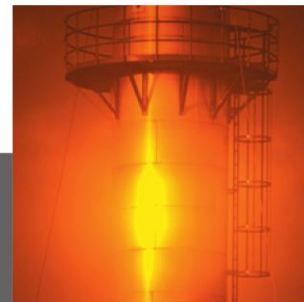


VERHOGEN RENDEMENT WKK

Datum: 3 februari 2014
Opdrachtgever: Programma Kas als Energiebron



ENERGYMATTERS
CONSULTANTS FOR ENERGY SOLUTIONS

Om papier te sparen is de opmaak van dit rapport geoptimaliseerd voor dubbelzijdig afdrukken.

VERHOGEN RENDEMENT WKK



Internet	www.energymatters.nl
Mail	info@energymatters.nl
Tel	+31 30 691 1844
Fax	+31 30 691 1765
Titel	Verhogen rendement WKK
Subtitel	
Projectnummer	136.3
Datum	3 februari 2014
Uitgevoerd door	Sander Peeters, Martin Horstink, Stijn Schlatmann

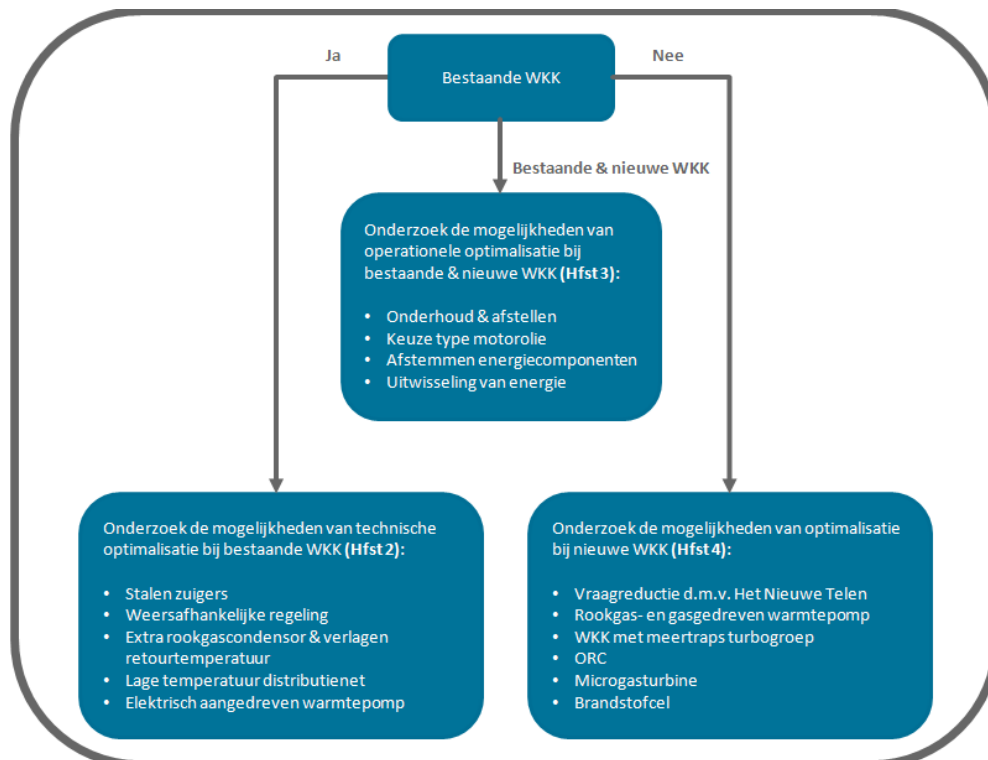


In opdracht van	Programma Kas als Energiebron
Contactpersoon	Piet Broekharst

SAMENVATTING

De WKK is de afgelopen jaren voor veel tuinbouwondernemers het belangrijkste middel geweest om de kosten van warmte, elektriciteit en CO₂ acceptabel te houden en energie te besparen. De ontwikkeling van gasmotoren was daarbij vooral gericht op het terugleveren van elektriciteit en het verhogen van het elektrisch rendement. Echter, door de ontwikkelingen op de elektriciteit- en gasmarkt staat de spark spread van WKK onder druk. Investeren in een WKK is dan ook niet meer in alle gevallen rendabel. Bestaande WKK's maken bovendien minder draaiuren. Bij het plaatsen van een nieuwe WKK en bij vervanging dient nu, in relatie tot de eigen energiebehoefte, ook goed gekeken worden naar het vermogen en de juiste technologie. Afhankelijk van de energiebehoefte kan de teler kiezen om het elektrisch rendement, het thermisch rendement of een combinatie van beide te optimaliseren.

In dit rapport volgen een aantal voorbeelden hoe het rendement verbeterd kan worden, tevens worden nieuwe en/of een combinatie van technieken aangestipt. In hoofdstuk 2 wordt de technische optimalisatie van bestaande WKK installaties behandeld. Het totaalrendement van een WKK ligt nu tussen de 88 en 93% procent. Met de technische maatregelen en de operationele maatregelen in hoofdstuk 3 uit dit rapport, kan het totaal rendement met maximaal 9 procentpunt worden verhoogt (op basis van onderwaarde). Voor nieuwe WKK's worden de mogelijkheden besproken in hoofdstuk 4. Er zijn nieuwe technologieën in ontwikkeling waarmee op kortere of middellange termijn nog verdere rendementsverbeteringen te verwachten zijn. In hoofdstuk 5 staat tenslotte onderstaande keuzediagram van de verschillende optimalisatiemogelijkheden (zie volgende pagina).



