevatten een aanzienlijke onzekerheid o.a. omdat de technologie nog sterk in ontwikkeling is. Uitgangspunt voor de getallen zijn 'best practice' rendementen.
- Voor de ontwikkeling van de warmtevraag in de totale woningmarkt inclusief nieuwbouw, wordt uitgegaan van bestaande ECN studies. Voor dit rapport wordt gebruik gemaakt van het SAWEC [8] model tot 2020, aangevuld met cijfers uit de Welvaart en LeefOmgeving (WLO) [9] studie voor 2030.
- Bij de verdeling van de beschikbare micro-wkk's over de huishoudens is aangenomen dat huizen waar de grootste energiebesparing mogelijk is het eerst micro-wkk plaatsen. De uitrol van micro-wkk begint hierdoor in huishoudens die circa 1,5 keer de gemiddelde warmtevraag hebben. Indien uitgegaan zou worden van een verdeling over het gemiddelde woningbestand dan zou het effect op energieverbruik en CO₂-emissies lager (circa 20%) uitvallen.
- Aangenomen is dat de inzet van micro-wkk gemaximaliseerd wordt door een slimme, warmtevraag-gestuurde regeling. Ook warm tapwater vraag wordt door micro-wkk gedekt, middels een buffervat. Aanname is dat via een netkoppeling een overschot aan elektriciteit tijdelijk 'opgeslagen' kan worden.

¹ Smart Power Foundation is een stichting waarin Nederlandse ontwikkelaars van micro-wkk samenwerken.

Grenzen van de studie

- Uitgangspunt is Gronings aardgas als brandstof voor HR-ketel en micro-wkk. Het effect van bijmengen van alternatieve, duurzame energiedragers zoals groen gas of waterstof is achterwege gelaten.
- Het elektrische vermogen van micro-wkk is gestandaardiseerd op 1 kWe. Er zijn momenteel al micro-wkk's in ontwikkeling die een groter vermogen hebben. Deze aanname beperkt de effecten van micro-wkk.
- Het concept van een virtuele energiecentrale is buiten beschouwing gelaten.

Een groot deel van de input voor deze studie betreft scenario's (o.a. voor ontwikkeling van woningvoorraad en energievraag, referentie parkrendementen, marktpenetratie en rendementontwikkeling micro-wkk). Deze scenario's bevatten elk uiteraard onzekerheden (die toenemen naarmate het zichtjaar verder weg ligt) of uitgangspunten waar verschillende opvattingen over bestaan.

Samenvatting

Dit rapport is een gezamenlijk standpunt van zes partijen, te weten CE, Cogen, ECN, Ecofys, Gasunie Engineering & Technology en TNO, hoe het potentieel (reductie van energiegebruik en CO₂-emissie) van micro-wkk in Nederland tot 2030 bepaald moet worden. De resultaten van dit rapport stellen beleidsmakers en de betrokken partijen in staat deze potentie te bepalen om daarmee de rol van micro-wkk in het energietransitie traject van het Ministerie van Economische Zaken verder vorm te geven.

Micro-warmtekrachtkoppeling (micro-wkk) wordt door een aantal partijen in Nederland gezien als één van de sleuteltechnologieën in het transitiepad naar een meer duurzame gasvoorziening. Omdat de inschattingen van het potentieel aan energiebesparing en CO₂-emissiereductie van micro-wkk sterk uiteenliepen, heeft de Werkgroep Decentrale Gastoepassingen in juli 2006 een studie laten uitvoeren naar de effecten van micro-wkk op de Nederlandse energievoorziening tot 2030 [1] onder de veronderstelling dat micro-wkk een succesvolle marktintroductie doorloopt. In de loop van 2007 bleken de uitgangspunten voor deze studie te moeten worden bijgewerkt door o.a. de snel veranderende energiemarkt. Daarom is vanuit de Werkgroep Decentrale Gastoepassingen besloten om een update van het rapport uit 2006 uit te brengen. De belangrijkste veranderingen ten opzichte van het vorige rapport zijn:

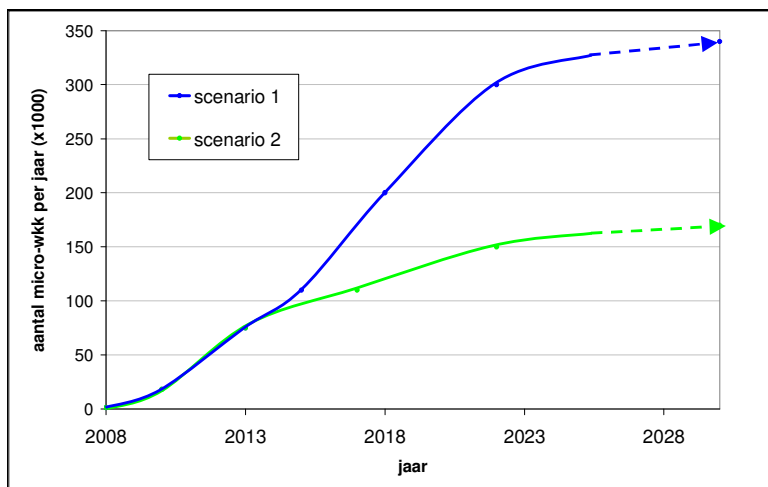
- De methodiek waarmee het referentierendement voor centrale opwekking van elektriciteit wordt bepaald is aangepast,
- De rendementen van micro-wkk zijn aangepast volgens de nieuwste inzichten,
- Er is een bijgewerkt marktscenario van SPF gehanteerd,

Decentrale opwekking van elektriciteit met micro-wkk levert een besparing op van fossiele brandstoffen ten opzichte van de huidige gescheiden opwekking van warmte en elektriciteit, doordat ook de vrijgekomen warmte volledig en efficiënt benut kan worden in huishoudens. Hoe groot het potentieel aan fossiele energiebesparing en CO₂-emissiereductie met micro-wkk is in de periode tot 2030, is onder meer afhankelijk van de technologie- en marktontwikkeling van de micro-wkk zelf maar ook van de ontwikkeling van energievraag in de totale woningvoorraad en de technologie-ontwikkeling van de gescheiden opwekking van elektriciteit en warmte.

In deze studie zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Als referentie voor warmteopwekking is de HR-ketel aangehouden.
- Als referentie voor centrale elektriciteitsopwekking is het marginale rendement (en emissie) van het centrale park aangehouden. Uitgangspunt is dat tot en met 2020 de elektriciteitsproductie door micro-wkk kan worden opgevangen door bijregelen van bestaand vermogen (STEG-centrale) en dat in 2030 door micro-wkk uitrol het bijbouwen van één of meerdere centrales wordt vermeden. Voor 2030 wordt een vergelijking gemaakt met een nieuwbouw STEG-centrale en een kolengestookte centrale met CO₂-afvang
- Voor de micro-wkk rendementen is gebruik gemaakt van prognoses, deels gebaseerd op 'expert opinions'. Deze prognoses bevatten een aanzienlijke onzekerheid o.a. omdat de technologie nog sterk in ontwikkeling is. Uitgangspunt voor de getallen zijn 'best practice' rendementen.
- Bij de verdeling van de beschikbare micro-wkk's over de huishoudens is aangenomen dat huizen waar de grootste energiebesparing mogelijk is het eerst micro-wkk plaatsen. De uitrol van micro-wkk begint hierdoor in huishoudens die circa 1,5 keer de gemiddelde warmtevraag hebben.
- Voor de ontwikkeling van de warmtevraag in de totale woningmarkt, inclusief nieuwbouw, wordt uitgegaan van bestaande ECN studies. Voor dit rapport wordt gebruik gemaakt van het SAWEC [9] model tot 2020, aangevuld met cijfers uit de Welvaart en LeefOmgeving (WLO) [10] studie voor 2030.
- Aangenomen is dat de inzet van micro-wkk gemaximaliseerd wordt door een slimme, warmtevraag-gestuurde regeling. Ook warm tapwater vraag wordt door micro-wkk gedekt, middels een buffervat.
- Alle micro-wkk's hebben een elektrisch vermogen van 1 kWe.
- Om inzicht te verkrijgen in de invloed van de marktontwikkeling van micro-wkk op de energiebesparing en CO₂-emissiereductie, worden er twee verschillende scenario's doorgerekend. Basis voor deze marktscenario's is de analyse van Smart Power Foundation [2], waarin de Nederlandse ontwikkelaars van micro-wkk vertegenwoordigd zijn. Aan dit scenario is een tweede

scenario toegevoegd. In het tweede scenario stabiliseert de markt zich op de helft van de geplaatste aantallen per jaar ten opzichte van het eerste scenario, zie onderstaand figuur.



Figuur 1.1: Twee marktscenario's voor micro-wkk in Nederland

Het effect van concurrerende alternatieven en duurzame energiedragers zoals groen gas en de virtuele centrale worden buiten beschouwing gelaten.

In onderstaande tabel zijn de belangrijkste uitgangspunten samengevat:

Tabel 1: Overzicht van gehanteerde uitgangspunten

		- 2010	2010 - 2015	2015 - 2020	2020 - 2030
Best beschikbare micro-wkk	categorie	C	C-B	B	B-A
Elektrisch rendement micro-wkk	%	15%	20%	25%	30%
Thermisch rendement micro-wkk	%	90%	85%	80%	75%
Totaalrendement micro-wkk	%	105%	105%	105%	105%
Cumulatief aantal micro-wkk toestellen (x1000)	Scenario 1	18	358	1358	3840
	Scenario 2	18	327	937	2009
CO ₂ -emissiefactor STEG ²	g/kWh	385	385	385	325
CO ₂ -emissiefactor kolen CCS vanaf 2020 ³	g/kWh	-	-	-	120
Elektrisch rendement STEG ⁴	%	50,5%	50,5%	50,5%	59,6%
Elektrisch rendement kolencentrale (IGCC) met CCS vanaf 2020 ⁵	%	-	-	-	41,3%

Een groot deel van de input voor deze studie betreft scenario's (o.a. voor ontwikkeling woningvoorraad, energievraag, referentierendementen en marktpenetratie micro-wkk). Deze scenario's bevatten elk uiteraard onzekerheden (die toenemen naarmate het zichtjaar verder weg ligt) of uitgangspunten waar verschillende opvattingen over bestaan. De resultaten van deze studie zijn alleen geldig voor de hier genoemde uitgangspunten.

² Middenwaarde voor type centrale

³ Middenwaarde voor type centrale

⁴ Inclusief 3,9% netverliezen, rendementen 'bij gebruiker'

⁵ Inclusief 3,9% netverliezen, rendementen 'bij gebruiker'

Resultaten

Het resultaat van deze studie is enerzijds een breed gedragen methodiek en uitgangspunten voor de bepaling van de potentie van micro-wkk en anderzijds inzicht in het potentieel van micro-wkk voor de reductie van het primaire energiegebruik en CO₂-emissie. De uitkomsten stellen de lezer in staat om, gegeven zijn uitgangspunten, de energiebesparing en de CO₂-emissiereductie van micro-wkk voor een bepaald zichtjaar in Nederland te bepalen.

In de weergave van de resultaten wordt onderscheid gemaakt in een periode voor en na 2020, achtergrond is het verschil in referentie: tot 2020 wordt ervan uitgegaan dat micro-wkk leidt tot het terugregelen van bestaande, regelbare centrales ("operational margin"). Na 2020 wordt voor de referentie van elektriciteit aangenomen dat de bouw van nieuwe elektriciteitscentrales wordt vermeden ("build margin").

In Tabel 2 worden de resultaten voor 2020 van de energiebesparing en CO₂-emissiereductie voor de twee marktscenario's weergegeven onder de gedane aannames.

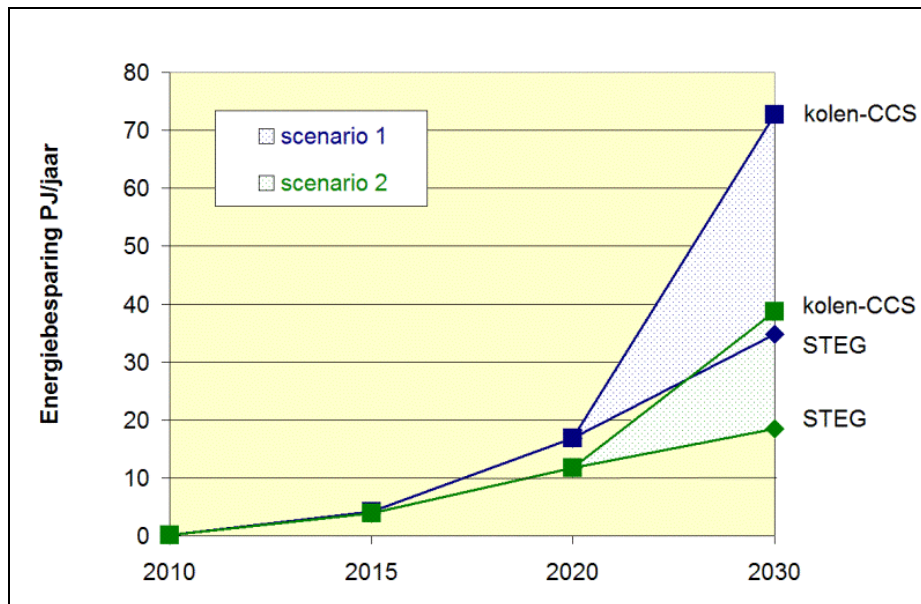
Tabel 2: Energiebesparing en CO₂ emissiereductie in 2020

	Energiebesparing]	CO ₂ -emissiereductie	
		Middenwaarde	Volledige range
Scenario 1	17 PJ/jr	0,9 Mton/jr	0,6 - 1,1 Mton/jr
Scenario 2	12 PJ/jr	0,6 Mton/jr	0,4 - 0,7 Mton/jr

Resultaten tot en met 2030

Voor de zichtperiode 2020 tot 2030 wordt de spreiding in de resultaten groter doordat het aantal onzekerheden sterk toeneemt. Er zijn onzekerheden met betrekking tot de marktontwikkeling van de micro-wkk zelf, de afname van de warmtevraag als gevolg van de huidige beleidsvoornemens voor energiebesparing en de onzekerheid over welke elektriciteitscentrale in deze periode zou worden geplaatst. Deze laatste onzekerheid heeft verreweg het grootste effect.

Ervan uitgaande dat er in deze periode nieuwe elektriciteitscentrales worden vermeden (zie ook hoofdstuk 2), wordt het effect van micro-wkk bepaald door een vergelijking te maken met twee verschillende referenties: een gasgestookte STEG-centrale en een kolengestookte IGCC centrale met CCS. Dit leidt tot de volgende resultaten:

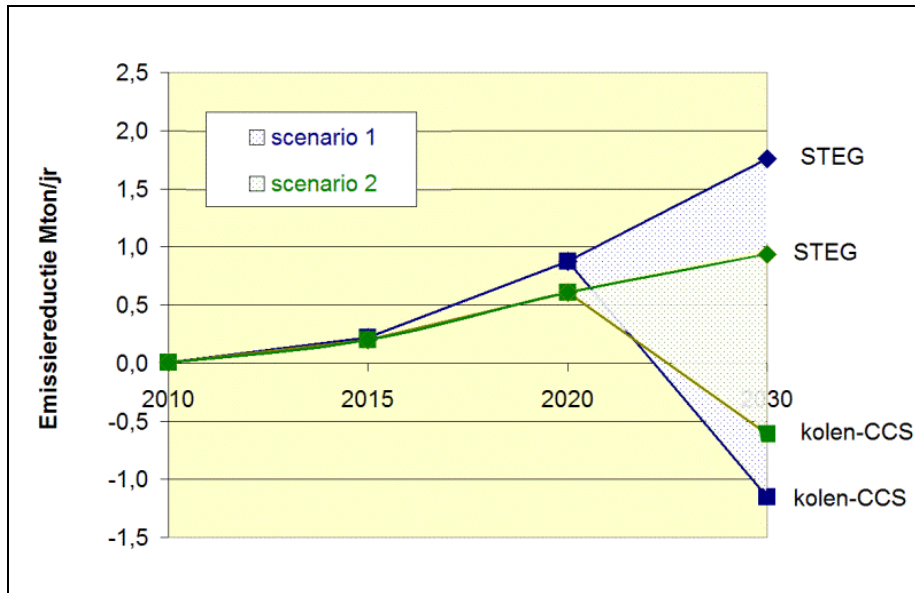


Figuur 1.2: Resultaten energiebesparing tot en met 2030

Micro-wkk bespaart energie, onafhankelijk van het gekozen marktscenario of de twee hier gehanteerde referenties voor centrale fossiele elektriciteitsopwekking. Deze energiebesparing ligt tussen de 19 en 73 PJ per jaar in 2030. Dit komt overeen met een brandstofbesparing van 0,6 tot 2 miljard m³ aardgasequivalenten. Met micro-wkk worden de in Nederland beschikbare primaire

brandstoffen dus efficiënter ingezet maar dit leidt niet noodzakelijkerwijs tot een reductie van CO₂-emissies.

De resultaten voor CO₂-emissiereductie tot 2030 zijn weergegeven in Figuur 1.3:



Figuur 1.3: CO₂-emissiereductie met micro-wkk in Nederland tot en met 2030

Duidelijk wordt dat de CO₂-emissiereductie zeer sterk afhankelijk is van het type elektriciteitscentrale waarmee wordt vergeleken. Als CO₂ opvang een succesvolle demonstratiefase doorloopt en op grote schaal economisch toegepast gaat worden, zal micro-wkk leiden tot een toename van de CO₂-emissies. Vergelijken met een zeer moderne STEG centrale levert micro-wkk nog wel een bijdrage in de CO₂-emissiereductie voor beide marktscenario's.

Energiebesparing en CO₂-emissiereductie van micro-wkk in nationaal perspectief

Volgens de CBS energiebalans verbruiken de Nederlandse huishoudens momenteel ongeveer 10 miljard m³ aardgas en 24 TWh elektriciteit. Dat komt neer op een primair energieverbruik van circa 540 PJ per jaar. Volgens de referentieraming van ECN en RIVM is de totale uitstoot van de gebouwde omgeving 30 Mton in 2005 [4]. Dit zijn zowel de emissies als gevolg van aardgasverbruik als het elektriciteitsverbruik.

Op basis van de hier gekozen uitgangspunten bespaart micro-wkk 12 tot 17 PJ in 2020. Daarmee kan micro-wkk een significante bijdrage leveren aan de ambities om energie te besparen in de woningbouw. Ter vergelijking, in het plan Meer met Minder, dat door de overheid wordt ondersteund, is de doelstelling voor de woningbouw in 2020 een energiebesparing van 78 PJ door middel van isolatie en efficiëntere installaties [11]. Hierbij moet worden opgemerkt dat de voorziene vraagreductie in Meer met Minder mogelijk een beperkend effect heeft op de potentiële bijdrage van micro-wkk.

Ook op het gebied van CO₂-emissiereductie kan micro-wkk een bijdrage leveren aan de doelstellingen van de overheid. Voor micro-wkk geldt dat in 2020 in vergelijking tot de huidige referentietechniek een emissiereductie van 0,4 tot 1,1 Mton/jaar wordt behaald. Ter vergelijking, in het werkprogramma Schoon en Zuinig [12] dat het kabinet vorig jaar heeft gepresenteerd is een doelstelling opgenomen voor CO₂-emissiereductie voor de gebouwde omgeving van 6-11 Mton in 2020 ten opzichte van ongewijzigd beleid.

Voor 2030 zijn er nog geen concrete beleidsdoelen geformuleerd om mee te vergelijken (maar verdere reductie ligt in de lijn der verwachting). Echter, op lange termijn is, afhankelijk van de gekozen referentie, zowel een positief als negatief effect op CO₂-emissiereductie mogelijk;

Tot slot, micro-wkk maakt efficiënter gebruik van aardgas als hoogwaardige brandstof dan de HR-ketel en een moderne elektriciteitscentrale tot 2030 en kan daardoor een volgende stap zijn in het toepassen van efficiëntere installaties in de woningbouw.

Inhoudsopgave

DISCLAIMER	3
SAMENVATTING	5
HOOFDSTUK 1 ACHTERGROND EN OPZET	10
INLEIDING	10
WERKWIJZE EN AANPAK	11
HOOFDSTUK 2 REFERENTIEKADER	12
REFERENTIESITUATIE WARMTE	12
REFERENTIESITUATIE ELEKTRICITEIT	13
INLEIDING	13
HOOFDSTUK 3 UITGANGSPUNTEN MICRO-WKK	17
TECHNOLOGIEËN	17
MICRO-WKK CATEGORIEËN	20
MICRO-WKK VOOR RUIMTEVERWARMING EN WARMTAPWATER	22
AANDEEL MICRO-WKK IN WARMTEPRODUCTIE RUIMTEVERWARMING	23
HOOFDSTUK 4 MARKTONTWIKKELING	24
ONTWIKKELING ENERGIEVRAAG IN HUISHOUDENS	24
PENETRATIESCENARIO'S	28
AANTALLEN MICRO-WKK PER MARKTSEGMENT	30
HOOFDSTUK 5 ENERGIEBESPARING EN CO₂-EMISSIEREDUCTIE	32
RESULTATEN TOT 2020	32
RESULTATEN NA 2020	33
ENERGIEBESPARING EN CO ₂ -EMISSIEREDUCTIE IN NATIONAAL PERSPECTIEF	35
VERVOLGONDERZOEK	36
REFERENTIES	37
BIJLAGES	38
BIJLAGE I CONSULTATIE WERKGROEP MICRO-WKK	38
BIJLAGE II GRAADDAGEN METHODE	39
BIJLAGE III AANDEEL MICRO-WKK IN RUIMTEVERWARMING EN WARMTAPWATER	41
BIJLAGE IV TABELLEN ONTWIKKELING WONINGBESTAND EN VRAAG NAAR RUIMTEVERWARMING	42
BIJLAGE V MARKTPENETRATIE VAN MICRO-WKK IN NEDERLAND	44

Hoofdstuk 1 Achtergrond en opzet

Inleiding

Aardgas neemt in de Nederlandse economie een centrale plaats in. Maatschappelijke discussies over de duurzaamheid, emissies van broeikasgassen, leveringszekerheid en afhankelijkheid van import van grondstoffen leggen de noodzaak van een duurzame gasvoorziening bloot. Het Platform Nieuw Gas, één van de 5 platforms binnen het energietransitietraject van het ministerie van EZ, richt zich op de realisatie van die duurzame gasvoorziening. Binnen het Platform Nieuw Gas streeft de Werkgroep decentrale energievoorziening naar o.a. het tot ontwikkeling brengen van micro-wkk.

Warmtekrachtkoppeling op woningniveau, micro-wkk, is een van de opties die zou kunnen bijdragen aan de verduurzaming van de Nederlandse energievoorziening. Decentrale opwekking van elektriciteit met micro-wkk levert een besparing op van (fossiele) brandstoffen ten opzichte van gescheiden opwekking, doordat ook de vrijgekomen warmte volledig en efficiënt benut kan worden in huishoudens.

Hoe groot het potentieel aan fossiele energiebesparing en CO₂-emissiereductie met micro-wkk is in de periode tot 2030, is afhankelijk van de technologieontwikkeling van de micro-wkk zelf, maar zeker ook van bijvoorbeeld de ontwikkeling van warmtevraag in woningen en de technologie-ontwikkeling van de gescheiden opwekking van elektriciteit en warmte. Doordat verschillende partijen telkens op basis van verschillende uitgangspunten en verschillende systeemgrenzen de milieuvoordelen van micro-wkk presenteren, is het voor overheden en marktpartijen lastig eenduidig te bepalen wat de bijdrage van micro-wkk voor Nederland kan zijn.

Met deze achtergrond heeft de Werkgroep Decentrale Gastoepassingen in juli 2006 een studie laten uitvoeren naar de effecten van micro-wkk op de efficiëntie en emissie van de Nederlandse energievoorziening tot 2030 [1], onder de veronderstelling dat micro-wkk een succesvolle marktintroductie doorloopt. In de loop van 2007 bleken de uitgangspunten voor deze studie te moeten worden bijgewerkt door o.a. de snel veranderende energiemarkt. Daarom is vanuit de Werkgroep Decentrale Gastoepassingen besloten om een update van het rapport uit 2006 uit te brengen. De belangrijkste veranderingen ten opzichte van het vorige rapport zijn:

- De methodiek waarmee het referentierendement voor centrale opwekking van elektriciteit wordt bepaald is aangepast.
- De rendementen van micro-wkk zijn aangepast volgens de nieuwste inzichten.
- Er is een bijgewerkt marktscenario van SPF gehanteerd.

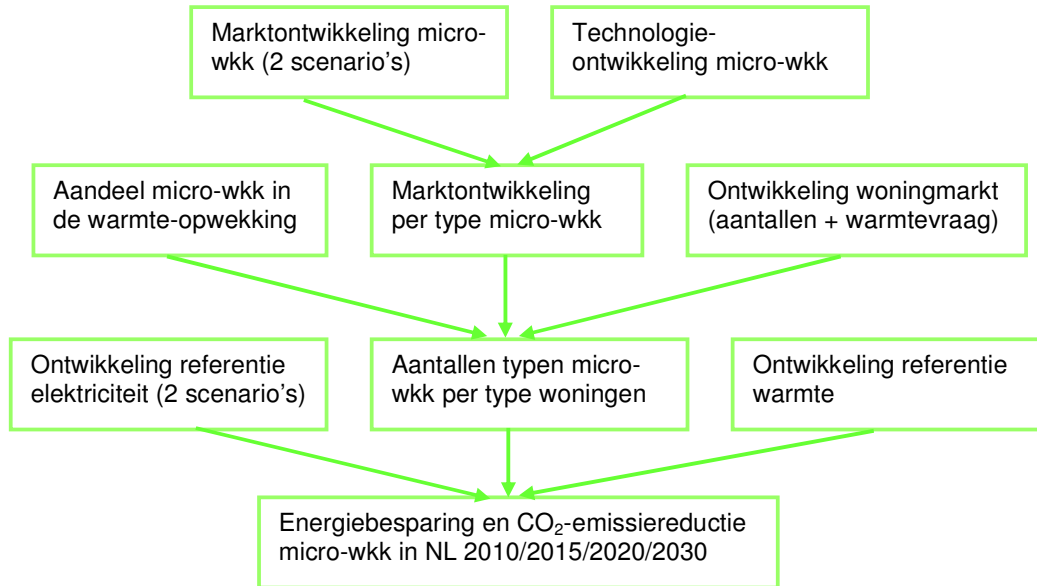
In samenspraak met de Werkgroep Decentrale Gastoepassingen is als uitgangspunt voor de marktintroductie van micro-wkk het marktscenario [2] genomen dat is opgesteld door Smart Power Foundation (SPF), waarin Nederlandse ontwikkelaars van micro-wkk vertegenwoordigd zijn. Gekoppeld aan dit marktscenario is de aanname dat micro-wkk voornamelijk in de bestaande bouw wordt toegepast.

Het resultaat van deze studie is enerzijds een breed gedragen methodiek en uitgangspunten voor de bepaling van de potentie van micro-wkk en anderzijds inzicht in het technisch⁶ potentieel van micro-wkk voor de reductie van het primaire energiegebruik en CO₂-emissie. Factoren voor een succesvolle marktintroductie, zoals marketing en rentabiliteit zijn voor dit rapport geen aandachtspunt geweest. Het gaat in dit rapport primair om het technisch potentieel.

⁶ Met technisch potentieel wordt bedoeld dat er geen toetsing heeft plaatsgevonden op economische criteria en dat het dus geen economisch potentieel betreft. In het engels wordt ook gesproken over 'deployment potential'

Werkwijze en aanpak

Doel van dit rapport is het in kaart brengen van het potentieel van micro-wkk op het gebied van energiebesparing en CO₂-emissiereductie in de periode 2010-2030 in Nederland. Om het potentieel van micro-wkk te berekenen, zijn de invloedsfactoren zoals de technologische ontwikkeling van micro-wkk, de ontwikkeling van de centrale elektriciteitsopwekking en de ontwikkeling van de woningmarkt in kaart gebracht. Onderstaand figuur 1.1 laat zien uit welke onderdelen deze berekening bestaat.



Figuur 1.1: Stappenplan voor de berekening van het besparingspotentieel van micro-wkk

Om te komen tot het besparingspotentieel beschrijven we eerst de referentiesituaties voor gescheiden opwekking van elektriciteit en warmte. Daarna volgen een aantal technologische uitgangspunten voor micro-wkk. De technologie-ontwikkeling van micro-wkk beschrijven we met een indeling in categorieën gebaseerd op de energetische prestaties, die we koppelen aan een ontwikkeling in de tijd. Daarna wordt de ontwikkeling van de energievraag in de woningmarkt beschreven. Aan de hand van twee marktscenario's worden de beschikbare micro-wkk's vervolgens verdeeld over de woningmarkt. Op basis van vier zichtjaren, 2010/2015/2020/2030, zal de resulterende energiebesparing en CO₂-emissiereductie worden beschreven.

Berekeningswijze

Het energieverbruik in de referentiesituatie wordt berekend door de vraag naar ruimteverwarming, warm tapwater en elektriciteit te delen door de bijbehorende referentierendementen. In de situatie met micro-wkk wordt (het aandeel in) de warmtevraag gedeeld door de thermische efficiency van micro-wkk (inclusief correctie voor buffervat bij warm tapwater). De resterende energievraag (elektriciteit en/of warmte) wordt gedeeld door de referentierendementen voor HR-ketel en centrale elektriciteitsopwekking. Hierbij wordt gekeken naar de referentie op het moment van energieproductie / -vraag (en niet op het moment van de aanschaf van de micro-wkk unit). Hieruit volgt voor beide situaties totaal primair energieverbruik en CO₂-emissies.

Alle in dit rapport genoemde rendementen zijn gebaseerd op de onderste verbrandingswaarde van aardgas (ow).

Hoofdstuk 2 Referentiekader

Referentiesituatie warmte

Voor de opwekking van warmte zal de micro-wkk worden afgezet tegen de HR-ketel. De HR-ketels met de beste, met een label gewaardeerde, prestaties zijn momenteel de HR-107 combi-ketels. Het opwekrendement op jaarbasis bedraagt voor deze toestellen volgens NEN 5128:2004 [3]:

- ruimteverwarming 105 % onderwaarde (HT afgiftesysteem)
- warmtapwater 75 % onderwaarde (HR ww label)

Het potentieel voor de verdere verbetering van het rendement van de HR-ketel voor ruimteverwarming is gering. In het gunstigste geval kan nog een enkel procent gewonnen worden. Handhaven van het best haalbare rendement op 105% lijkt echter het meest realistisch.

Het potentieel voor de verdere verbetering van het rendement voor warmtapwater is aanzienlijk groter. Momenteel zijn al toestellen op de markt met een gelijkwaardigheidsverklaring voor het rendement van 83 tot 89% (onderwaarde). De aanscherping van de EPC is een sterke impuls voor fabrikanten om deze ontwikkeling voort te zetten.

Hierbij moet worden aangetekend dat de hoogste rendementen gehaald worden bij comfortklasse 4 tappatronen, terwijl voor de meeste woningen een lagere warmtapwatervraag gangbaar is (comfortklasse 3 of lager). Hierbij zal het rendement lager uitvallen. Daarom wordt voor 2010 een rendement van 83% (onderwaarde) als referentie verondersteld. Vanaf 2015 hanteren we een rendement van 89% (onderwaarde).

Samenvattend:

- referentierendement ruimteverwarming 105%
- referentierendement warmtapwater 83% in 2010 en 89% vanaf 2015

Referentiesituatie elektriciteit

Inleiding

De warmtevraag gestuurde micro-wkk eenheden produceren een zekere hoeveelheid elektriciteit die ofwel direct in de woning wordt gebruikt ofwel teruggevoerd wordt naar het elektriciteitsnet. Deze decentrale opwekking komt daarmee (deels) in de plaats van centrale opwekking van elektriciteit. De energiebesparing en het effect op de CO₂ emissies van micro warmtekracht worden dus mede bepaald door de referentie rendementen die voor centrale opwekking van elektriciteit gelden. Hierbij spelen zowel efficiëntie als type brandstof een rol. Het vaststellen van deze referentiewaarden is echter sterk scenario afhankelijk.

Operational margin en build margin

Bij de bepaling van de referentiewaarden voor het centrale elektriciteitspark spelen twee mechanismen een rol. De introductie van micro-wkk kan

- 1) zowel een effect hebben op het aantal draaiuren van het bestaande park (*operational margin*) als
- 2) op de noodzaak om nieuw vermogen bij te bouwen (*build margin*).

In beginsel zal, indien de penetratie van micro-wkk (nog) gering is, het bestaande park in staat zijn om, via het bijregelen van vermogen in het centrale park, de extra productie door micro-wkk op te vangen. De besparing van micro-wkk wordt in dit geval (overwegend) bepaald door de eigenschappen van de centrale die zal worden teruggeregeld in vermogen. Indien de penetratie van micro-wkk sterk toeneemt, dan wordt een deel van de bouw van nieuw vermogen overbodig. In dit laatste geval wordt de besparing door micro-wkk gedomineerd door de eigenschappen van het vermeden vermogen. Ook kan sprake zijn van een combinatie van vermeden bouw van nieuw vermogen en een verandering van het aantal draaiuren van bestaand vermogen, dit laatste in theorie zowel in positieve als negatieve zin.

Hoe de verhouding tussen build margin en operational margin in de praktijk ligt is, zeker als het opgestelde vermogen beperkt is, moeilijk in te schatten en bovendien afhankelijk van het gekozen scenario. Met name de eigenschappen van nieuw te bouwen vermogen zijn zeer sterk scenario afhankelijk. In een scenario met lage energieprijzen en geen restrictie op de CO₂ emissie zoals het GE-scenario [4], zal fossiel vermogen zonder CCS⁷ worden bijgebouwd. In een scenario met een sterk oplopende CO₂ prijs, zoals het SE-scenario na 2020, dan wel een scenario met een ambitieuze CO₂ reductiedoelstelling (bijvoorbeeld het Green4Sure scenario) zal nieuw vermogen met een lage CO₂ emissiefactor worden bijgebouwd (duurzaam en fossiel met CCS).