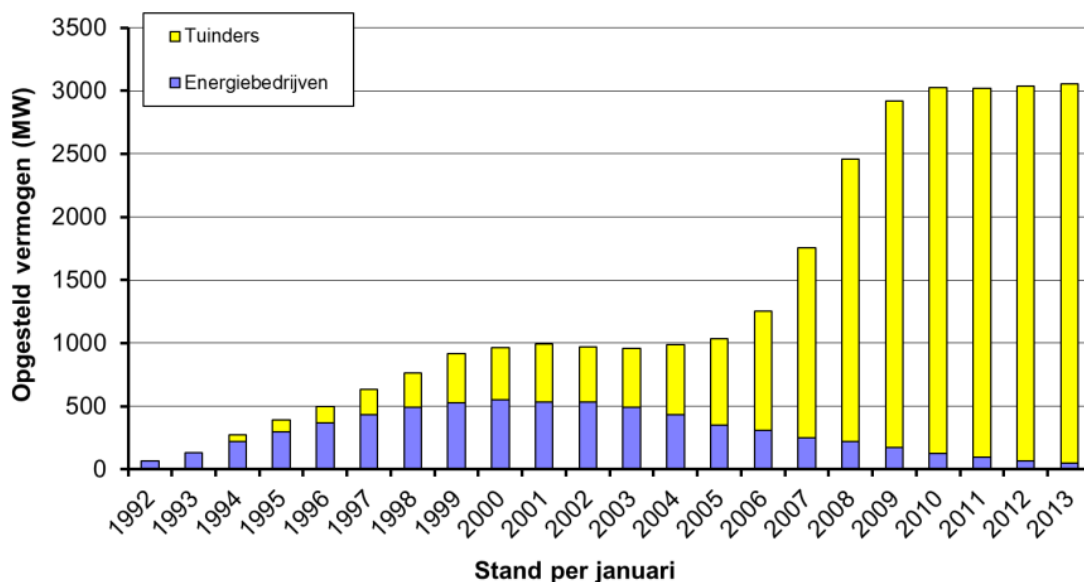
INHOUDSOPGAVE

Samenvatting.....	6
Inhoudsopgave	8
1 Inleiding.....	10
2 Technische optimalisatie bestaande WKK's.....	12
2.1 Stalen zuigers.....	12
2.2 Weersafhankelijke regeling	12
2.3 Extra rookgascondensator en verlagen retourtemperatuur	13
2.4 Lage-temperatuur-distributienet.....	14
2.5 Elektrisch aangedreven warmtepomp.....	15
3 Operationele optimalisatie	18
3.1 Onderhoud en afstellen	18
3.2 Keuze van type motorolie	21
3.3 Afstemmen energiecomponenten.....	21
3.4 Uitwisseling van energie	22
4 Optimalisatie bij nieuwe installaties	23
4.1 Vraagreductie	23
4.2 Gasgedreven absorptiewarmtepomp.....	25
4.3 Rookgasgedreven absorptiewarmtepomp	26
4.4 WKK met meertrapsturbogroep	27
4.5 ORC	27
4.6 Microgasturbine-generator	29
4.7 Brandstofcel.....	29
5 Keuzediagram.....	31

1 INLEIDING

Dit document is een vervolg op het eerder verschenen rapport ‘Verbetering duurzaamheid (bio)WKK in de glastuinbouw’ van december 2011. Dat rapport ging in op de technische ontwikkelingen rond WKK op het terrein van verlagen van de koolwaterstof (KWS) emissies en verbeteren van kwaliteit van condenswater van gasmotor-WKK’s. Dit rapport gaat meer in op de mogelijkheden voor het optimaliseren van gasmotor-WKK’s.

In de intensieve tuinbouw is 15 tot 30% van de teeltkosten toe te schrijven aan de kosten voor het energiegebruik. WKK op basis van gasmotoren is dan ook de afgelopen 20 jaar uitgegroeid tot een onlosmakelijk operationeel onderdeel van de glastuinbouw (zie Figuur 1). De WKK is de afgelopen jaren voor veel tuinbouwondernemers het belangrijkste middel geweest om de kosten van warmte, elektriciteit en CO₂ acceptabel te houden en energie te besparen.



Figuur 1 Opgesteld WKK vermogen binnen de glastuinbouw met onderscheid in eigendom van de energiebedrijven en de tuinbouwondernemer zelf

In het verleden is met de WKK veel verdiend aan elektriciteitsproductie en levering aan het net. De ontwikkeling van gasmotoren was dan ook vooral gericht op het verhogen van het elektrisch rendement. Echter, door de ontwikkelingen op de elektriciteit- en gasmarkt staat de spark spread van WKK onder druk. Dit heeft te maken met de relatief hoge gasprijs en lage elektriciteitsprijs. Investeren in een WKK is dan ook niet meer in alle gevallen rendabel. Bestaande WKK’s maken bovendien minder draaiuren. Bij het plaatsen van een nieuwe WKK en bij vervanging dient nu, in relatie tot de eigen energiebehoefte, ook goed gekeken worden naar het vermogen en de juiste technologie. Afhankelijk van de energiebehoefte van de teler kan gekeken worden om het elektrisch rendement, het thermisch rendement of een combinatie van beide te optimaliseren.

Vragen die bij deze keuze een rol spelen zijn:

- Wil ik meer elektriciteit uit mijn WKK halen met dezelfde hoeveelheid gas?
- Wil ik meer warmte uit mijn WKK halen met dezelfde hoeveelheid gas?
- Wil ik minder draaiuren maken met mijn WKK?

Kortom, leg je het energiesysteem, een WKK met eventueel een aanvullende techniek, met in achtneming van de gas- of elektriciteitsprijs juist uit op de eigen warmtevraag of leg je het energiesysteem juist uit op de eigen belichtingsvraag?

Binnen de glastuinbouw is ten opzichte van 1990 de energie-efficiency verdubbeld dankzij WKK, energiebesparing en productiestijging [programma Kas als Energiebron]. En ook het totaalrendement van de WKK stijgt nog steeds. Het totaalrendement van moderne WKK's ligt nu tussen de 88-93% (op basis van onderwaarde). Dit is veel als je bedenkt dat het gemiddelde rendement van Nederlandse elektriciteitscentrales circa 42% is.

Nog grotere energiebesparingen kunnen dan ook vooral nog gerealiseerd worden door het combineren van technieken zoals ingebed in Het Nieuwe Telen. Binnen Het Nieuwe Telen kan WKK nog steeds een belangrijke rol vervullen. Kortom, de rendementverbeteringen van WKK nemen nog steeds toe, maar echt grote sprongen in energiebesparing zijn vooral nog te realiseren door het optimaal op elkaar afstemmen van verschillende technieken. De WKK kan dan ook niet meer los worden gezien van het geheel, waaronder de klimaatbeheersing en teeltstrategie.

In dit rapport volgen een aantal mogelijkheden met praktijkvoorbeelden hoe het technisch en/of economisch rendement verbeterd kan worden, tevens worden nieuwe combinaties van technieken aangestipt. In hoofdstuk 2 wordt de technische optimalisatie van bestaande WKK installaties behandeld. Hoofdstuk 3 beschrijft de operationele mogelijkheden voor optimalisatie van bestaande WKK's. Voor nieuwe WKK's worden de mogelijkheden besproken in hoofdstuk 4. Tenslotte staat in hoofdstuk 5 een keuzediagram voor de verschillende optimalisatiemogelijkheden.

2 TECHNISCHE OPTIMALISATIE BESTAANDE WKK'S

Door verandering in de energiekosten en technische vooruitgang zijn voor bestaande WKK's technische verbeteringen mogelijk. Deze verbeteringen hebben tot doel het verlagen van de bedrijfskosten of verhogen van de betrouwbaarheid.

2.1 Stalen zuigers

Een aantal WKK leveranciers plaatst bij een revisie stalen zuigers in plaats van de standaard aluminium zuigers. De eerste resultaten geven een iets lager gasverbruik. In een enkel geval kan dit leiden tot meer storingen. De storingen worden mogelijk veroorzaakt doordat staal de warmte slechter kwijtraakt dan aluminium.