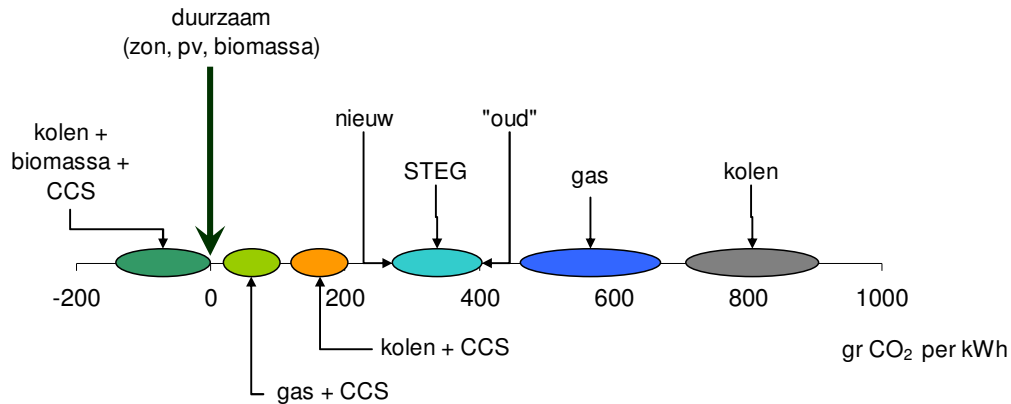
Een vanuit het beleidsperspectief gangbare methode om het effect van een (toekomstige) optie te bepalen is een vergelijking te maken met de zogeheten Best Available Technology (BAT). Feitelijk betekent dit dat er met de build margin wordt gerekend en door daarbij uit te gaan van de best available technology wordt de benadering minder scenario afhankelijk. Vanuit het perspectief van de beleidsmaker bezien, die voor de keuze staat welke van een portfolio aan innovaties te stimuleren is dit een juiste vergelijkingsbasis. Voor het maken van een prognose van de reële emissiereductie ligt echter een benadering uitgaande van operational margin en build margin het meeste voor de hand.

Emissiefactor diverse elektriciteitsproductie-opties

In Figuur 2.1 is de emissiefactor (gram CO₂ per kWh) voor verschillende typen elektriciteitsproducerende eenheden weergegeven. De emissiefactor voor duurzame opties, zoals zon, wind, biomassa (en waterkracht) is gelijk aan nul. De emissiefactor voor gasgestookte eenheden voorzien van CCS ligt iets boven de nul gram CO₂ per kWh doordat niet alle CO₂ wordt afgevangen. Hierbij speelt tevens mee dat de toepassing van CCS extra energie vergt (circa 15% in het geval van aardgas en circa 20% in het geval van kolen). Dit, in combinatie met de hogere emissiefactor voor kolen zonder CCS, maakt dat kolen met CCS een hogere emissiefactor heeft dan gasgestookte centrales zonder CCS. Een uitzondering hierop vormen kolengestookte centrales met CCS waarbij

⁷ Carbon Capture and Storage ofwel de afvang en opslag van CO₂

biomassa wordt ingezet. Deze centrales hebben, doordat ook duurzame koolstof wordt afgevangen, in principe een negatieve emissiefactor.

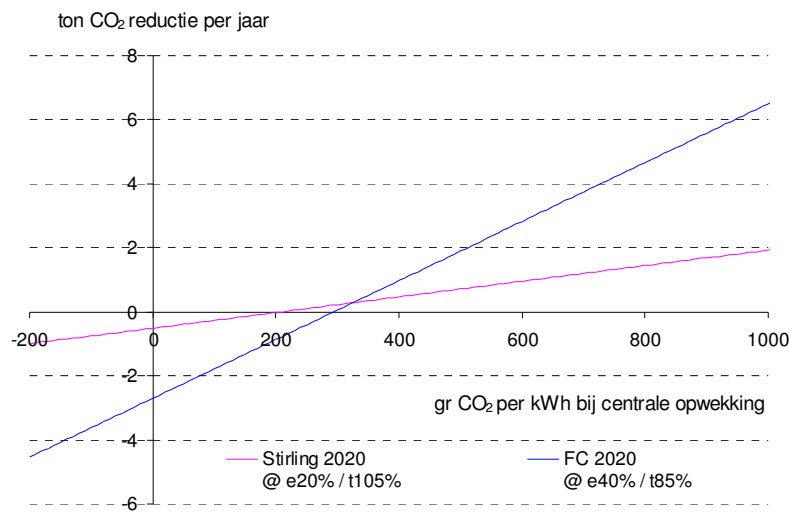


Figuur 2.1 Emissiefactor (gram CO₂ per kWh) voor verschillende typen elektriciteitsproductie-eenheden

Voor centrales die in de toekomst worden voorzien van CCS geldt dat het nieuwe en daardoor relatief efficiënte centrales betreft. CCS bevindt zich dicht bij de demonstratiefase. Voor de overige opties geldt dat deze al onderdeel zijn van het huidige park. Nieuwe centrales op basis van kolen en gas zijn echter beduidend efficiënter dan oude bestaande centrales, hetgeen tot uitdrukking komt in de bandbreedte van de betreffende emissiefactor.

Het effect van CO₂ emissiefactor op de CO₂ reductie van micro-wkk

Ter illustratie van het effect van de CO₂ emissiefactor op de totale CO₂ reductie is in Figuur 2.2 voor een Stirling micro-wkk installatie en een brandstofcel micro-wkk installatie voor 2020 de jaarlijkse emissiereductie (ton CO₂) per ketel uitgezet tegen de emissiefactor (gr CO₂ / kWh) van de referentieoptie voor de centrale elektriciteitsproductie.



Figuur 2.2 Ontwikkeling van de CO₂ reductie (ton/jaar) van een 1 kWe Stirling en FC installatie als functie van de emissiefactor (gr CO₂ / kWh) voor centrale elektriciteitsopwekking in 2020 (bij 100% dekking van ca 37 GJ warmtevraag)

Af te lezen valt dat de besparing door een micro-wkk installatie recht evenredig af hangt van de waarde van de emissiefactor voor centrale elektriciteitsopwekking. Hoe 'steil' deze relatie is, wordt bepaald door het elektrische rendement van de micro-wkk installatie⁸ en het omslagpunt van besparen naar ontsparen (snijpunt met x-as) wordt bepaald door de som van het elektrische en thermische

⁸ Hoe hoger het elektrische rendement (maar ook de woning warmtevraag) hoe steiler de lijn.

rendement⁹. Afhankelijk van de emissiefactor van centrale opwekking in het referentiescenario heeft de micro-wkk installatie een positief dan wel negatief effect op de CO₂ emissies.

Referentiewaarden voor 2010, 2020 en 2030

In deze paragraaf wordt uitgewerkt binnen welke scenariocontext mogelijk een bepaald type vermogen geplaatst zal gaan worden. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt naar 2020 en 2030. Aanname hierbij is dat in de periode tot 2020 het vermogen¹⁰ van micro-wkk nog zodanig beperkt is dat de effecten overwegend worden bepaald door de operational margin (terugregelen bestaand vermogen). Voor 2030 is aangenomen dat het cumulatieve vermogen van micro-wkk zodanig groot is dat de effecten primair worden bepaald door de build margin (vermeden nieuwbouw). Ten slotte is aangenomen dat CCS pas na 2020 beschikbaar is.

Referentiewaarden voor 2010 tot 2020

Zoals eerder aangegeven wordt aangenomen dat in de periode tot 2020 het effect van micro-wkk op de CO₂ emissies gedomineerd wordt door de operational margin. Voor het door micro-wkk gegenereerde vermogen wordt gecompenseerd door één of meerdere bestaande centrales terug te regelen. Doorgaans zal dit de centrale zijn met de (op dat moment) hoogste marginale productiekosten.¹¹ Ook de regelbaarheid van het vermogen speelt hierbij een rol. Zo is een gascentrale sneller terug te regelen dan een kolencentrale. Het meest waarschijnlijk is dat operational margin wordt bepaald door gasgestookt vermogen. Voor 2010 en 2020 wordt micro-wkk daarom afgezet tegen een referentieoptie met een emissiefactor tussen de 325 – 430 gr CO₂ / kWh, met 385 gr CO₂ / kWh als middenwaarde bij een elektrisch rendement van 52,5%. Deze middenwaarde is overigens gelijk aan de huidige waarde die in het kader van de Europese WKK richtlijn moet worden gebruikt voor het evalueren van het micro-wkk vermogen.

Referentiewaarden voor 2030

Voor 2030 worden de eigenschappen van de referentie-optie waartegen micro-wkk moet worden afgezet bepaald door de build margin – aannemende dat er in 2030 een substantieel vermogen aan micro-wkk staat opgesteld. Uitgangspunt is dat er regelbaar vermogen wordt vermeden. Omdat het nieuwe centrales betreft wordt er gerekend met Best Available Technology. Voor 2030 wordt voor de BAT een onderscheid gemaakt naar twee scenario's: beperkte of ambitieuze CO₂-reductie-doelstelling. In beide gevallen wordt uitgegaan van fossiel vermogen. In een scenario met een beperkte emissiereductie doelstelling is de BAT een gasgestookte STEG met een emissiefactor tussen de 300 – 350 gr CO₂ / kWh met een middenwaarde van 325 gr CO₂ / kWh bij een rendement van 62%.

In een scenario met een ambitieuze emissiereductie doelstelling (-30% CO₂-emissiereductie in 2020 en verder), zullen nieuwe fossiele centrales zijn voorzien van CCS. Gekozen is om als BAT een state-of-the-art kolengestookte centrale (IGCC¹²) te nemen voorzien van CCS¹³. De emissiefactor van deze nieuwe centrale gebouwd rond 2030 ligt globaal tussen de 90 en 150 gr CO₂ / kWh met als middenwaarde 120 gr CO₂ / kWh bij een rendement van 43% [5]. Hierbij is geen rekening gehouden met het effect van de inzet van biomassa.

⁹ Een lager totaal rendement verschuift het omslagpunt naar hogere emissiefactoren. Dit omslagpunt is tevens afhankelijk van het thermische rendement van de referentieoptie. Bij een hoger thermisch rendement van de referentieoptie schuift het omslagpunt op naar hogere emissiefactoren.

¹⁰ Vermogen en productie zijn niet gelijk. De elektriciteitsproductie (MWh) voor de varianten met en zonder micro-wkk moet gelijk zijn (verschillen in import en export tussen beide varianten worden buiten beschouwing gelaten). Het totaal opgestelde vermogen (MW) kan echter verschillen doordat het aantal draaiuren van de diverse typen vermogens niet hetzelfde zijn dan wel kunnen veranderen.

¹¹ De centrale die tegen de hoogste kosten 1 eenheid elektriciteit opwekt. Duurzame bronnen zoals wind en PV die geen brandstofkosten hebben, hebben bijvoorbeeld zeer lage marginale productiekosten. Een CO₂ heffing heeft bijvoorbeeld een prijsverhogend effect op de marginale productiekosten voor kolen- en gascentrales zonder CCS.

¹² IGCC staat voor Integrated Gasification Combined Cycle

¹³ Technisch gezien is kolenvergassing met CCS eenvoudiger en daarmee eerder beschikbaar. Ook de huidige bewegingen in de markt zijn gericht op kolenvergassing. Bovendien zijn de voorraden van kolen relatief groot.

Bovenstaande elektrische rendementen zijn 'af productie'. Voor rendementen 'bij gebruiker' moet nog 3,9% netverliezen worden verrekend [6] (consistent met de elektriciteitsbalans van het CBS¹⁴). Onderstaande tabel toont de uiteindelijke 'bij gebruiker' referentiewaarden voor centrale elektriciteitsopwekking.

Samenvattend:

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van bovenstaande referentiewaarden voor centrale elektriciteitsopwekking, inclusief netverliezen tot aan de gebruiker.

Tabel 3 Referentiewaarden voor centrale elektriciteitsopwekking 'bij gebruiker', met operational margin voor 2010 en 2020, en build margin voor 2030

	2010	2020	2030, beperkte CO ₂ - doelstelling	2030, ambitieuze CO ₂ - doelstelling
Emissiefactor [gram CO ₂ / kWh]	385 (325-430)	385 (325-430)	325 (300-350)	120 (90-150)
Elektrisch rendement [%]	50,5%	50,5%	59,6%	41,3%

Opgemerkt moet worden dat de begrippen besparing (efficiëntie) en CO₂ reductie niet door elkaar heen gebruikt mogen worden. Zo leidt toepassing van CCS tot een afname van de CO₂ emissies maar neemt het energieverbruik toe omdat het afvangen en transporteren van de CO₂ energie kost. Besparing en voorzieningszekerheid gaan ook niet noodzakelijkerwijs hand in hand. In het geval van besparing via brandstofsubstitutie, zoals gas voor kolen, wordt bespaard op het primaire verbruik. De toename van de gasvraag heeft echter een negatief effect op de voorzieningszekerheid.

¹⁴ Er bestaat nog onduidelijkheid over de hoogte van de vermeden netverliezen. Het valt echter buiten de scope van deze studie om hier verder onderzoek naar te verrichten.

Hoofdstuk 3 Uitgangspunten Micro-wkk

Technologieën

Het concept micro-wkk, gelijktijdige productie van warmte en elektriciteit op woningniveau, kan met verschillende technologieën worden ingevuld. Echter de potentiële energiebesparing op woningniveau is sterk afhankelijk van de prestaties en eigenschappen van de toegepaste technologie. Dit hoofdstuk geeft voor de zichtperiode tot 2030 een indicatie van de verwachte technologieën en van een kansrijke selectie de bijbehorende prestaties.

In Nederland is de Stirlingmotor het dichtst bij marktintroductie maar ook leveranciers van gasmotoren en brandstofcellen hebben in de afgelopen jaren ontwikkelprogramma's afgestemd op de Nederlandse markt. In Europa en wereldwijd zijn naast deze opties ook andere concepten voor micro-wkk in ontwikkeling zoals o.a. gasturbines, ORC¹⁵ en stoomcellen.

De verschillende technologieconcepten maken momenteel nog een sterke ontwikkeling door. In vergelijking met het vorige rapport van juli 2006 [1] zijn er alweer significante verbeteringen van de elektrische rendementen tot stand gebracht. Voor het rapport uit 2006 is gebruik gemaakt van een expertconsultatie van de Werkgroep Micro-wkk¹⁶ (zie bijlage I). De verwachte prestaties van de Stirlingmotor, gasmotor en brandstofceltechnologie zijn daarin geïnventariseerd voor het ontwikkeltraject tot 2010 en een prognose voor de periode daarna. Deze resultaten zijn geactualiseerd met nieuwe inzichten (expert opinions).

Tot 2010

In de periode tot 2010 zullen naar verwachting voornamelijk Stirling-motoren worden geplaatst. Voor de in 2010 beschikbare Stirlings kan gesteld worden dat met een relatief beperkte inspanning, bijvoorbeeld door het vergroten van de warmtewisselaar, het jaargebruiks-totaalrendement gelijk wordt aan dat van de HR-ketel. Uitgaande van de marktconsultatie uit 2005 is het elektrisch rendement eerder gesteld op 14%, gebaseerd op een gemiddelde van de in 2005 op de markt en in testlaboratoria beschikbare installaties. Inmiddels zijn de eerste testresultaten van de Stirling micro-wkk binnen en deze overtreffen ruimschoots het gemiddelde elektrische rendement uit 2005. Het gemeten elektrische jaargebruiksrendement van deze Stirling motoren is 17% [7]. Uit de opgave van de leverancier van de Solo (9,5 kWe Stirling met η_e 24%) blijkt dat het elektrisch rendement niet sterk afhankelijk is van de temperatuur.

>2010

Stirling motoren

Er zijn verschillende typen stirling motoren in ontwikkeling. De vrije-zuiger stirling wordt momenteel in verschillende configuraties verder ontwikkeld. Indicatief voor het maximale elektrische rendement van een Stirlingmotor is het Carnot rendement, circa 65% (bij $T_h=1073K$ & $T_o=363K$). Door verbeteringen in de Stirling generator en door verbeteringen in de warmteoverdracht van de brander kan de Stirlingmotor een elektrisch rendement behalen van 30%-35%. Ook worden er verbeteringen in prestaties verwacht door gewichtafname¹⁷ en een betere regeling¹⁸.

Gasmotoren

Ook voor de micro-gasmotoren (met $\lambda=1$) wordt verwacht dat het totaalrendement met beperkte inspanning gelijk kan worden aan dat van de HR-ketel. Het in offertes gegarandeerde stationaire elektrisch rendement van de grotere motoren ($\pm 1MWe$) ligt boven de 45% (ook voor gasmotoren geldt een maximum van 65% op basis van de Carnot-cyclus). Verschillende redenen zijn er om aan te nemen dat kleinere motoren (voorlopig) niet dit hoge elektrische rendement zullen halen. Wel zijn er

¹⁵ Organic Rankine Cycle

¹⁶ Werkgroep georganiseerd door Cogen Nederland met als leden: ECN, Enatec, Eneco, Essent, Delta, GasTerra, Microgen, NUON, Remeha, Rendo, SenterNovem, Smart Power Foundation, Vaillant.