2.2 Weersafhankelijke regeling

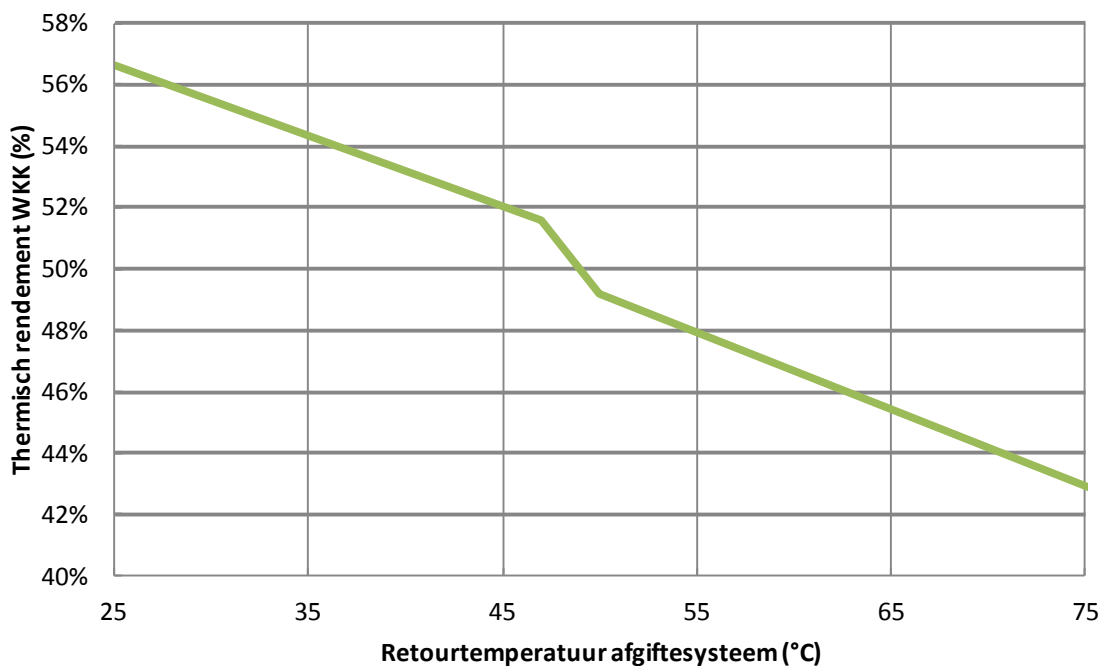
De meeste klimaatcomputers in de tuinbouw berekenen de gewenste buistemperatuur. Dit is echter steeds een moment opname. Wanneer alleen de uitgaande watertemperatuur van de WKK daarop is afgestemd en het uitgaande water geheel of deels naar de buffer gaat, kan het zijn dat op een later tijdstip de uitgaande temperatuur van de buffer te laag of juist te hoog is. Modernere tuinbouwcomputers kijken dan ook naar de weersvoorspelling en dat voor enkele dagen vooruit. Aan de hand van de weersvoorspelling wordt de gewenste hoeveelheid energie berekend en wordt de bufferinhoud daarop afgestemd.

Op dit moment wordt echter steeds met een hoge watertemperatuur de buffer gevuld wat niet altijd nodig is of zelfs meestal niet. De klimaatcomputer zou dus naast de hoeveelheid energie te berekenen ook de daarbij behorende gewenste maximale watertemperatuur kunnen berekenen. Deze waarde met een veiligheidsmarge zou een optimalere uitgaande watertemperatuur van de WKK en/of ketel zijn. Op deze wijze kunnen aanzienlijke warmteverliezen beperkt worden. De ingreep is relatief eenvoudig, echter de rentabiliteit is sterk afhankelijk van wat de computerleverancier vraagt voor zijn software [bron: Climeco, 2013]. Kortom, het toevoegen van een buitentemperatuur geregelde stooklijn aan de WKK en ketel geeft een besparing. Een stooklijn wil zeggen een lagere aanvoertemperatuur bij hogere buitenluchttemperatuur. De retourtemperatuur zal dan automatisch mee omlaag zakken en het ketel en/of WKK-rendement verhogen. Tevens dient het effect van zonlichtinstraling meegenomen te worden. Daarnaast dient te worden nagegaan of de lagere aanvoertemperatuur niet nadelig is voor de opslagcapaciteit van de buffer (bron: <http://egain.se/en-gb>).

2.3 Extra rookgascondensor en verlagen retourtemperatuur

Binnen de glastuinbouw zijn WKK-installaties standaard voorzien van één of twee rookgascondensoren. Desondanks blijft er nog restwarmte over in de rookgassen van circa 50°C die benut kan worden. Door het toepassen van een extra rookgascondensor op een WKK kan de condensatiewarmte uit de rookgassen benut worden. Dit kan de schoorsteenverliezen verder reduceren en 5 tot maximaal 9 procentpunt aan extra thermisch rendement opleveren. In Figuur 2 is de toename van het thermisch rendement weergegeven onder invloed van de retourtemperatuur van het afgiftesysteem.

Bij het toepassen van een rookgascondensor moet er op gelet worden dat ook de retourtemperatuur laag genoeg is. Omdat het condensatiegebied van de rookgassen onder de 60°C ligt, dient ook de retourtemperatuur onder deze temperatuur te liggen om goed gebruik te kunnen maken van de condensatiewarmte¹. Houdt er wel rekening mee dat het condenswater verzuurt en afgevoerd moet worden om corrosie te voorkomen.



Figuur 2 Rendementsverbetering (op basis van onderwaarde) van een WKK bij gebruik van condensatiewarmte en intercoolerwarmte in de rookgassen.

Bij gelijkblijvende warmtevraag is minder warmte van de warmwaterketel nodig. Effectief bespaart deze maatregel dus aardgasverbruik van de ketel. Bij gelijkblijvende warmteproductie zal het toepassen van een rookgascondensor ervoor zorgen dat de WKK minder draaiuren maakt en dus minder gas verbruikt.

¹ Het Nederlands aardgas bestaat voor 11% uit watercondensatiewarmte. Zo is het mogelijk om tot maximaal 111% rendement te halen uit aardgas.

Een aandachtspunt is wel dat bij het aanbrengen van een condensor bij een bestaande WKK de extra weerstand (rookgaszijdig) overwonnen moet worden en dat dit mogelijk ten koste gaat van elektrisch rendement. Dit moet daarom altijd vooraf gecheckt worden met de gasmotorleverancier. De praktijk leert echter dat met een goede dimensionering het rendementsverlies nihil is.

Voorbeeld: Investing condensor

De investeringen in een rookgascondensor zijn afhankelijk van de capaciteit en het temperatuurniveau van de rookgassen en afgiftesysteem. Het investeringsbedrag varieert tussen de €35.000,- en €400.000,-. Bij een uitlaattemperatuur van 50°C zijn de investeringskosten voor een 1250 kW_{th} condensor voor een 3 MW_e WKK circa €150.000,-. Dit is exclusief een RVS schoorsteen.

2.4 Lage-temperatuur-distributienet

De retourtemperatuur kan verlaagd worden door de flow over het net te regelen op retourtemperatuur. Het water zal daardoor langzamer door de leidingen lopen en heeft meer tijd om zijn warmte af te geven. De warmteverdeling in de kas zal dan wel in de gaten gehouden moeten worden.

Voorbeeldprojecten: Extra rookgascondensor in combinatie met LT-net

Bij zowel tomatenteler Jan van Marrewijk (13 ha) en De Kaaij Group met Red Star (10 ha) in het Agro & Food Cluster Nieuw Prinsenland is de cv-installatie voorzien van een hoog- als laagwaardig net. De eerste twee condensoren achter de WKK zijn verbonden aan het hoge temperatuurnet-warmte-afgiftesysteem in de kas. De derde rookgascondensor is verbonden aan het lage temperatuur afgiftesysteem. Hierdoor wordt extra vermogen uit een kuub aardgas gehaald en daarmee het totale WKK rendement verhoogd tot maximaal 9 procentpunt (op basis van onderwaarde).

Bronnen:

www.redstar.nl/mvo

http://janvanmarrewijk.com/nieuws_kasverwarming.html

‘Meningen over technieken WKK-optimalisatie verdeeld’, Ank van Lier, Vakblad voor de bloemisterij, nr. 25, pag. 30-31, 2013

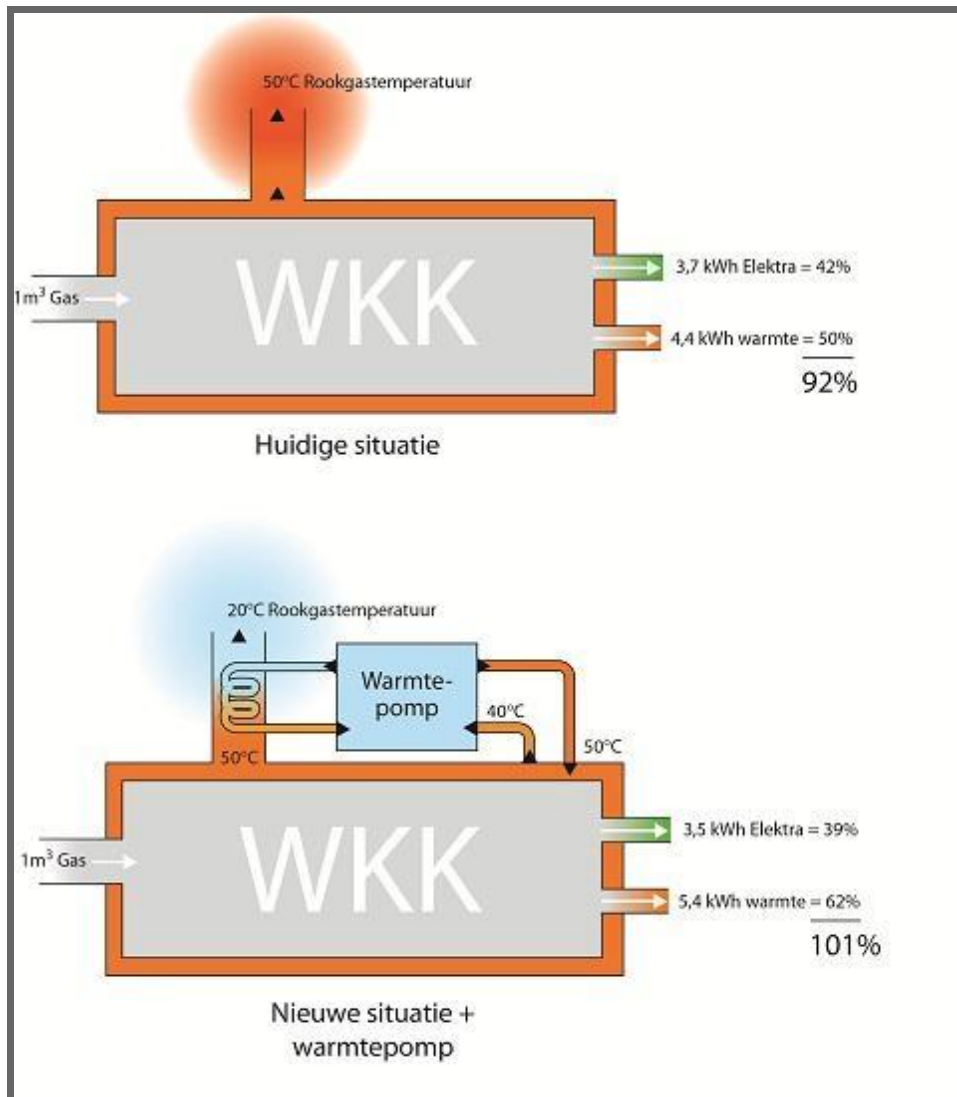
‘Lage temperatuurverwarming in de glastuinbouw’, H.F. de Zwart, Rapport GTB-1219, Wageningen UR Glastuinbouw, 2013

Daarnaast kan er gekozen worden voor het verlagen van de aanvoertemperatuur, zodat een laag temperatuur distributienet gecreëerd wordt (zie paragraaf 2.2). Ook na de omschakeling op een LT-distributienet moet gewaakt worden dat de temperatuur in de kas niet te laag wordt. Als dit alleen op momenten gebeurt dat het buiten zeer koud is, kan er op deze mo-

menten de aanvoertemperatuur tijdelijk verhoogd worden. Dit kan geautomatiseerd worden door een stooklijn toe te passen (zie paragraaf 2.2). Een andere mogelijkheid is het uitbreiden van het bestaande warmtenet, zodat de bestaande retourtemperatuur omlaag gebracht kan worden. Een lagetemperatuur distributienet levert besparing op in combinatie met een rookgascondensor. De mate van besparing in de praktijk hangt uiteraard wel af van de toegepaste regeling en de mogelijkheid van het plaatsen van een LT-afgifte-systeem in de kas.

2.5 Elektrisch aangedreven warmtepomp

Eventueel kan met een elektrisch aangedreven warmtepomp de warmte vanuit de rookgascondensor nog verhoogd worden, zodat het in het bestaande verwarmingssysteem verwerkt kan worden (zie Figuur 3). Vooral in combinatie met een extra rookgascondensor levert deze optie een hoger totaal rendement. Bij deze optie wordt een klein deel van de elektriciteit uit de WKK gebruikt voor de warmtepomp. Daarom is deze optie vooral interessant voor WKK's met levering van elektriciteit aan het net.



Figuur 3 Een elektrische warmtepomp in combinatie met een rookgascondensator kan resulteren in een verhoogd totaal rendement (bron: www.flynth.nl)

Voorbeeldprojecten: Elektrisch aangedreven warmtepomp

Paprikakweker Leo Hoogweg in Luttelgeest ontwikkelde in samenwerking met Flynth een concept op basis van een elektrisch aangedreven warmtepomp. Het retourwater uit de kas van 50°C wordt, alvorens het als koelwater van de motor weer opgewarmd wordt tot 95°C, met een warmtepomp voorverwarmd van 40 naar 50°C. Hierdoor is geen LT-net benodigd. Door vermindering van het aantal draaiuren is een verlaging van het aardgasverbruik haalbaar en stijgt het totaalrendement tot maximaal 9 procentpunt (op basis van onderwaarde).

Bij auberginekwekerij Gebroeders van Duijn in Steenbergen wordt ook het WKK rendement verbeterd. De 2 WKK's zijn voorzien van een grotere, gesplitste condensor om meer energie uit de rookgassen van de WKK te halen. Door de splitsing wordt de warmte op een hoogwaardig niveau gehouden zonder dat deze vermengt met laagwaardige warmte. De vergroting van de condensor levert extra laagwaardige warmte op (25°C). De vergrootte condensor is gecombineerd met een warmtepomp en een aquifer. De laagwaardige warmte wordt opgeslagen in de aquifer en de WKK wordt met kouder water gekoeld wat extra rendement oplevert. De warmtepomp wordt direct door de WKK aangedreven. Het systeem levert een grote bijdrage aan de warmtevraag in de winter en geeft meer en droge CO₂ in de zomer. Op deze wijze stijgt het totaalrendement tot maximaal 9 procentpunt (op basis van onderwaarde).