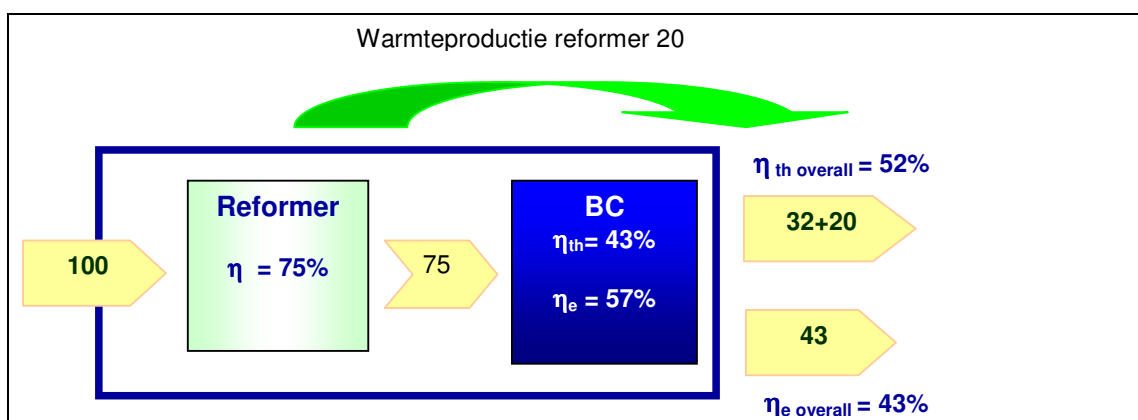
¹⁷ Gewichtafname betekent vermindering van de opwarmtijd, waardoor de Stirling sneller op zijn maximale vermogen komt.

¹⁸ Door in de regeling tussen kamerthermostaat en micro-wkk te streven naar langere bedrijfsperiodes, vermindert het aantal start/stops en verbetert het jaarrond (elektrisch)rendement

nu al op toerental modulerende 20kWe gasmotoren op de markt met een $\eta_e > 30\%$. Er zijn geen technische gronden op basis waarvan een micro-gasmotor met een elektrisch jaargebruiksrendement van 25%-30% onmogelijk is. Wel kan, zonder geschikte SCR-katalysator, de hogere NOx-emissie een remmende rol spelen bij de doorbraak van de micro-gasmotor.

Brandstofcellen

Er zijn verschillende typen brandstofcellen in ontwikkeling. De belangrijkste twee zijn de SOFC¹⁹ en de PEM²⁰. Deze systemen worden zowel geschikt gemaakt als totaalsysteem met aardgas als door waterstof gevoede systemen. Een SOFC kan direct gebruik maken van aardgas. De ontwikkeling van een PEM-brandstofcel-systeem op aardgas (met een reformer die aardgas omzet naar waterstof) is in volle gang. Verwacht wordt dat brandstofcellen vanaf 2015 ingepast zullen worden in micro-wkk's. Het elektrische rendement van de brandstofcel ligt tussen de 30% en 60%. Voor SOFC's op aardgas worden elektrische rendementen verwacht tot 50%. PEM-brandstofcellen kunnen elektrische rendementen van meer dan 60% behalen, op basis van waterstof uit duurzame bronnen als zon, wind en biomassa. Voor PEM-brandstofcellen op aardgas dient er rekening te worden gehouden met een eventuele reformstap van aardgas naar waterstof. Hierdoor loopt het netto rendement terug naar ca. 43%. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 3.1.



Figuur 3.1: Voorbeeld van rendementen in totaalsysteem van brandstofcel met externe reformer

Het totaalrendement is een aandachtspunt voor brandstofcellen, maar aangenomen wordt dat ook de warmte van de reformer in de toekomst kan worden ingezet voor ruimteverwarming, waardoor ook brandstofcellen een totaalrendement zullen behalen gelijk aan de HR-ketel. Ook dit is geïllustreerd in Figuur 3.1.

Samenvattend

Op basis van de eerdere marktconsultatie (zie bijlage I), aangevuld met de nieuwste inzichten, geeft onderstaande tabel een overzicht van de huidige stand van zaken en een doorkijk naar de verwachte mogelijkheden van micro-wkk in de toekomst.

Tabel 4 Huidige en verwachte rendementen van micro-wkk

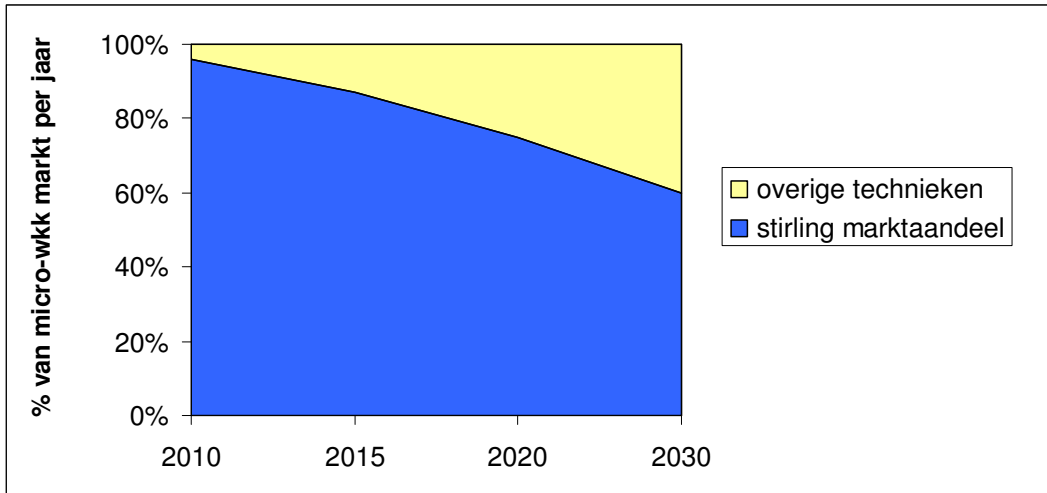
	< 2010			2020		
	Stirling	Gasmotor	Brandstofcel	Stirling	Gasmotor	Brandstofcel
η_e (range) (ow)	14% (12-20)	20% (18-25)	35% (30-40)	20-30 %	20-30 %	30-50 %
$\eta_{overall}$ (ow)	105%	95%	85%	105%	95-105%	85-95%
P_e	1	1	1	1	1	1
P_{th}	6,1	3,8	1,4	2-4	2-4	1-2

¹⁹ Solid Oxide Fuel Cell. Een SOFC werkt op hoge temperaturen en kan door relatief lange opstartduur momenteel slechts een beperkt aantal start/stops maken

²⁰ Proton Exchange Membrane

Stirling neemt het voortouw

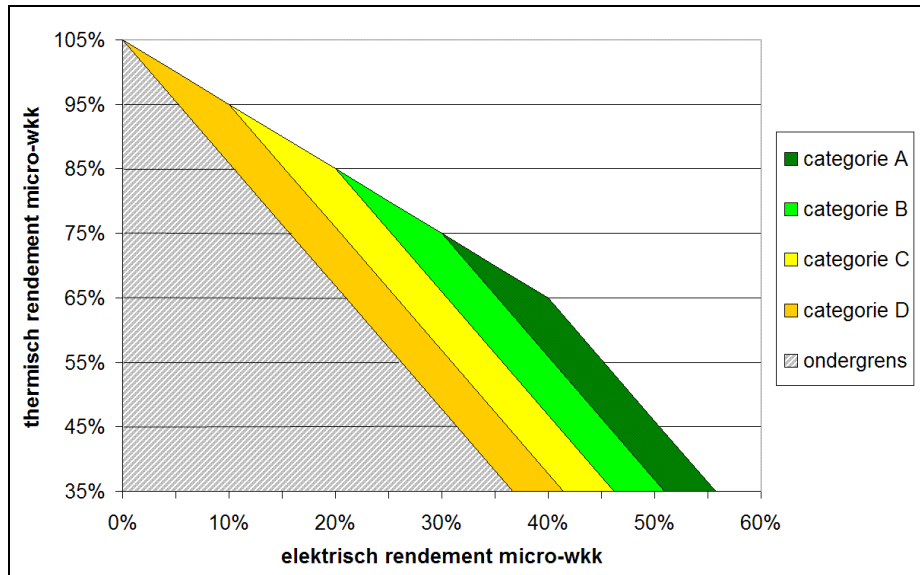
Vanwege de voorsprong op markt zal de Stirling techniek naar verwachting een trekkersrol vervullen voor andere micro-wkk technologieën. Tegelijkertijd wordt de lat hoog gelegd voor de elektrische en totaalrendementen van andere technologieën. Naar verwachting zal de Stirling technologie tot 2030 een grote bijdrage leveren aan de invulling van het micro-wkk potentieel. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 3.2.



Figuur 3.2: Aandeel van Stirlingtechniek in de jaarlijkse micro-wkk markt

Micro-wkk categorieën

De voorgaande paragraaf geeft een indicatief inzicht in het ontwikkelingspotentieel van drie typen micro-wkk technologieconcepten. Om de energiebesparing niet uitsluitend te koppelen aan een bepaald type technologie of een bepaald model en de daarmee samenhangende warmte/kracht verhouding, zijn er voor deze studie categorieën ontwikkeld op basis waarvan de energiebesparing op nationaal niveau is berekend.



Figuur 3.3: Categorie voor energieprestatie micro-wkk

De categorieën segmenteren de verschillende micro-wkk concepten op basis van energiebesparing, elke categorie heeft zijn reikwijdte aan energiebesparing. De grenzen van elke categorie worden bepaald door het elektrische²¹ en het thermische jaargebruiks-rendement. Deze manier van categoriseren waardeert zowel een toename van het elektrische rendement als een toename in het totaalrendement.

De categorisering start op de grens waar, afgemeten tegen een HR-107 ketel en een STEG-centrale, micro-wkk energie bespaart ten opzichte van gescheiden opwekking. De bovengrens voor de categorieën is een totaalrendement van 105%, dit is tevens de referentiewaarde voor het rendement van warmte-opwekking. De energiebesparing neemt toe per categorie, waarbij categorie A het meeste energie bespaart. In Tabel 5 zijn de grenzen van de labels gedefinieerd²²:

²¹ In het elektrische jaargebruiksrendement is het verbruik van hulpenergie voor elektrische delen van cv-ketel zoals pomp en ventilator verdisconteerd. De energiebesparing wordt hiermee voorzichtig ingeschat.

²² Uitgaande van een totaalrendement van 105%

Tabel 5: Grenswaarden behorend bij energieprestatiecategorie micro-wkk

	Gemiddeld elektrisch jaargebruiksrendement (ow)	Gemiddeld jaargebruiks- totaalrendement (ow)
Categorie A	30% - 40%	105%
Categorie B	20% - 30%	105%
Categorie C	10% - 20%	105%
Categorie D ²³	0% - 10%	105%

De grenzen van de categorieën zijn zo vastgelegd dat de verwachte technologie-ontwikkeling van micro-wkk over de gekozen tijdsperiode goed beschreven kan worden. Categorie D zal in de praktijk niet voorkomen.

De ontwikkeling van Stirling is leidend in de rendementswikkeling tot 2030. Vanaf 2015 wordt ook een aandeel van met name brandstofcel micro-wkk's verwacht (zie ook Figuur 3.2). In de periode tot 2010 liggen de elektrische rendementen zoals eerder aangegeven in de technologiebeschrijving in categorie C. In de periode van 2010 tot 2015 zullen micro-wkk toestellen beschikbaar komen in het overgangsgebied tussen C en B, met een elektrisch rendement van ca. 20%. Vanaf 2015 zijn er categorie B toestellen beschikbaar. Vanaf 2020 komen de categorie A toestellen op de markt. Bovendien zullen in deze periode van 2020 tot 2030 zullen de categorie C toestellen vervangen worden door categorie A toestellen.

Rekenwaarden

Voor de berekeningen zal worden uitgegaan van de rekenwaarden in elke zichtperiode. Hiervoor wordt in elke zichtperiode het gemiddelde elektrische rendement van de categorie genomen.

Tabel 6: Gehanteerde categorieën en rekenwaarden per zichtperiode

Periode	Best beschikbare micro- wkk categorie	Rekenwaarde elektrisch rendement
-2010	C	15%
2010-2015	C - B	20%
2015-2020	B	25%
2020-2030	B - A	30%

Samenvattend:

Om onafhankelijk te zijn van specifieke micro-wkk technieken worden de systeemprestaties beschreven met rendementscategorieën A t/m D volgens Tabel 6, daarbij gebruik makend van de rekenwaarden uit Tabel 6.

²³ Categorie D zal in de praktijk niet voorkomen. Bovendien stelt het in ontwikkeling zijnde keurmerk voor micro-wkk minimum-eisen aan de energieprestatie waardoor categorie D beneden de norm presteert.

Micro-wkk voor ruimteverwarming en warmtapwater

Om de inzet van micro-wkk in een woning zo hoog mogelijk te maken is aandacht vereist voor de systeemuitvoering en de regeling.

Voor ruimteverwarming zal de aandacht vooral liggen op de regeling. Hierbij kan worden aangesloten bij de ervaringen met warmtepompen, die meestal als bivalent systeem zijn uitgevoerd en waarbij de regeling ervoor zorgt dat de warmtepomp maximaal en de bijstook minimaal wordt ingezet.

Randvoorwaarde hierbij is dat de ingestelde binnentemperatuur gerealiseerd wordt.

In Nederland wordt in eengezinswoningen voornamelijk een kamerthermostaat toegepast. Hiervoor dient een aangepaste versie te worden ontwikkeld, waarbij bijvoorbeeld vermeden wordt dat de bijverwarming inkomt tijdens het aanwarmen na nachtverlaging. Voor de regeling met stooklijn is een vergelijkbare aangepaste versie vereist.

Als de regeling goed functioneert leidt dit ertoe dat de micro-wkk langdurig, met een relatief laag vermogen warmte levert. Hierbij zullen de watertemperaturen relatief lage waarden bereiken, vergelijkbaar met de situatie waarbij een ketel constant op laag vermogen (modulerend) bedreven wordt. Hiermee kan een groot deel van het jaar de gevraagde warmte worden geleverd. Alleen bij een hogere warmtevraag komt de bijstook in en stijgen de watertemperaturen.

Voor warmtapwater is het vermogen van de micro-wkk te gering om direct voldoende warm water te leveren. Toepassing van een voorraadvat ligt daarom voor de hand, zoals dit ook wordt toegepast bij alle combi-warmtepompen. Ook hier dient de regeling erop gericht te zijn het vat zoveel mogelijk met de micro-wkk te verwarmen.

Op dit moment heeft slechts een klein deel van de huishoudens een ketel met tapvat, grofweg 15% van alle huishoudens [8]. In de afgelopen jaren is er een opgaande trend te zien in de toepassing van een tapvat voor de vergroting van het comfortniveau, bijvoorbeeld voor het snel vullen van een bad of het gelijktijdig warmwatergebruik op meerdere tappunten.

Omdat micro-wkk naar verwachting vooral in bestaande bouw geplaatst zal worden is er niet in alle woningen plaats voor een tapvat, zodat het mogelijk is dat micro-wkk zowel met als zonder tapvat wordt uitgerust. Zonder tapvat wordt de bijstook als combi-doorstroom uitgevoerd. Door de hoge warmtevraag in de bestaande bouw zal micro-wkk ook zonder warmtapwaterproductie een hoog aantal bedrijfsuren halen. In de meeste situaties zal de toepassing van een tapvat leiden tot een energetische optimalisatie van het systeem. Daarom wordt in deze studie uitgegaan van micro-wkk met een tapvat.

In verband met micro-wkk wordt veel gesproken over de mogelijkheid om in enige mate de productie van elektriciteit te ontkoppelen van de warmtevraag, waarbij de warmte opgeslagen wordt om op een later tijdstip alsnog nuttig te worden gebruikt. Hiermee wordt een virtuele energiecentrale mogelijk. Gezien de complexiteit van deze materie (meerinvesteringen, grotere warmteverliezen, tarieven) wordt deze optie in deze studie buiten beschouwing gelaten en wordt uitgegaan van een bedrijfswijze waarbij de warmtevraag gevolgd wordt.

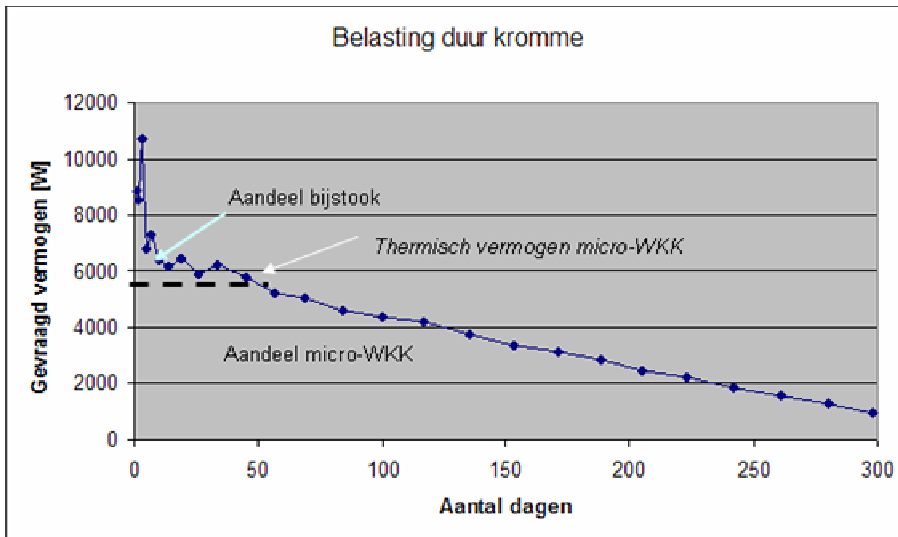
Samenvattend:

In deze studie wordt ervan uitgegaan dat micro-wkk wordt voorzien van een voorraadvat t.b.v. de warmtapwatervoorziening. De bedrijfswijze is in principe warmtevraagvolgend, waarbij een slimme regeling wordt toegepast om de inzet van de micro-wkk zo hoog mogelijk te maken. Het concept van een virtuele energiecentrale is buiten beschouwing gelaten.