Bronnen:

www.groentenet.nl/groenten/nieuws/9-rendementsverbetering-wkk-mogelijk/

www.gfactueel.nl/Glas/Achtergrond/2013/2/10-minder-gasverbruik-met-extra-warmtepomp-1169646W/

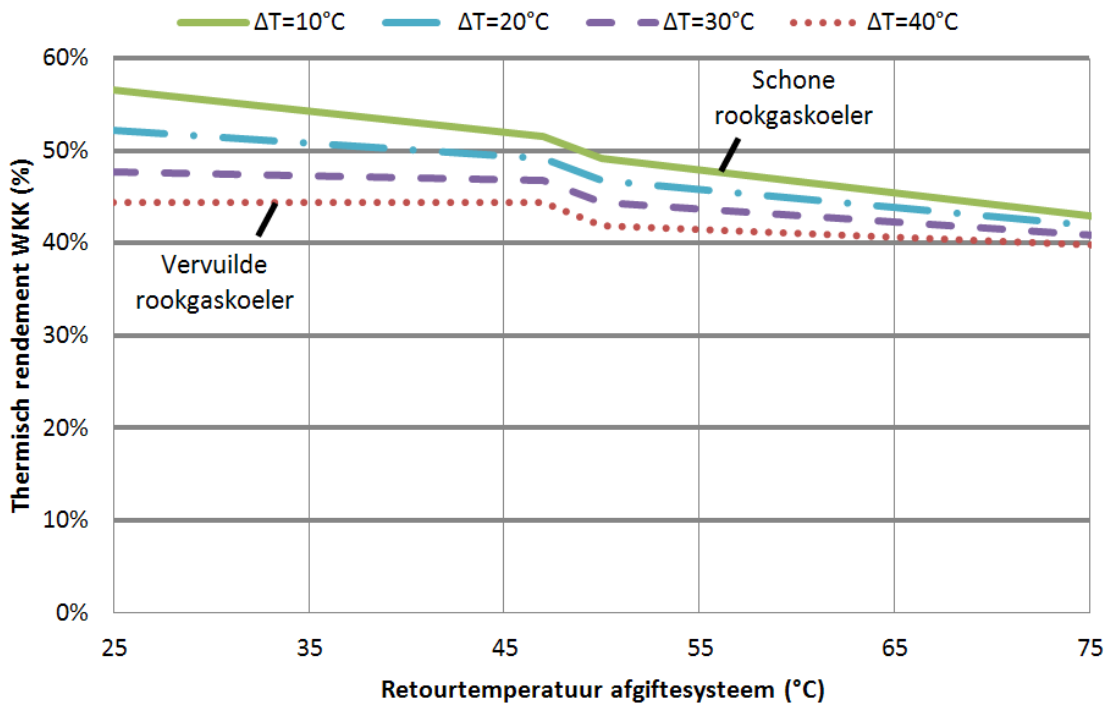
'Meningen over technieken WKK-optimalisatie verdeeld', Ank van Lier, Vakblad voor de bloemisterij, nr. 25, pag. 30-31, 2013

3 OPERATIONELE OPTIMALISATIE

Behalve de technische optimalisatie van een WKK is operationele optimalisatie een verbetermogelijkheid voor bestaande maar ook nieuwe WKK's. In de volgende paragrafen zijn enkele voorbeelden uitgelicht.

3.1 Onderhoud en afstellen

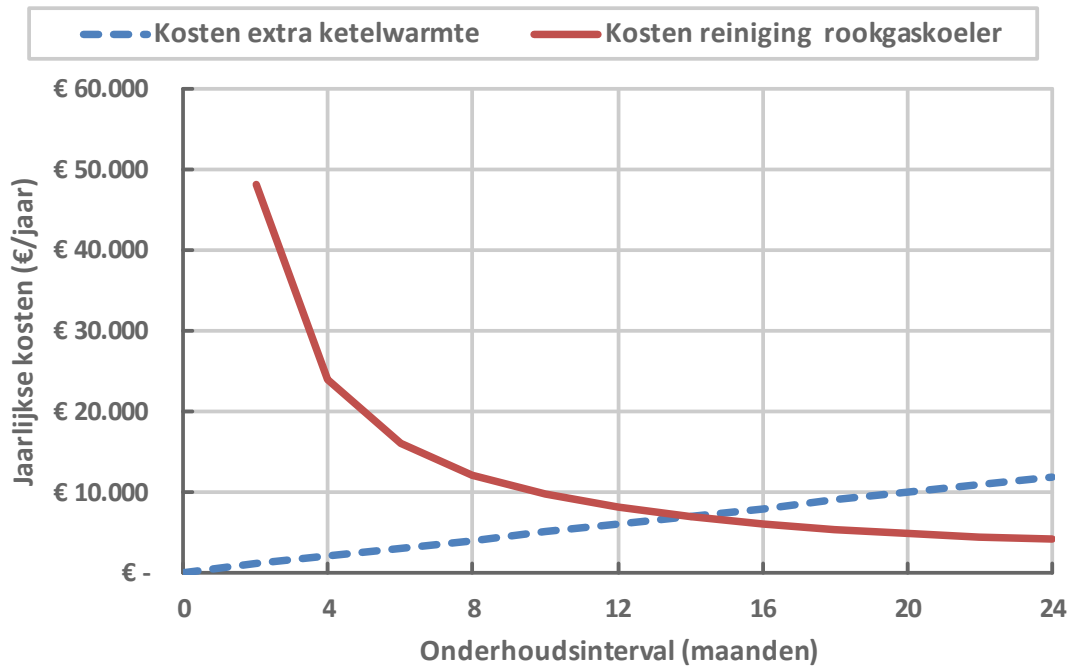
Het verhogen van het rendement begint bij het goed afstellen en optimaal onderhouden van de installatie. Figuur 4 laat zien wat het effect is van een schone en vervuilde rookgaskoeler op het thermisch rendement van een WKK.



Figuur 4 De verschillende lijnen geven het effect van vervuiling van de rookgaskoelers weer op het thermisch rendement van een WKK² (op basis van onderwaarde).

² De waarde van ΔT in Figuur 4 is de pinchtemperatuur, dit is het verschil tussen uitgaande rookgastemperatuur en retourtemperatuur van het afgiftesysteem.

In Figuur 5 is een praktijkvoorbeeld weergegeven van het warmteverlies van de rookgaskoeler en de onderhoudskosten voor een 2 MW gasmotor. Op de horizontale as staat het onderhoudsinterval weergegeven en op de verticale as de jaarlijkse kosten voor onderhoud en de verminderde warmtelevering van de WKK met daaraan gekoppeld de extra inzet van de gasketel.

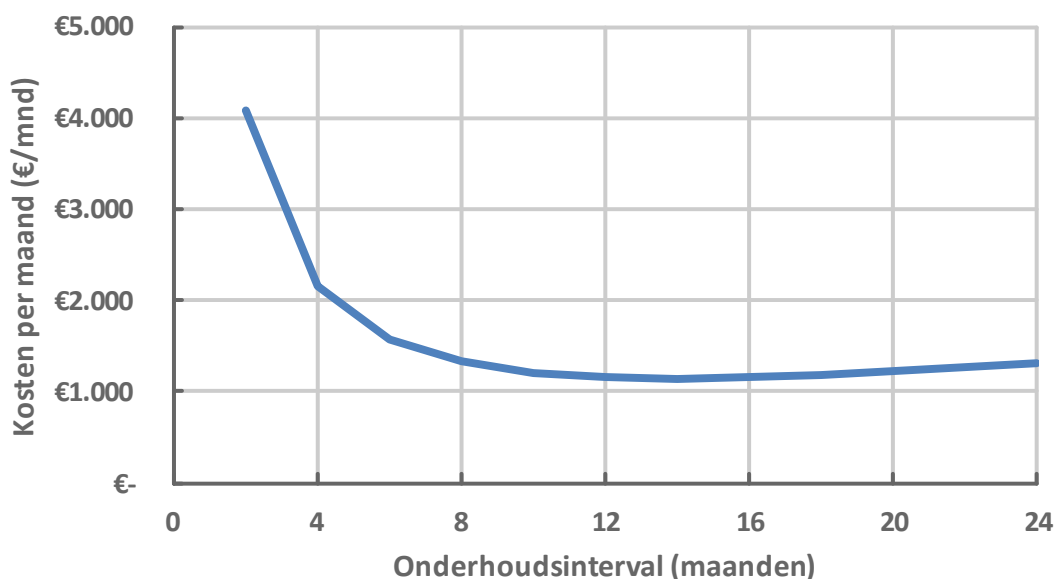


Figuur 5 Praktijkvoorbeeld van de relatie tussen kosten voor reiniging van de rookgaskoeler en de kosten voor extra warmteproductie van de ketels ten gevolge van een lager thermisch rendement van de WKK

Zo kan een rendementsverlies van enkele procenten al gauw in een verlies van duizenden euro's op jaarbasis betekenen. Het is daarom belangrijk om de prestaties van de WKK, geleverde warmte³ en elektriciteit versus gasverbruik, met regelmaat bij te houden, zodat tijdig kan worden ingeschat of de installatie onder de verwachting presteert. Denk bijvoorbeeld aan een tijdige revisie van de cilinderkoppen.

³ Een goede indicatie voor de geleverde warmte is de rookgastemperatuur na de rookgaskoeler.

In Figuur 6 staat de optimalisatiecurve van de onderhouds- en warmtekosten van Figuur 5 in relatie tot het onderhoudsinterval. Het eventueel uitstellen van groot onderhoud is uiteraard toestandsafhankelijk. Door onderhoudspartijen wordt i.r.t. de prestaties van de gasmotor vaak gekeken naar de tegendruk. Het is voor de tuinder interessant om juist niet te wachten tot de tegendruk te hoog is maar om minimaal jaarlijks te reinigen. Verder kunnen tuinders, waarbij het bestaande onderhoudscontract afloopt, tegenwoordig kiezen uit meerdere onderhoudspartijen en hebben zij meer vrijheid om onderhoudsschema's te optimaliseren en daarmee een kostenvoordeel te behalen. Neem voor meer informatie contact op met uw energieadviseur of motorleverancier.



Figuur 6 Optimalisatie van onderhouds- en warmtekosten in relatie tot het onderhoudsinterval. Uitstel bespaard onderhoudskosten. Dit is overigens wel toestandsafhankelijk.

Voorbeeld: Gasafwijking minimaliseren in leverancierscontract WKK

In alle leverancierscontracten is standaard de gasafwijking opgegeven. Dit is in veel gevallen +/- 5%. Bedenk wel dat bij een afwijking van +5% op het gasverbruik van een 2 MW WKK de extra brandstofkosten € 24.000,- per jaar zijn!⁴ Beter is om in een nieuw contract +/- 3% afwijking aan te houden.

Bronnen:

'Inventarisatie onderhoud WKK, Gasmotoren in de tuinbouw', Cogen Projects in opdracht van LTO Noord Glaskracht, februari 2011

'Checklist, Onderhoudscontract gasmotor-WKK', Energy Matters in opdracht van LTO Noord Glaskracht en Cogen Nederland, september 2013)

⁴ WKK met een elektrisch rendement van 42%, 3200 draaiuren en aardgasprijs van 28 €/Nm³.

3.2 Keuze van type motorolie

De juiste keuze van minerale of synthetische olie kan kosten besparen. De standtijd van synthetische olie is langer en hoeft minder vaak vervangen te worden. De kosten voor synthetische olie zijn per liter wel aanzienlijk hoger.

Voorbeeld: Motorolie levert brandstofbesparing

Volgens Exxon Mobil levert een nieuw ontwikkelde motorolie (SHC Pegasus) voor gasmotoren een brandstofbesparing op van 1,5% ten opzichte van de standaard SAE-40 motorolie zoals Mobil Pegasus 1005 en 805. De tests werden uitgevoerd op standaard aardgasmotoren onder gecontroleerde omstandigheden. Volgens Exxon Mobil is onderhoud en dan vooral smering van gasmotoren direct in verband te brengen met bedrijfsresultaten. De smeerolie heeft naast een smerende ook een reinigende werking wat tot langere standtijden, betrouwbaarheid en productiviteit van de motor leidt. Volgens Exxon Mobil kunnen in gascompressietoestanden de verversingsintervallen met de nieuwe smeerolie oplopen tot 16.000 uur, drie- tot viermaal langer dan bij conventionele smeerolie in gasmotoren. Naast Exxon Mobil zijn er ook andere leveranciers die brandstofbesparende motorolie leveren. Uiteraard dient een onafhankelijk instituut en een gebruikers panel deze bevindingen te toetsen.

Bron: Exxon Mobile

Ook zou dieptefiltratie van smeerolie en eventuele specifieke reinigungsacties of toevoegingen tot een langere standtijd van de smeerolie kunnen leiden. Er zijn diverse aanbieders van dergelijke systemen. Voorzichtigheid is wel geboden daar de voordelen bij diesel of biogasmotoren niet één op één te vertalen zijn naar gasmotoren. Toch zijn er ook voordelen voor gasmotoren te verwachten. Onafhankelijk onderzoek is hier echter nog niet naar verricht.

3.3 Afstemmen energiecomponenten

Verder is naar schatting het thermisch rendement van een WKK met circa 2 procentpunt te verbeteren door de verschillende energiecomponenten beter op elkaar af te stemmen; WKK in combinatie met SCR, ketel, warmtebuffer en warmteafgiftesystemen. Bij het optimaal afstellen van de WKK in combinatie met SCR dient de luchtvermaat te worden gereduceerd. En een groter warmtebuffer zorgt voor meer flexibiliteit. Maar ook het zo kort mogelijk houden van aanvoerleidinglengte en het isoleren van de aanvoer, retour, menggroepen en verdeelidingen zorgt voor een verbetering van het totaalrendement van een WKK van naar schatting 0,5 procentpunt.

3.4 Uitwisseling van energie

Een belichtende teler met WKK kan ook zijn geproduceerde restwarmte afzetten aan derden. Dit kan bijvoorbeeld een collega-tuinder zijn, maar ook een nabijgelegen woonwijk, scholengemeenschap of mestverwerkingsbedrijf. Overigens kan het leveren van elektriciteit via een directe lijn, waardoor transportkosten worden geminimaliseerd, ook interessant zijn.