Aandeel micro-wkk in warmteproductie ruimteverwarming

Voor het bepalen van de jaarprestaties van micro-wkk en bijstook moet het aandeel van beide opwekkers in de warmtevraag voor verwarming en/of warmtapwater bekend zijn.

Om dit aandeel voor verwarming te bepalen is gebruik gemaakt van de graaddagenmethode. Voor een beschrijving van de graaddagen methode, zie bijlage II. Uitgaande van de warmtevraag op jaarbasis en de graaddagen voor het TRY van De Bilt is de belasting-duur-kromme (bdk) van de verwarmingsinstallatie bepaald. Hierbij is ervan uitgegaan dat 16 uur per dag gelijkmatig warmte wordt geleverd. In figuur 3.4 geeft een horizontale lijn de begrenzing van de warmtelevering door de micro-wkk. Het oppervlak onder de lijn geeft het aandeel van de micro-wkk aan, daarboven van de bijstook.



Figuur 3.4: Belasting-duur-kromme voor warmtevraag van 60.000 MJ/jaar

Om het aandeel voor warmtapwater te bepalen wordt de netto warmtapwatervraag per jaar, het distributierendement en het vatrendement gegeven. Op basis hiervan wordt de bruto warmtapwatervraag per dag de aan de micro-wkk berekend. Voor zover de micro-wkk niet wordt ingezet voor verwarming wordt deze gebruikt voor bereiding van warmtapwater. Hiervoor mag deze de gehele dag en nacht worden ingezet. Hiermee kan in alle varianten de volledige warmtapwatervraag worden geleverd. Zie bijlage III voor een overzicht van de gebruikte dekkingsgraden.

Samenvattend:

Voor alle woningvarianten, gekarakteriseerd door de warmtevraag voor verwarming en warmtapwater, en voor de verschillende typen micro-wkk, gekarakteriseerd door het thermisch vermogen, is het aandeel in de verwarming en warmtapwatervoorziening middels de graaddagenmethode bepaald.

Hoofdstuk 4 Marktontwikkeling

Ontwikkeling energievraag in huishoudens

Achtergrond

Om de potentie van micro-wkk in huishoudens te kunnen inschatten, moet de ontwikkeling van deze sector geschetst worden. Het gaat dan met name om de ontwikkeling van het aantal woningen en de energievraag per woning, bestaande uit ruimteverwarming, warm tapwater en elektriciteit (gebouw-plus gebruikersgebonden). In onderstaande paragrafen wordt een overzicht gegeven van gebruikte data, de bijbehorende uitgebreide tabellen staan in bijlage IV.

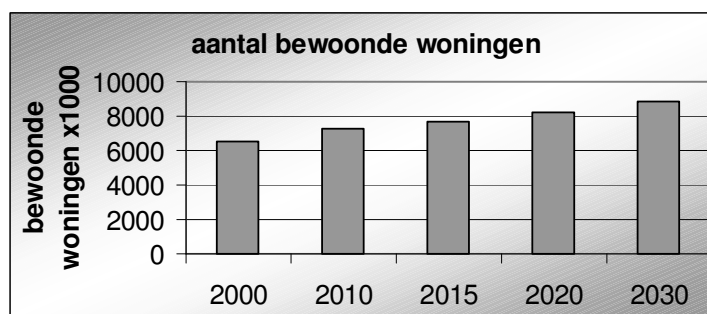
Voor de ontwikkeling van de sector huishoudens is uitgegaan van beschikbare data, zoals o.a. gebruikt in de "Referentieramingen energie en emissies 2005-2020" [4]. ECN Beleidstudies heeft, vanuit het achterliggende SAWEC model [9], onderstaande basisgegevens aangeleverd. Het SAWEC model bevat relatief gedetailleerde gegevens over de sector huishoudens tot en met het zichtjaar 2020. Voor de periode na 2020 is gebruik gemaakt van de studie Welvaart en Leefomgeving (WLO) [10], waarin de woningvoorraad tot 2040 is ingeschat. De WLO studie hanteert hierbij echter niet het detailniveau van het SAWEC model. Zo maakt de WLO studie geen onderscheid in woningtypen, er is alleen een grove indeling in bouwjaar: voor en na 2000.

Uit de verschillende beschikbare scenario's voor economische ontwikkeling is gekozen voor het Global Economy (GE) scenario [4], een scenario met hoge groei van bevolking en economie, en met lage energieprijzen en zonder CO₂-emissiereductie doelstelling. Het GE scenario moet gezien worden als een (worst-case) baseline²⁴ waartegen het effect van nieuw beleid kan worden bepaald. Het is zeker geen prognose van de meest plausibele ontwikkeling van het energieverbruik²⁵. Het GE-scenario geeft dan ook geen goed beeld van de karakteristiek van de toekomstige energievoorziening indien uitgegaan wordt van de huidige beleidsvoornemens.

Ontwikkeling woningbestand

Het GE scenario gaat uit van een relatief hoge bevolkingsgroei. Een andere trend is dat het aantal huishoudens stijgt omdat het aantal personen in het gemiddelde huishouden afneemt. Onderstaand figuur geeft het aantal bewoonde woningen weer voor de relevante zichtjaren. In 2000 zijn dit er 6,5 miljoen, in 2030 naar verwachting bijna 8,9 miljoen.

Niet al deze woningen hebben individuele centrale verwarming (ICV), een zeer klein deel heeft lokale verwarming en een deel heeft (klein-)collectieve verwarming. Het aandeel van ICV in het totale woningbestand neemt toe, vooral door het afnemen van het aandeel lokale verwarming. Op basis van deze trend wordt ingeschat dat in 2030 circa 95% van het woningbestand individuele centrale verwarming heeft.



Figuur 4.1 Ontwikkeling aantallen woningen

Het totaal aantal woningen is groter dan het aantal bewoonde woningen als gevolg van leegstand (o.a. als gevolg van verhuizingen). Deze leegstand wordt op 1,3% ingeschat.

²⁴ Geen emissiereductiedoelstelling voor broeikasgassen, hoge economische groei, hoge bevolkingstoename en, in vergelijking tot de energieprijzen anno 2007, zeer lage energieprijzen.

²⁵ Indien er wordt uitgegaan van een scenario met een sneller afnemende warmtevraag kan micro-wkk ook minder besparen.

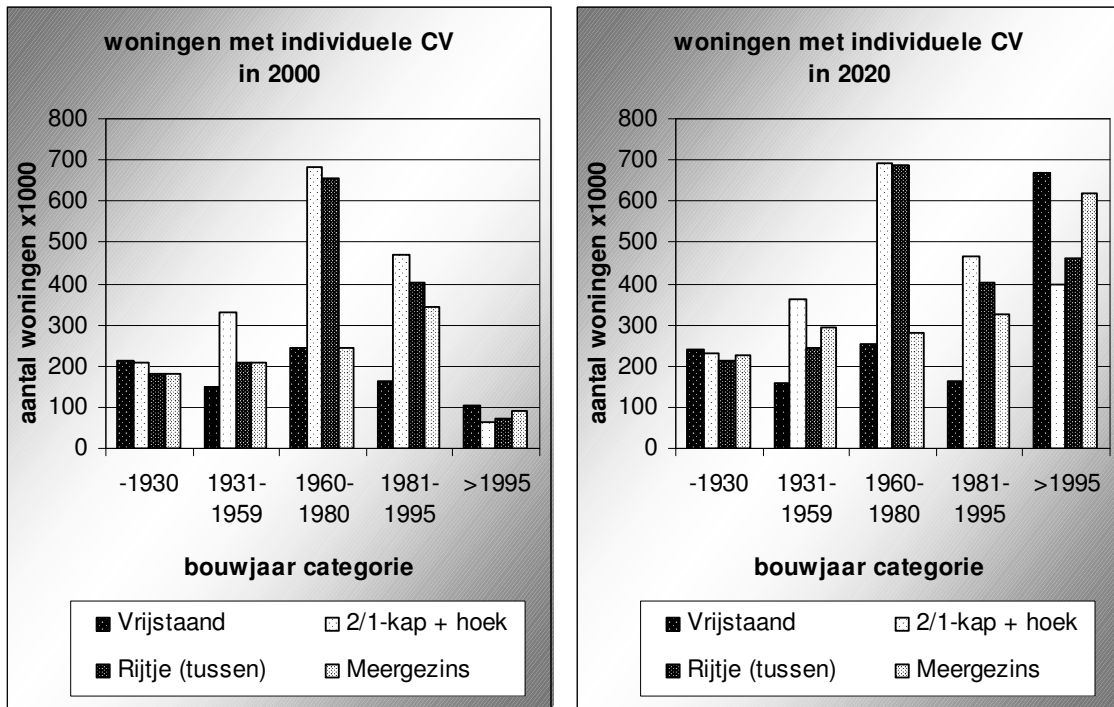
In het SAWEC model worden 180 categorieën woningen onderscheiden:

- A. 4 typen woningen: vrijstaand, 2/1- kap + hoek, rijtje, appartement
- B. 3 typen verwarming: lokaal, individueel centraal, collectief centraal
- C. 3 eigendomsvormen: sociale huur, particuliere huur, koop
- D. 5 bouwjaar categorieën: <1930, 1930-1960, 1960-1980, 1980-1995, >1995

Voor dit project is besloten geen onderscheid te maken naar eigendomsvorm omdat dit niet van invloed is op de hier gehanteerde methode van micro-wkk uitrol (zie paragraaf 4.2). Ook wordt hier alleen gekeken naar woningen met individuele centrale verwarming (ICV), als meest interessante markt voor micro-wkk. Daarnaast is voor de vraag naar ruimteverwarming in nieuwbouwwoningen (>1995) geen onderscheid gemaakt naar woningtype, waardoor het totaal aantal categorieën op 17 uitkomt. Zoals eerder toegelicht, kan dit detailniveau tot en met 2020 worden gehanteerd.

Onderstaande figuren geven de SAWEC data weer met de ontwikkeling van het aantal woningen met individuele centrale verwarming tussen 2000 en 2020. Het totale aantal woningen van de bouwjaar categorieën voor 1995 neemt af door sloop, maar het aantal ICV woningen in deze categorieën neemt toe.

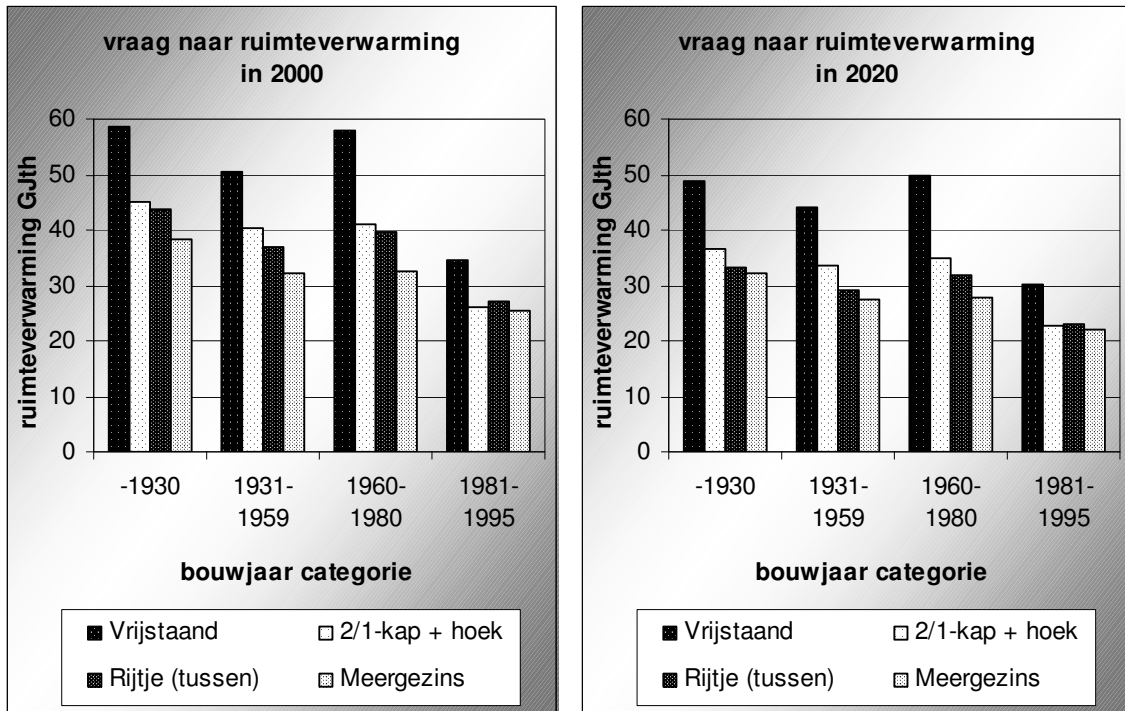
Voor het zichtjaar 2030 is alleen het onderscheid 'bouwjaar voor en na 2000' beschikbaar. Met de inschatting dat 95% van de woningen ICV hebben en dat er 1,3% leegstand is, geeft de WLO studie 5288 x 1000 bewoonde ICV woningen met bouwjaar < 2000 en 3130 x 1000 met bouwjaar > 2000 in het zichtjaar 2030.



Figuur 4.2: aantal woningen met individuele centrale verwarming per bouwjaar categorie

Energievraag ruimteverwarming

Het SAWEC model geeft tot en met 2020 voor de 17 genoemde categorieën de vraag naar ruimteverwarming in GJ (thermisch). Zie onderstaande figuren voor een weergave van deze vraag voor de jaren 2000 en 2020. Voor woningen gebouwd na 1995, waarvoor geen indeling in woningtypen is gemaakt, is de gemiddelde vraag naar ruimteverwarming 20 GJ in 2000 en 15 GJ in 2020. Er is duidelijk een afname te zien in vraag naar ruimteverwarming voor alle categorieën. Deze afname is het gevolg van een toename van energiebesparende maatregelen zoals na-isolatie en van een toename van de gemiddelde buitentemperatuur.



Figuur 4.3: Vraag naar ruimteverwarming per woningtype en bouwjaar

Voor het zichtjaar 2030 is alleen het onderscheid 'bouwjaar voor en na 2000' beschikbaar. De WLO studie geeft een gemiddelde vraag naar ruimteverwarming van 28 GJ voor woningen met bouwjaar < 2000 en 17 GJ met bouwjaar > 2000 in het zichtjaar 2030.

Zowel in het SAWEC model als in de WLO studie wordt gerekend met gemiddelden, hetgeen betekent dat extreem hoge en lage waarden tegen elkaar wegvallen.

Omdat vanaf 2020 de cijfers met een ander model zijn berekend, kunnen de getallen bij de aansluiting van de twee modellen iets van elkaar afwijken. Ten opzichte van het SAWEC model geeft WLO iets hogere warmtevraag, doordat dit model een aantal nieuwe inzichten heeft verwerkt. Echter, de WLO kent de indeling naar bouwjaar niet (behalve voor en na 2000) en de indeling naar bouwtypen is er evenmin in verwerkt. Vandaar dat voor de woningen voor 1995 SAWEC-cijfers het best inzicht geven.

Warmtevraag warm tapwater

Wat betreft de warmtevraag voor warm tapwater wordt in SAWEC en WLO geen onderscheid gemaakt naar type woning of type huishouden. In onderstaande tabel staat de gemiddelde jaarlijkse warmtevraag voor warm tapwater in GJ (thermisch) weergegeven per huishouden, zoals ingeschat voor de relevante zichtjaren.

Tabel 7: Ontwikkeling vraag warmtapwater

Gemiddelde warmtevraag warm water	2000	2010	2015	2020	2030
Per huishouden [GJth/jaar]	9.0	8.6	8.5	8.3	8.1

Het warm tapwater gebruik per persoon blijft naar verwachting de komende jaren min of meer gelijk [4]. Maar omdat de gemiddelde gezinsgrootte afneemt, daalt de gemiddelde warmtevraag voor warm tapwater per (particulier) huishouden enigszins.

Elektriciteitsgebruik

Ook wat betreft het totale elektriciteitsgebruik (gebruiker- en gebouwgebonden) per huishouden wordt in bovenstaande bronnen geen onderscheid gemaakt naar type woning of type huishouden (een of meerdere personen, jongeren of senioren, ed.). In onderstaande tabel staat het jaarlijkse elektriciteitsgebruik in kWh weergegeven per huishouden, zoals ingeschat voor de relevante zichtjaren.