Let wel, het aangaan van samenwerkingsverbanden kan zeker tot optimalisatie leiden maar kan in de praktijk weerbarstig zijn. Het contractueel vastleggen van afspraken, juist ook voor tijden van calamiteiten, is geen overbodige luxe.

Voorbeeldproject: Restwarmtelevering aan derden

Het kassencomplex van Prominent (9,3 ha trostomaten) levert middels een WKO-systeem restwarmte aan 228 van de voorziene 1200 woningen in de nieuwbouwwijk Hoogeland in Naaldwijk. De woningen besparen hierdoor 40% op energie ten opzichte van individuele hr-ketel-verwarming. Het kassencomplex bespaart 3% op energie. De overtollige warmte van de gesloten kassen in de zomer wordt middels een warmtewisselaar uitgekoeld en via een 800 meter lange leiding en met 15-18°C opgeslagen in de 200 meter diepe warmtebron. In de winter wordt het water met 16°C opgepompt en met behulp van een individuele warmtepomp per woning inzet voor vloerverwarming en tapwater. Het afgekoelde water van 10-12°C wordt vervolgens in de koudebron teruggevoerd en in de zomer benut voor het koelen van woningen en kassen. De totale investering is 8 miljoen Euro.

Bron: Prominent

Voorbeeld: Optimalisatie energiecontract

Naast de puur technische optimalisatie kan een tuinder ook kijken naar het optimaliseren van energiecontracten. Dit laatste valt echter buiten de scope van dit rapport. Desondanks kan een tuinder besparen door te draaien op onbalans via een Programma Verantwoordelijke partij. Deze optie is momenteel echter marginaal. De verwachting is overigens wel dat draaien op onbalans, door de toename van hernieuwbare energie als wind en zon, zal toenemen. Vele glastuinders met WKK kunnen met de snel op of afschakelbare WKK's dan weer voor balans zorgen.



4 OPTIMALISATIE BIJ NIEUWE INSTALLATIES

Bij de aanschaf van een nieuw energiesysteem kan behalve een WKK ook voor een ander energiesysteem worden gekozen. Daarbij zijn er mogelijkheden om naast een WKK aanvullende systemen te plaatsen om het rendement te verhogen.

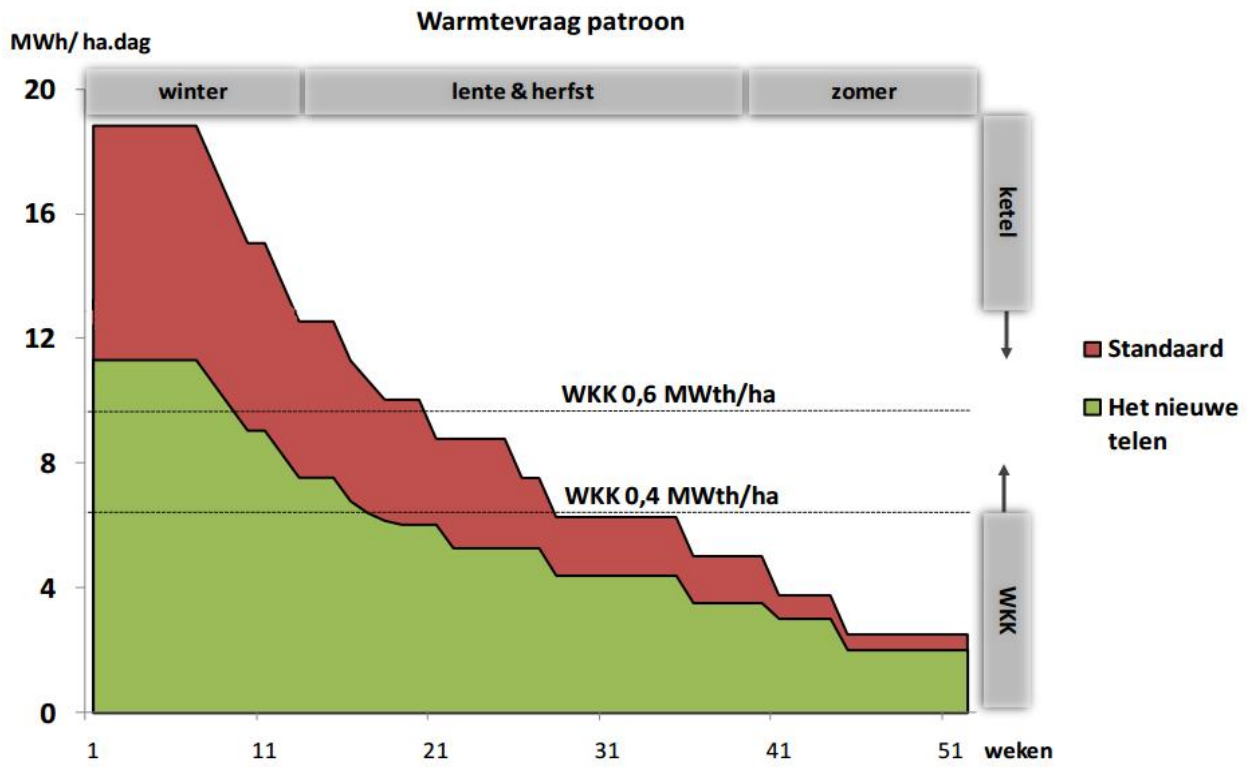
4.1 Vraagreductie

Naast het terugdringen van het gasverbruik en/of verhogen van het elektrische en thermische rendement kan volgens de Trias energetica⁵ tevens ingezet worden op vraagreductie van warmte en/of elektriciteit.

Het Nieuwe Telen

Een tuinder kan het energiegebruik in de kas flink terugdringen met Het Nieuwe Telen. Naast extra energieschermen en schermuren, ontvochtigen van de aangevoerde buitenlucht, minder ventileren bij zonuren is het benutten van restwarmte een belangrijk onderdeel van Het Nieuwe Telen. In Figuur 7 is een bestaande WKK en een nieuwe WKK in combinatie met Het Nieuwe Telen opgenomen. Deze combinatie zorgt ervoor dat met een bestaande WKK minder draaiuren gemaakt kunnen worden of juist meer kasoppervlak verwarmt kan worden. Of in een nieuwe situatie met een kleiner WKK-vermogen uitkan [Bron: 'WKK in Het Nieuwe Telen, Een analyse van de rentabiliteit', Cogen Projects in opdracht van het programma Kas als Energiebron, februari 2010].