Tabel 8: Ontwikkeling elektriciteitsvraag

Gemiddeld jaarlijks elektriciteitsgebruik	2000	2010	2015	2020	2030
Per huishouden [kWh/jaar]	3352	4084	4433	4631	4960

Het elektriciteitsgebruik per huishouden neemt toe door een toename van het aantal apparaten en een toename van de gebruiksduur [4]. Omdat deze getallen, zoals afgesproken, rechtstreeks uit bestaande scenario's komen, zijn deze inclusief gebouwgebonden energie, zoals bijvoorbeeld hulpenergie voor ruimteverwarming en voor warm tapwater. Wel zijn de getallen gecorrigeerd voor elektriciteitsproductie door PV-panelen.

Tot slot

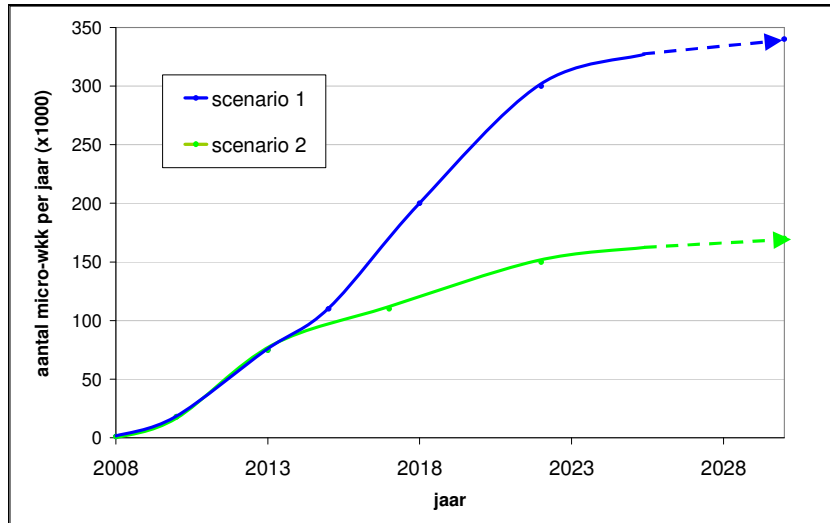
Niet voor alle zichtjaren is een zelfde detailniveau beschikbaar. Er is overwogen om op basis van trends in beschikbare data dit detailniveau alsnog aan te brengen (extrapolatie van data). Echter, omdat afgesproken is dat uitgegaan wordt van beschikbare data, is hiervan afgezien.

Samenvattend

Voor de vraag naar ruimteverwarming, warm tapwater en elektriciteitsvraag wordt uitgegaan van de cijfers uit de SAWEC studie van ECN. Zie ook Tabel 7 en Tabel 8.

Penetratiescenario's

Voor de marktpenetratiescenario's zal worden uitgegaan van het door Smart Power Foundation²⁶ verstrekte scenario (zie kader op pagina 28). Er is rekening mee gehouden dat het oorspronkelijke scenario inmiddels een jaar vertraging heeft opgelopen. Aan het SPF scenario is een tweede scenario toegevoegd om de effecten van een tragere marktontwikkeling²⁷ weer te geven. De twee scenario's zijn weergegeven in figuur 4.4.



Figuur 4.4: Verkoop van micro-wkk in aantallen per jaar

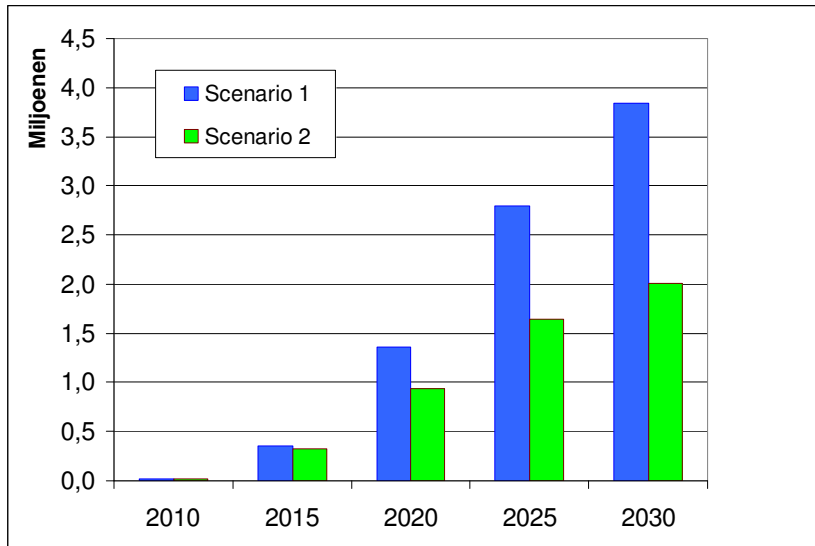
In het tweede scenario gaan we ervan uit dat de marktontwikkeling de eerste periode ongewijzigd zal zijn ten opzichte van het eerste scenario maar dat de marktontwikkeling daarna vertraging oploopt. Er zijn, naast rentabiliteit, verschillende factoren die het succes van de marktintroductie mede zullen bepalen. Factoren die mogelijk zowel leiden tot extra potentie als een afname daarvan zijn:

- Ongunstige spreiding gas- en elektriciteitsprijs (-)
- Hoge initiële kosten (-)
- Makkelijke besparingsoptie (+)
- Onbekendheid (-)
- Concurrerende opties (-)
- Ongeïnteresseerdheid bij consument (-)
- Hogere status (zoals Prius) (+)
- Niet alle woningen kunnen fors worden geïsoleerd (+)

Als een terugverdientijd van vijf jaar niet kan worden gerealiseerd en/of wanneer andere marktproblemen zich voordoen, dan is de kans groot dat niet de marktverschuiving VR/HR als scenario moet worden aangehouden. Daarom is in het tweede scenario een marktscenario aangehouden waarbij de grootschalige verkoop per jaar op 50% van het niveau van eerste scenario ligt. Een concurrentieanalyse van micro-wkk zou meer inzichten kunnen geven in mogelijke marktontwikkeling van micro-wkk.

²⁶ Smart Power Foundation is een stichting waarin Nederlandse ontwikkelaars van micro-wkk samenwerken

²⁷ "Trager" is hier geïnterpreteerd als minder snelle groei na succesvolle introductie. Een andere optie is een tragere marktontwikkeling met name in de introductiefase (2008-2013).



Figuur 4.5: Cumulatief aantal opgestelde micro-wkk's in Nederland

Figuur 4.5 geeft een overzicht van het cumulatief aantal geïnstalleerde micro-wkk's per zichtjaar voor beide marktscenario's. In scenario 1 zijn er in 2030 in Nederland cumulatief ruim 3,8 miljoen micro-wkk's geïnstalleerd en in scenario 2 worden dat er 2,0 miljoen.

Onderstaand stuk geeft een beknopte toelichting op het scenario van de Smart Power Foundation. Het scenario van SPF is gebaseerd op aannames die in het kader van dit onderzoek niet zijn getoetst of noodzakelijkerwijs zijn onderschreven.

Achtergrond van het scenario van SPF

De economische randvoorwaarden en daarmee samenhangende terugverdientijd is één van de bepalende factoren voor de marktontwikkeling van micro-wkk. Daarnaast zullen zaken als het opleiden van installateurs, het opstarten van grootschalige productie van micro-wkk's en acceptatie van marktpartijen een belangrijke rol spelen in de snelheid waarmee micro-wkk zal doorbreken op de Nederlandse markt. De eerste jaren is er nog ondersteuning vanuit de overheid noodzakelijk zijn om de marktomvang tot ongeveer 75.000 stuks op jaarbasis te laten groeien. Vanaf dat punt moet de micro-wkk kunnen concurreren met de HR-ketel.

De Nederlandse markt voor ketels is een sterk concurrerende markt. De relatief scherpe prijzen van de huidige HR ketel kunnen een probleem zijn bij de vergelijking in terugverdientijd van het verschil tussen een HR ketel en een micro-wkk. Desalniettemin liggen er veel kansen voor micro-wkk, zeker met het oog op stijgende energieprijzen. Een virtual power plant met micro-wkk's zal de toegevoegde waarde van micro-wkk verder vergroten en de economische kansen verbeteren.

Het scenario is opgebouwd met als onderlegger de marktontwikkeling van HR ketels gedurende de afgelopen 20 jaar. Belangrijk in dit scenario is dat er een terugverdientijd moet zijn van ongeveer maximaal 5 jaar. De eerste drie jaar kunnen micro-wkk's met behulp van programma-ondersteuning wel worden geïnstalleerd. Hierna zal middels ondersteuning of goede terugleververgoedingen cq steeds scherper wordende productieprijzen de 5 jaar terugverdientijd gerealiseerd kunnen worden.

Aantallen micro-wkk per marktsegment

In deze paragraaf nemen we het in de vorige paragraaf gepresenteerde penetratiescenario als uitgangspunt en berekenen vervolgens de verdeling van de micro-wkk toestellen over de verschillende woningtypes voor de zichtjaren 2010, 2015, 2020 en 2030.

We gaan hierbij uit van het volgende model. Per zichtjaar nemen we aan dat in woningen een micro-wkk toestel zal worden toegepast van de op dat moment hoogst beschikbare categorie, rekening houdend met de grootte van de vervangingsmarkt in deze categorie. Aangezien het hier een potentieelstudie betreft, is er vanuit gegaan dat micro-wkk toestellen van een lagere categorie niet meer zullen worden toegepast. Vervolgens nemen we aan dat de micro-wkk toestellen worden toegepast in de woningen waar dit de grootste energiebesparing oplevert, ervan uitgaande dat marktprikkels (energieprijzen, energiebelasting, terugleververgoedingen) en regelgeving dit zullen sturen. Ten slotte nemen we aan dat een micro-wkk toestel pas na vijftien jaar wordt vervangen door de dan beschikbare hoogste categorie.

Wij kiezen hier voor toepassing van een eenvoudig verdelingsmodel met transparante rekenmethodiek. In werkelijkheid zullen niet alleen de grootste CO₂-bespaarders instappen, maar zullen ook vele andere factoren een rol spelen.

Operationeel kunnen we de methodiek als volgt beschrijven:

1. Bereken in een zichtjaar de besparing per woningtype uitgaande van het best beschikbare micro-wkk categorie.
2. Verdeel de beschikbare micro-wkk toestellen over de woningen in volgorde van afnemende energiebesparing, waarbij de volledige vervangingsmarkt per woningtype wordt voorzien van micro-wkk voordat er micro-wkk's worden geplaatst in het volgende woningtype.

Herhaal stap 1 en 2 in het volgende zichtjaar, met dien verstande dat micro-wkk's door apparaten uit de best beschikbare categorie worden vervangen indien de levensduur van het al geïnstalleerde toestel is verstreken. De in dit rapport gehanteerde beschikbaarheid van micro-wkk categorieën tot 2030 is weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9 : Beschikbare microWKK-categorieën tot 2030

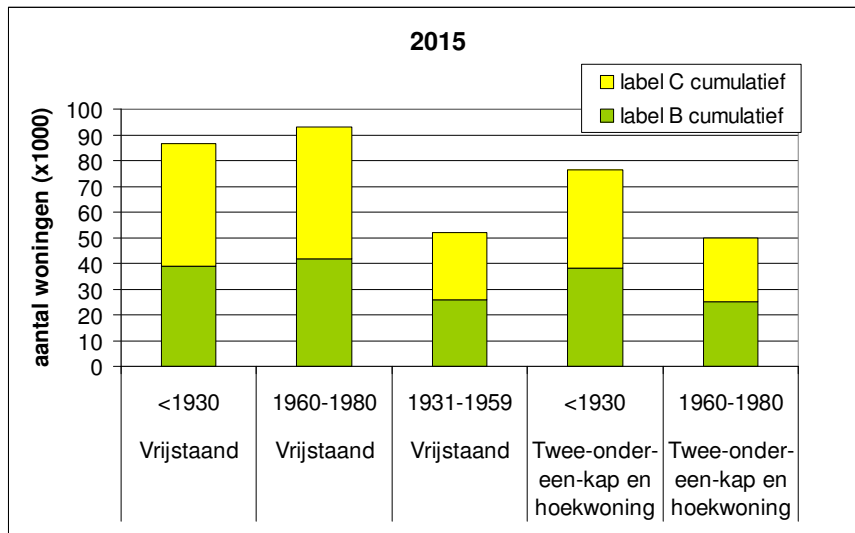
Periode	Best beschikbare micro-wkk categorie
Nu - 2010	C
2010 - 2015	C – B
2015 - 2020	B
2020 - 2030	B – A

De te plaatsen aantallen micro-wkk toestellen zijn weergegeven in tabel 4.4. De getallen zijn ontleend aan de penetratieschattingen van de Smart Power Foundation.

Tabel 10 : Aantal verkochte micro-wkk toestellen per periode volgens de twee penetratiescenario's (ontleend aan Smart Power Foundation 2007)

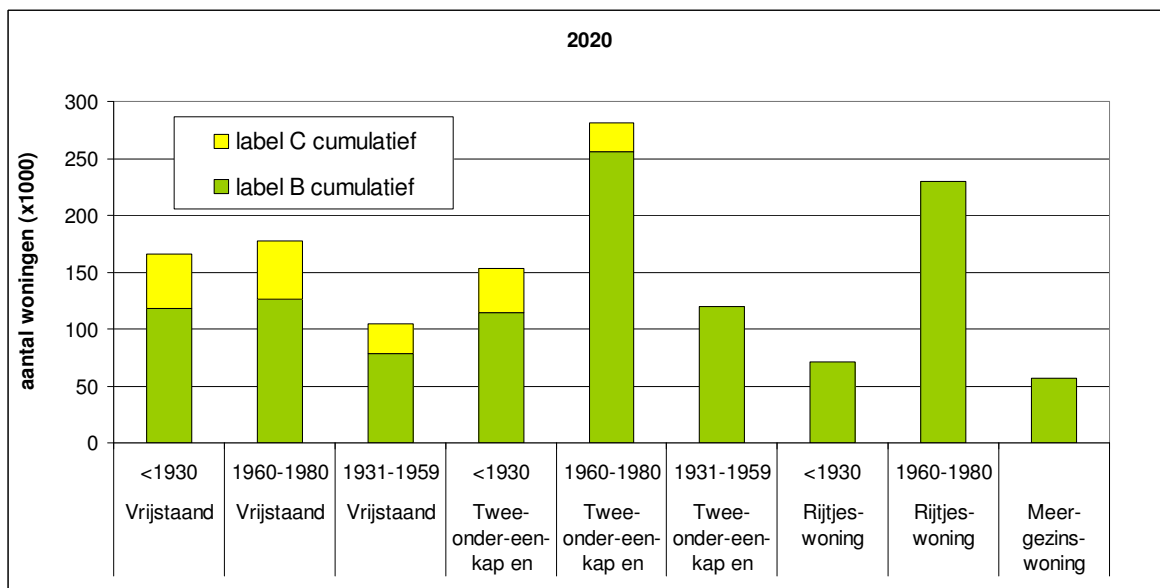
Periode	Aantal verkochte toestellen (x1000)	
	Scenario 1	Scenario 2
Nu-2010	18.000	18.000
2010 - 2015	340.000	309.000
2015 - 2020	1.000.000	609.500
2020 - 2030	2.980.000	1.498.400

Het resultaat van bovenstaande verdelingsmethodiek laat zich eenvoudig beschrijven. Tot 2010 zullen de eerste C-categorie toestellen gelijkmatig worden verdeeld in de vrijstaande woningen van vóór 1981 en vrijstaande woningen uit 1960-1980. Daarna komen er ook categorie B-toestellen beschikbaar. Deze worden in vrijstaande woningen en twee-onder-één-kap woningen van vóór 1981 geplaatst, zie figuur 4.6.



Figuur 4.6: Marktpenetratie van C-categorie micro-wkk toestellen in 2015 volgens marktscenario 1

Na 2015 worden de B-categorie toestellen achtereenvolgens geplaatst in vrijstaande woningen, twee-onder-een-kap woningen, rijtjeswoningen voor 1981 en meergezinswoningen van voor 1931. In 2020 ziet de marktpenetratie van de toestellen over de woningmarkt eruit zoals weergegeven in Figuur 4.7.



Figuur 4.7: Marktpenetratie van categorie B- en C micro-wkk's in 2020 volgens marktscenario 1

In 2030 zijn alle C-categorie toestellen vervangen door A-categorie toestellen die na 2020 beschikbaar komen. Ook de voor 2015 geplaatste B-toestellen zijn aan vervanging toe. Doordat er volgens het gebruikte woningenbestand model 5288000 woningen gebouwd zijn vóór 2000, zullen alle beschikbare A-categorie toestellen in deze woningen geplaatst worden en niet in de woningen ná 2000.

Samenvattend:

Voor de verdeling van de beschikbare micro-wkk's passen we een verdeelsleutel toe die de CO₂-emissiereductie maximaliseert. In bijlage V worden deze resultaten getalsmatig weergegeven, zowel voor scenario 1 als voor scenario 2.

Hoofdstuk 5 Energiebesparing en CO₂-emissiereductie

Op basis van de voorgaande hoofdstukken kan nu de potentiële energiebesparing en CO₂-emissiereductie worden berekend voor de zichtjaren. Tabel 11 bevat een beknopt overzicht van enkele belangrijke getalsmatige uitgangspunten die in deze berekening een rol spelen.

Tabel 11: Overzichtstabel van gebruikte uitgangspunten

		- 2010	2010 - 2015	2015 - 2020	2020 - 2030
Best beschikbare micro-wkk	categorie	C	C-B	B	B-A
Elektrisch rendement micro-wkk	%	15%	20%	25%	30%
Thermisch rendement micro-wkk	%	90%	85%	80%	75%
Totaalrendement micro-wkk	%	105%	105%	105%	105%
Cumulatief aantal micro-wkk toestellen (x1000)	Scenario 1	18	358	1358	3840
	Scenario 2	18	327	937	2009
CO ₂ -emissiefactor STEG ²⁸	g/kWh	385	385	385	325
CO ₂ -emissiefactor kolen CCS vanaf 2020 ²⁹	g/kWh	-	-	-	120
Elektrisch rendement STEG ³⁰	%	50,5%	50,5%	50,5%	59,6%
Elektrisch rendement kolencentrale (IGCC) met CCS vanaf 2020 ³¹	%	-	-	-	41,3%

In de weergave van de resultaten wordt onderscheid gemaakt in de periode voor en na 2020, achtergrond is het verschil in referentie: tot 2020 wordt ervan uitgegaan dat micro-wkk leidt tot het terugregelen van bestaande regelbare, centrales ("operational margin"). Na 2020 wordt voor de referentie van elektriciteit aangenomen dat de bouw van nieuwe elektriciteitscentrales wordt vermeden ("build margin").

Resultaten tot 2020

Tot 2020 wordt micro-wkk vergeleken met de HR-ketel en elektriciteitsproductie uit een gasgestookte, regelbare centrale (zie hoofdstuk 2). Dat leidt tot de volgende resultaten voor de twee verschillende marktscenario's:

Tabel 12: Energiebesparing en CO₂ emissiereductie in 2020

	Energiebesparing]	CO ₂ -emissiereductie	
		Middenwaarde	Volledige range
Scenario 1	17 PJ/jr	0,9 Mton/jr	0,6 - 1,1 Mton/jr
Scenario 2	12 PJ/jr	0,6 Mton/jr	0,4 – 0,8 Mton/jr

Het resultaat voor energiebesparing in 2020 is in Tabel 12 alleen afhankelijk van het marktscenario. Voor de CO₂-emissiereductie wordt voor elk scenario ook een bandbreedte weergegeven. Deze bandbreedte is indicatief voor verschillen tussen individuele centrales. Afhankelijk van het gekozen marktscenario ligt de CO₂-emissiereductie in 2020 tussen de 0,4 en 1,1 Mton CO₂ per jaar. De cumulatieve besparing over de periode 2008 – 2020 is 2,7 Mton in scenario 2 en 3,4 Mton in scenario 1.

²⁸ Middenwaarde voor type centrale.

²⁹ Middenwaarde voor type centrale

³⁰ Inclusief 3,9% netverliezen, rendementen 'bij gebruiker'

³¹ Inclusief 3,9% netverliezen, rendementen 'bij gebruiker'

Resultaten na 2020

Voor de zichtperiode 2020 tot 2030 wordt de spreiding in de resultaten groter doordat het aantal onzekerheden sterk toeneemt. Er zijn onzekerheden met betrekking tot de marktontwikkeling van de micro-wkk zelf, de afname van de warmtevraag als gevolg van de huidige beleidsvoornemens voor energiebesparing en de onzekerheid over welke elektriciteitscentrale in deze periode zou worden geplaatst. Deze laatste onzekerheid heeft verreweg het grootste effect.

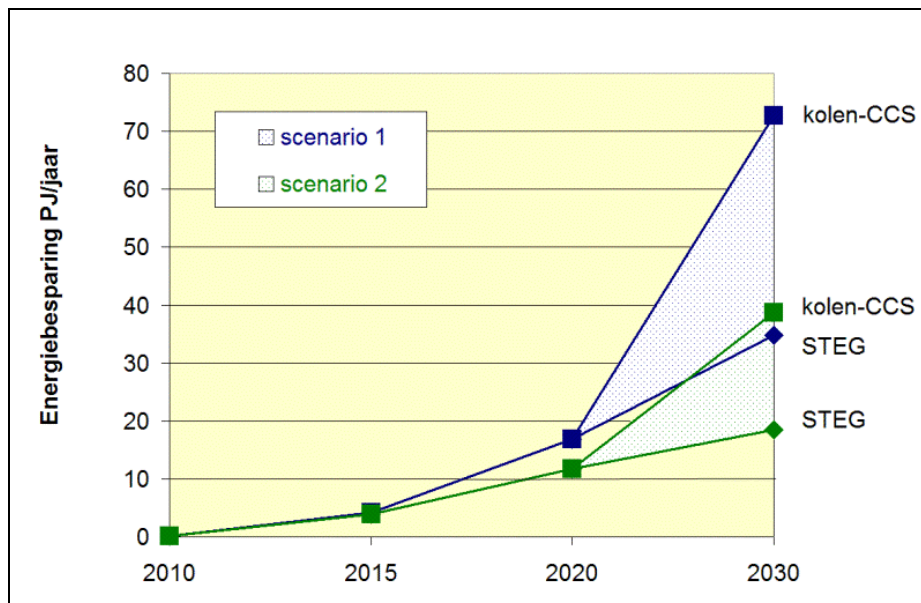
Ervan uitgaande dat er in deze periode nieuwe, regelbare elektriciteitscentrales worden vermeden (zie ook hoofdstuk 2), wordt het effect van micro-wkk bepaald door een vergelijking te maken met twee verschillende referenties: een gasgestookte STEG-centrale en een kolengestookte IGCC centrale met CCS. Dit leidt tot de volgende resultaten:

Tabel 13: Energiebesparing en CO₂ emissiereductie in 2030

Potentieel in 2030		Energiebesparing	CO ₂ -emissiereductie	
			Middenwaarde	Volledige range
Scenario 1	Ref STEG	35 PJ/jr	1,8 Mton/jr	1,4 - 2,1 Mton/jr
	Ref Kolen CCS	73 PJ/jr	-1,2 Mton/jr	-0,7 - -1,6 Mton/jr
Scenario 2	Ref STEG	19 PJ/jr	0,9 Mton/jr	0,7 - 1,1 Mton/jr
	Ref Kolen CCS	39 PJ/jr	-0,6 Mton/jr	-0,4 - -0,8 Mton/jr

Uit de tabel blijkt dat micro-wkk, met als referentie een nieuwbouw STEG-centrale, 0,7 tot 2,1 Mton CO₂ in 2030 reduceert, afhankelijk van het gekozen marktscenario. De energiebesparing varieert van 19 PJ tot 35 PJ in 2030. En als er wordt vergeleken met een kolencentrale met CCS dan neemt de energiebesparing toe naar een range van 39 tot 73 PJ per jaar. Echter, op het gebied van CO₂-emissiereductie is hier de bijdrage -0,4 tot -1,6 Mton per jaar, omdat dit type centrale elektriciteitsopwekking minder CO₂ uitstoot per kWh dan micro-wkk.

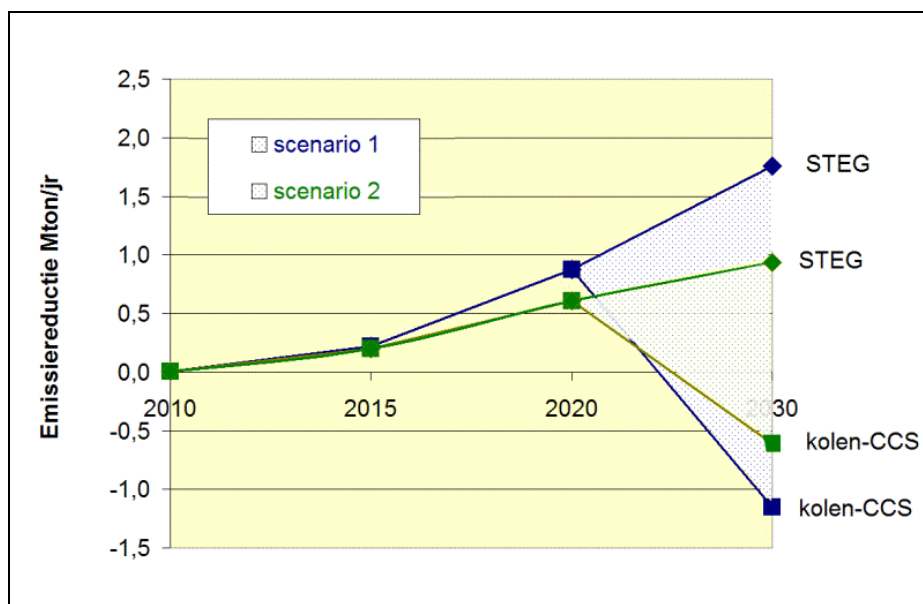
Micro-wkk bespaart energie, onafhankelijk van het gekozen marktscenario of de twee hier gehanteerde referenties voor centrale fossiele elektriciteitsopwekking. Deze energiebesparing ligt tussen de 19 en 73 PJ per jaar in 2030. Dit komt overeen met een brandstofbesparing van 0,6 tot 2 miljard kubieke meter aardgasequivalenten. Figuur 5.1 illustreert het effect voor Nederland.



Figuur 5.1: Energiebesparing met micro-wkk in Nederland tot en met 2030

Met micro-wkk worden de in Nederland beschikbare primaire brandstoffen dus efficiënter ingezet maar dit leidt niet noodzakelijkerwijs tot een reductie van CO₂-emissies³².

Figuur 5.2 geeft de resultaten voor CO₂ emissiereductie weer voor de in hoofdstuk 2 toegelichte referenties, een nieuwbouw STEG-centrale en een kolengestookte centrale (IGCC) met CCS op basis van de middenwaardes. Duidelijk wordt dat de CO₂-emissiereductie zeer sterk afhankelijk is van het type elektriciteitscentrale waarmee wordt vergeleken. Als CO₂ opvang een succesvolle demonstratiefase doorloopt en op grote schaal economisch toegepast gaat worden, zal micro-wkk leiden tot een toename van de CO₂-emissies. Vergeleken met een zeer moderne STEG centrale levert micro-wkk nog wel een bijdrage aan de CO₂-emissiereductie voor beide marktscenario's.



Figuur 5.2: CO₂-emissiereductie met micro-wkk in Nederland tot en met 2030

Interpretatie van de resultaten

De weergegeven uitkomsten betreffen het berekende technisch potentieel. Realisatie van dit potentieel hangt af van veel meer variabelen dan beschouwd in deze studie.

Een groot deel van de input voor deze studie betreft scenario's (o.a. voor ontwikkeling woningvoorraad, energievraag, referentie rendementen en marktpenetratie micro-wkk). Deze scenario's bevatten elk uiteraard onzekerheden (die toenemen naarmate het zichtjaar verder weg ligt) en/of uitgangspunten waar verschillende opvattingen over bestaan.

Het mag duidelijk zijn dat de resultaten van deze studie alleen geldig zijn voor de in dit rapport beschreven uitgangspunten. Andere uitgangspunten zullen tot andere uitkomsten leiden.

³² Micro-wkk heeft ook een effect op de voorzieningszekerheid in Nederland. Hoe dit effect precies uitpakt is nog onduidelijk. Enerzijds is er een kleiner beslag op brandstoffen, anderzijds heeft micro-wkk mogelijk een effect op de brandstofmix tot 2030.

Energiebesparing en CO₂-emissiereductie in nationaal perspectief

Volgens de CBS energiebalans verbruiken de Nederlandse huishoudens momenteel ongeveer 10 miljard m³ aardgas en 24 TWh elektriciteit. Dat komt neer op een primair energieverbruik van circa 540 PJ per jaar.

Volgens de referentieraming van ECN en RIVM is de totale uitstoot van de woningbouw 30 Mton in 2005 [4]. Dit zijn zowel de emissies als gevolg van aardgasverbruik als het elektriciteitsverbruik.

Op basis van de hier gekozen uitgangspunten bespaart micro-wkk 12 tot 17 PJ in 2020. Daarmee kan micro-wkk een significante bijdrage leveren aan de ambities om energie te besparen in de woningbouw. Ter vergelijking, in het plan Meer met Minder, dat door de overheid wordt ondersteund, is de doelstelling voor de woningbouw in 2020 een energiebesparing van 78 PJ door middel van isolatie en efficiëntere installaties [11]. Hierbij moet worden opgemerkt dat de voorziene vraagreductie in Meer met Minder mogelijk een beperkend effect heeft op de potentiële bijdrage van micro-wkk.

Ook op het gebied van CO₂-emissiereductie kan micro-wkk een bijdrage leveren aan de doelstellingen van de overheid. Voor micro-wkk geldt dat in 2020 in vergelijking tot de huidige referentietechniek een emissiereductie van 0,4 tot 1,1 Mton/jaar wordt behaald. Ter vergelijking, in het werkprogramma Schoon en Zuinig [12] dat het kabinet vorig jaar heeft gepresenteerd is een doelstelling opgenomen voor CO₂-emissiereductie voor de gebouwde omgeving van 6-11 Mton in 2020 ten opzichte van ongewijzigd beleid.

Voor 2030 zijn er nog geen concrete beleidsdoelen geformuleerd om mee te vergelijken (maar verdere reductie ligt in de lijn der verwachting). Echter, op lange termijn is, afhankelijk van de gekozen referentie, zowel een positief als negatief effect op CO₂-emissiereductie mogelijk;

Tot slot, micro-wkk maakt efficiënter gebruik van aardgas als hoogwaardige brandstof dan de HR-ketel en een moderne elektriciteitscentrale tot 2030 en kan daardoor een volgende stap zijn in het toepassen van efficiëntere installaties in de woningbouw.

Vervolgonderzoek

In deze studie was het niet mogelijk alle factoren die van invloed zijn op het potentieel mee te nemen. Met name de volgende onderwerpen worden aanbevolen om in vervolg projecten nader te analyseren in het kader van technisch potentieel:

- Gecoördineerde inzet van micro-wkk eenheden in woningen als virtuele energiecentrale.
- Effect van concurrerende technologieën op marktpenetratie en potentieel van micro-wkk.
- De precieze impact van de aangenomen marktpenetratie van micro-wkk op de ontwikkeling van het centrale elektriciteitspark en analyse van het type opwekker dat in dit park wordt verdrongen (operational / build margin) op de momenten dat micro-wkk eenheden actief zijn.
- Het effect van micro-wkk met vermogens (aanzienlijk) groter dan 1 kW elektrisch.
- Het effect van het gebruik van micro-wkk op de vermeden netverliezen. Er zal minder transport over het landelijke transportnet nodig zijn. Aan de andere kant vindt er ook voor een deel netuitwisseling plaats. Deze netverliezen vormen momenteel een grijs gebied en zouden nader onderzocht moeten worden.

Referenties

- [1] Werkgroep Decentrale Gastoepassingen. Technisch energie- en CO2-besparingspotentieel van micro-wkk in Nederland (2010-2030). Juni 2006
- [2] Smart Power Foundation, Marktontwikkeling Micro – en mini- warmtekracht in Nederland tot 2020”, update 2007.
- [3] NEN, Energieprestatie van woonfuncties en woongebouwen – Bepalingsmethode, NEN 5128:2004 nl, 2004.
- [4] ECN, “Referentieramingen energie en emissies 2005-2020”, A.W.N. van Dril e.a., rapport C-05-018, Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten, mei 2005.
- [5] ECN, Impact of Carbon Capture and Storage on future electricity prices in North Western Europe - Results of a regional analysis 2010-2030, ECN-E-08-021 (in voorbereiding, publicatie verwacht in april/mei 2008).
- [6] CBS. 2005. Duurzame energie in Nederland, Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen, 2005.
- [7] Remeha, april 2008. Resultaten HRe-veldtest seizoen 2007-2008. Presentatie op 2^e nationale micro-wkk dag.
- [8] EnergieNed, ‘Basisonderzoek Aardgasverbruik Kleinverbruikers’, 2001
- [9] ECN, “Een blik op de toekomst met SAWEC”, Y.H.A. Boerakker, M. Menkveld, C.H. Volkers, rapport C-05-070, Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten, juli 2005.
- [10] CPB, MNP en RPB “*Welvaart en LeefOmgeving, Een scenariostudie voor Nederland in 2040*”. 2006
- [11] Energietransitie, Meer met Minder. 2007
- [12] Ministerie van Economische Zaken, Werkprogramma Schoon & Zuinig; Nieuwe energie voor het klimaat. September 2007

Bijlages

Bijlage I Consultatie Werkgroep micro-wkk

Cogen Nederland heeft in 2001 een Werkgroep Micro-wkk opgericht om kennisopbouw op het gebied van micro-wkk te stimuleren en collectieve problemen te identificeren en op te lossen. Deelnemers aan de werkgroep zijn ontwikkelaars, ketelfabrikanten, kennisinstututen en energiebedrijven. In 2006 is er in deze groep een consultatieronde geweest om de techniek-ontwikkeling beeld te brengen. De resultaten staan in onderstaande tabel.

Tabel 1: Resultaat consultatie Werkgroep micro-wkk Cogen Nederland (augustus 2005)

	2010			2020		
	Stirling	Gasmotor	Brandstofcel	Stirling	Gasmotor	Brandstofcel
η_e (range) (ow)	14% (12-20)	20% (18-25)	35% (30-40)	25% (20-30)	25% (20-30)	40% (35-45)
$\eta_{overall}$ (ow)	105%	95%	85%	105%	105%	95%
P_e	1	1	1	1	1	1
P_{th}	6,1	3,8	1,4	4,9	3,0	1,4
	Beschikbaar	Demofase	Demofase	Beschikbaar	Beschikbaar	Beschikbaar

* Verwachte stationaire rendementen

Bijlage II Graaddagen methode

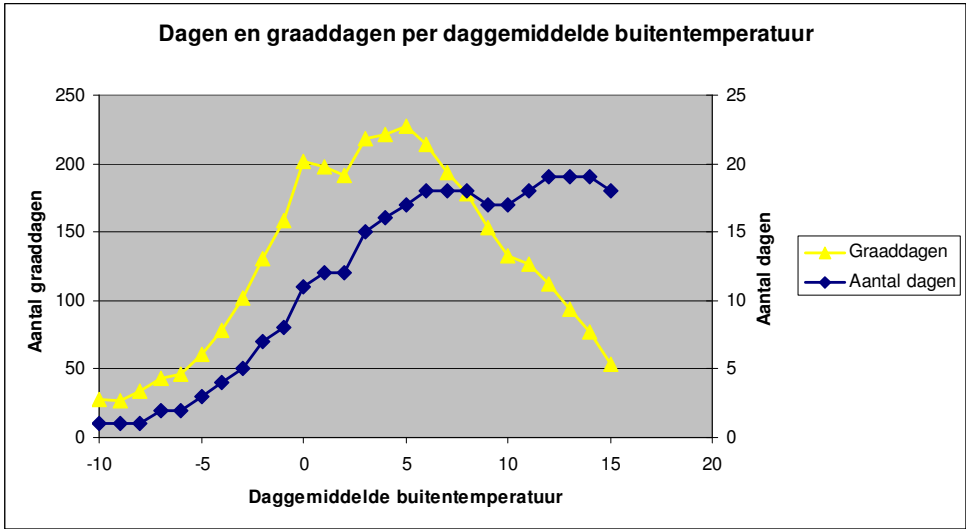
Voor het bepalen van de jaarprestaties van micro-wkk en bijstook moet het aandeel van beide opwekkers in de warmtevraag voor verwarming en/of warmtapwater bekend zijn. Hiervoor is gebruik gemaakt van de graaddagenmethode.

Hieronder wordt deze methode beknopt beschreven.

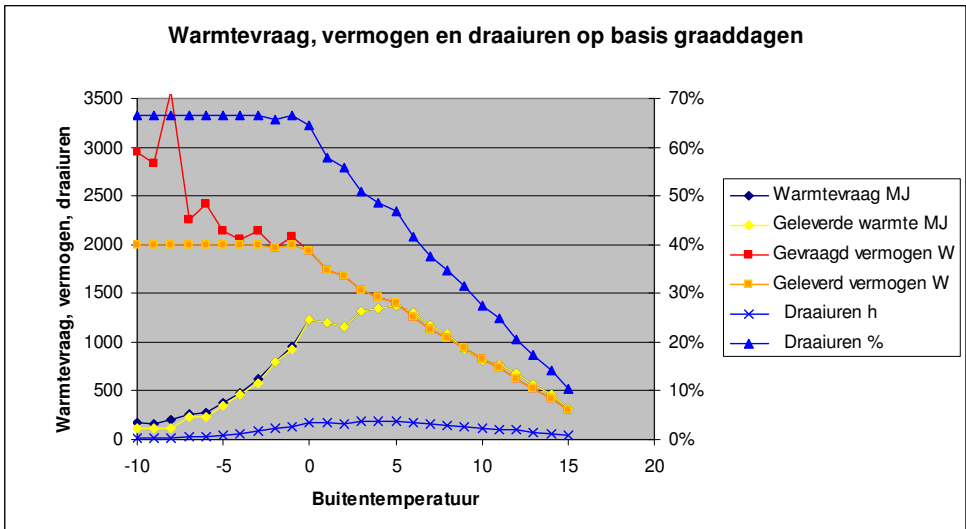
- Uitgangspunt is de warmtevraag op jaarbasis in MJ en het thermisch vermogen van de micro-wkk in W.
Bij toepassing van een combi-micro-wkk wordt tevens de netto warmtapwatervraag in MJ per jaar, het distributierendement en het vatrendement gegeven. Op basis hiervan wordt de bruto warmtapwatervraag aan de micro WKK berekend.
- De graaddagen zijn verdeeld naar daggemiddelde buitentemperatuur (zie figuur 18).
- De warmtevraag wordt nu evenredig met de graaddagen verdeeld per daggemiddelde buitentemperatuur.
- Per daggemiddelde buitentemperatuur wordt nu het gemiddeld gevraagd vermogen bepaald bij een inzet gedurende maximaal 16 uur
- Vervolgens wordt de inzet van de micro-wkk bepaald per daggemiddelde buitentemperatuur:
 - Als het gemiddeld gevraagd vermogen hoger is dan het thermisch vermogen van de micro-wkk wordt verondersteld dat de wkk maximaal 16 uur nuttige warmte levert.
Het aandeel van de wkk in de warmtelevering is dan de verhouding tussen het thermisch vermogen van de micro-wkk en het gevraagd vermogen .
De benuttingsgraad van de wkk is dan 67%.
Het ontbrekend vermogen wordt door de bijstook geleverd.
 - Anders (dus als het gemiddeld gevraagd vermogen lager dan of gelijk aan het thermisch vermogen van de micro-wkk is) levert de wkk het gevraagd gemiddeld vermogen. Het aandeel in de warmtelevering door de wkk is dan 100%. De benuttingsgraad van de wkk is dan de verhouding tussen het gevraagd vermogen en het thermisch vermogen van de micro-wkk. De bijstook wordt dan niet ingezet.
 - Vervolgens wordt de warmtevraag voor warmtapwater bepaald per daggemiddelde buitentemperatuur.
 - De hiervoor beschikbare warmte is het verschil van de door de wkk beschikbare en geleverde warmte voor verwarming.
 - Als de warmtevraag voor warmtapwater hoger is dan de nog beschikbare warmte van de micro-wkk wordt verondersteld dat de wkk permanent nuttige warmte levert.
Het aandeel van de wkk in de warmtevraag voor warmtapwater is dan de verhouding tussen de nog beschikbare warmte van de micro-wkk en de warmtevraag voor warmtapwater. De benuttingsgraad van de wkk wordt dan 100%. Het ontbrekend vermogen wordt door de bijstook geleverd.
 - Anders (dus als de warmtevraag voor warmtapwater lager dan of gelijk aan de nog beschikbare warmte van de micro-wkk is) levert de wkk de gevraagde warmte.
Het aandeel in de warmtelevering door de wkk is dan 100%.
De benuttingsgraad van de wkk is dan de verhouding tussen de warmtevraag voor warmtapwater en het thermisch vermogen van de micro-wkk.
De bijstook wordt dan niet ingezet.
- In het graaddagenmodel is een stookgrens van 13 graden gehanteerd die correspondeert met een stookgrens voor matig tot slecht geïsoleerde woningen. Voor beter geïsoleerde woningen zal de stookgrens lager uitvallen.

De resultaten van de berekening worden gesommeerd, waarna het aandeel en de benuttingsgraad van de micro-wkk op jaarbasis

De figuur illustreert deze werkwijze voor de verwarmingsfunctie van de micro-wkk.



Figuur 1: Aantal dagen met gemiddelde buitentemperatuur/graaddagen



Figuur.2: Voorbeeld van gesimuleerde warmteproductie

Bijlage III Aandeel micro-wkk in ruimteverwarming en warmtapwater

De volgende dekkingsgraden zijn gebruikt voor de berekening van de energiebesparing en CO₂-emissiereductie. WTW staat voor warm tapwater en RV voor ruimteverwarming.

Tabel 2 : Dekkingsgraad micro-wkk met WTW-dekking met de mogelijkheid om 16 uur per dag te verwarmen.

	micro-wkk							
	2010		2015		2020		2030	
	netto	bruto						
	8600	12741	8500	11806	8300	11528	8100	11250
	label C		Label C-B		label B		Label B-A	
	6 kW thermisch		4,3 kW thermisch		3,2 kW thermisch		2,5 kW thermisch	
RV- vraag	RV	WTW	RV	WTW	RV	WTW	RV	WTW
60000	88%	100%	74%	100%	61%	100%	50%	100%
55000	91%	100%	78%	100%	65%	100%	54%	100%
50000	94%	100%	82%	100%	69%	100%	58%	100%
45000	96%	100%	87%	100%	74%	100%	63%	100%
40000	98%	100%	91%	100%	79%	100%	68%	100%
35000	99%	100%	95%	100%	85%	100%	74%	100%
30000	100%	100%	98%	100%	91%	100%	81%	100%
25000	100%	100%	99%	100%	96%	100%	88%	100%
20000	100%	100%	100%	100%	99%	100%	95%	100%
15000	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	100%

Bijlage IV Tabellen ontwikkeling woningbestand en vraag naar ruimteverwarming

2000					
Warmtevraag [GJth]	Vrijstaand	2/1-kap+ hoekwoning	Rijtjes woning	Meergezins woning	Totaal
-1930	59	45	44	38	46,8
1931-1959	51	40	37	32	39,3
1960-1980	58	41	40	33	41,6
1981-1995	34	26	27	26	27,2
>1995					20

2000				
Aantal ICV woningen x1000	Vrijstaand	2/1-kap+ hoekwoning	Rijtjes woning	Meergezins woning
-1930	212	208	179	180
1931-1959	148	328	207	207
1960-1980	245	684	657	245
1981-1995	164	468	404	343
>1995	103	63	73	89

2010					
Warmtevraag [GJth]	Vrijstaand	2/1-kap+ hoekwoning	Rijtjes woning	Meergezins woning	Totaal
-1930	54	40	37	35	41,8
1931-1959	47	37	32	30	35,4
1960-1980	54	38	35	30	38,0
1981-1995	33	25	25	24	25,7
>1995					16

2010				
Aantal ICV woningen x1000	Vrijstaand	2/1-kap+ hoekwoning	Rijtjes woning	Meergezins woning
-1930	233	226	204	221
1931-1959	156	355	236	269
1960-1980	252	694	682	274
1981-1995	164	467	404	335
>1995	343	206	237	326

2015					
Warmtevraag [GJth]	Vrijstaand	2/1-kap+ hoekwoning	Rijtjes woning	Meergezins woning	Totaal
-1930	51	38	35	34	39,8
1931-1959	46	35	31	29	33,8
1960-1980	52	36	34	29	36,4
1981-1995	32	24	24	23	24,5
>1995					15

2015				
Aantal ICV woningen x1000	Vrijstaand	2/1-kap+ hoekwoning	Rijtjes woning	Meergezins woning

-1930	236	229	209	225
1931-1959	157	359	242	285
1960-1980	253	694	686	279
1981-1995	164	467	403	330
>1995	514	307	353	477

2020					
Warmtevraag [GJth]	Vrijstaand	2/1-kap+ hoekwoning	Rijtjes woning	Meergezins woning	Totaal
-1930	49	36	33	32	37,9
1931-1959	44	34	29	27	32,4
1960-1980	50	35	32	28	34,8
1981-1995	30	23	23	22	23,6
>1995					15

2020				
Aantal ICV woningen x1000	Vrijstaand	2/1-kap+ hoekwoning	Rijtjes woning	Meergezins woning
-1930	238	230	213	224
1931-1959	157	359	245	295
1960-1980	253	693	688	281
1981-1995	163	466	403	326
>1995	667	399	459	620

2030		
Gemiddelde warmtevraag ruimteverwarming [GJth]		
Aantal ICV woningen ≤ 2000	x 1000	5288
Aantal ICV woningen > 2000	x 1000	3130
warmtevraag ≤ 2000	[GJth / woning]	28
warmtevraag > 2000	[GJth / woning]	17

Bijlage V Marktpenetratie van micro-wkk in Nederland

Marktpenetratie 2010

In de periode tot 2010 zijn er 18.000 toestellen te verdelen over de markt, zowel voor scenario 1 als voor scenario 2. De grootste CO2-besparingen kunnen worden gehaald bij de vrijstaande woningen. Er zijn alleen categorie C micro-wkk's op de markt. De toestellen worden gelijk verdeeld over de twee categorieën 'vrijstaand <1930' en 'vrijstaand 1960-1980'

Tabel 3. Penetratieaantallen 2010 (scenario 1 en 2)

woningtype	bouwjaar	A	B	C	Totaal
Vrijstaand	<1930			9.000	9.000
Vrijstaand	1960-1980			9.000	9.000
Totaal geplaatst in 2010				18.000	18.000

Marktpenetratie 2015

Tussen 2010 en 2015 zullen de eerste C-categorie toestellen worden geplaatst in de vrijstaande woningen van vóór 1981. Er zijn in deze periode 340.000 nieuwe toestellen te verdelen over de markt voor scenario 1 en 309.000 voor scenario 2 naast de al geïnstalleerde toestellen. De aandelen voor C-categorie en B-categorie micro-wkk's zijn gelijk verdeeld over de markt. Eerst worden de toestellen geïnstalleerd in de categorie met de hoogste warmtevraag, 'vrijstaand 1960-1980'. Vervolgens worden de toestellen geïnstalleerd in 'vrijstaand <1930'.

Tabel 4. Penetratieaantallen 2015 (scenario 1)

Woningtype	bouwjaar	A	B	C	Totaal
Vrijstaand	<1930		38833	38.833	77.667
Vrijstaand	1960-1980		42000	42.000	84.000
Vrijstaand	1931-1959		26000	26.000	52.000
Twee-onder-een-kap en hoekwoning	<1930		38167	38167	76.333
Twee-onder-een-kap en hoekwoning	1960-1980		25000	25.000	50.000
Totaal geplaatst in 2010-2015			170.000	170.000	340.000

Tabel 5. Penetratieaantallen 2015 (scenario 2)

Woningtype	bouwjaar	A	B	C	Totaal
Vrijstaand	<1930		38833	38.833	77.667
Vrijstaand	1960-1980		42000	42.000	84.000
Vrijstaand	1931-1959		26000	26.000	52.000
Twee-onder-een-kap en hoekwoning	<1930		38167	38167	76.333
Twee-onder-een-kap en hoekwoning	1960-1980		9500	9.500	19.000
Totaal geplaatst in 2010-2015			170.000	170.000	309.000

Marktpenetratie 2020

Er zijn in de periode 2015-2020 zichtjaar 1.000.000 toestellen te verdelen over de markt voor scenario 1 en 609.500 voor scenario 2 naast de installaties die in de voorgaande periodes geplaatst zijn. Er worden in deze periode enkel categorie B micro-wkk's geplaatst. De categorie C micro-wkk's zijn nog niet aan vervanging toe.

Tabel 6. Penetratieaantallen 2020 (scenario 1)

woningtype	bouwjaar	A	B	C	Totaal
Vrijstaand	<1930		79333		79333
Vrijstaand	1931-1959		84333		84333
Vrijstaand	1960-1980		52333		52333
Twee-onder-een-kap en hoekwoning	<1930		76667		76667
Twee-onder-een-kap en hoekwoning	1960-1980		231000		231000
Twee-onder-een-kap en hoekwoning	1931-1959		119667		119667
Rijtjes-woning	<1930		71000		71000
Rijtjes-woning	1960-1980		229333		229333
Meer-gezins-woning	<1930		56333		56333
Totaal geplaatst in 2015-2020			1.000.000		1.000.000

Tabel 7. Penetratieaantallen 2020 scenario 2

woningtype	bouwjaar	A	B	C	Totaal
Vrijstaand	<1930		79333		79333
Vrijstaand	1931-1959		84333		84333
Vrijstaand	1960-1980		52333		52333
Twee-onder-een-kap en hoekwoning	<1930		76667		76667
Twee-onder-een-kap en hoekwoning	1960-1980		231000		231000
Twee-onder-een-kap en hoekwoning	1931-1959		85833		85833
Totaal geplaatst in 2015-2020			609.500		609.500

Marktpenetratie 2030

In 2030 zijn alle C-categorie toestellen vervangen door A-categorie toestellen. Ook een deel van de geplaatste B-categorie toestellen is inmiddels vervangen. Doordat er 5.288.000 woningen gebouwd zijn vóór 2000, zullen alle beschikbare A-categorie toestellen in deze woningen geplaatst zijn en niet in de categorie woningen ná 2000.

Tabel 8. Penetratieaantallen 2030 scenario 1

woningtype	bouwjaar	A	B	C	Totaal
-	<2000	2.980.000			2.980.000
-	>2000				0

Tabel 9. Penetratieaantallen 2030 scenario 2

woningtype	bouwjaar	A	B	C	Totaal
-	<2000	1.498.400			1.498.400
-	>2000				0