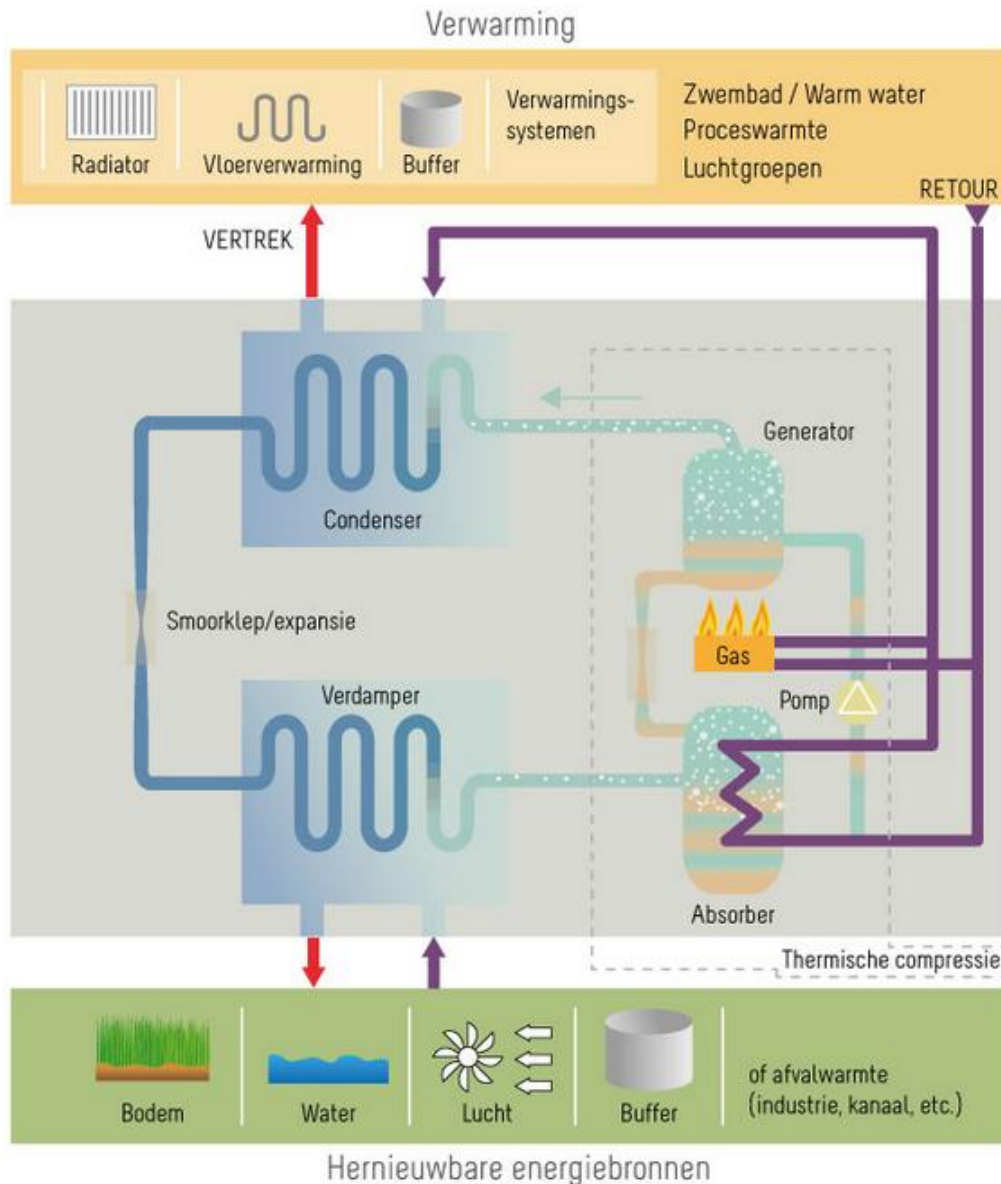
⁵ Trias energetica is een drie-stappenstrategie om zo efficiënt mogelijk met energie om te gaan; 1) Beperk het energieverbruik door verspilling tegen te gaan, bijvoorbeeld door te isoleren, 2) Maak maximaal gebruik van hernieuwbare energie, 3) Maak zo efficiënt mogelijk gebruik van fossiele brandstoffen om in de resterende energiebehoefte te voorzien, bijvoorbeeld door lage temperatuurverwarming. De economisch meest optimale volgorde loopt i.r.t. de cascadering niet altijd parallel. Zo kan een hernieuwbare energiebron duur zijn ten opzichte van het gebruik van fossiel.



Figuur 7 Warmtevraag bij standaard situatie en in combinatie met Het Nieuwe Telen

4.2 Gasgedreven absorptiewarmtepomp

Aardgasgedreven absorptiewarmtepompen halen een hoog thermisch rendement tot wel 140%. Bij dit type warmtepomp wordt het traditionele koelmiddel vervangen door een waterammoniak oplossing en wordt de compressor op zijn beurt vervangen door een thermische compressie die aangedreven wordt door een condenserende gasbrander (zie Figuur 8).



Figuur 8 Werking gasabsorptiewarmtepomp (bron: CoolingWays)

Het systeem heeft een warmtebron nodig, dit kan een WKO-bron zijn (water/water), maar buitenlucht kan ook (lucht/water, zie Figuur 9). Kenmerkend voor de lucht/wateruitvoering zijn de eenvoudige installatie, het relatief lage gewicht en de geringe onderhoudsbehoefte. Vooral voor duurzaam en efficiënt verwarmen zijn gaswarmtepompen zeer geschikt. Voor tuinders met weinig elektriciteitsbehoefte kan een door aardgas aangedreven warmtepomp een interessante optie zijn in plaats van WKK. Bij aardgas aangedreven warmtepompen is echter wel

een laag temperatuur distributienet noodzakelijk om een hoog rendement te halen (maximaal 65°C). Doordat het systeem op gas werkt komt ook CO₂ vrij dat eventueel voor benodigde CO₂-bemesting beschikbaar komt.



Figuur 9 Drie Robur gasabsorptiewarmtepompen bij bloemkwekerij Lokeren in België (bron: CoolingWays)

4.3 Rookgasgedreven absorptiewarmtepomp

Een andere mogelijkheid is de condensatiewarmte uit de rookgassen als aandrijving- en warmtebron te gebruiken (zie voorbeeldproject hieronder en paragraaf 2.5).

Voorbeeldproject: Rookgasgedreven absorptiewarmtepomp

Ook kan (condensatie)warmte worden teruggewonnen met de rookgasgedreven warmtepomp van het bedrijf Thermex. In Bergen, Noorwegen, worden de rookgassen van een 4 MWe gasmotor tot 27°C uitgekoeld en de watertemperatuur opgepept naar 80°C waarmee 900 kW extra warmte wordt geleverd. Het totale rendement wordt hierdoor van 90,5% naar 102,2% opgeschroefd.

Bron: www.thermex.co.uk

4.4 WKK met meertrapsturbogroep

De ontwikkeling van gasmotoren is nog niet op zijn einde. Zo geven de nieuwste gasmotoren ondertussen elektrische rendementen richting de 50% met gebruik van een meertraps turbogroep. In vergelijking met een rendement van een huidige WKK met een elektrisch rendement van 43%. Doordat het totaal rendement nagenoeg gelijk blijft neemt het thermisch rendement af en om nu dezelfde warmtevraag af te dekken zijn zodoende meer draaiuren van de WKK benodigd, waardoor de jaarlijkse elektriciteitsproductie met 5 procentpunt toeneemt. Voor een teler die zijn WKK voornamelijk inzet om in zijn elektriciteits- c.q. belichtingsbehoefte te voorzien, kan dit een belangrijke kostenvoordeel opleveren.

Op dit moment zijn dergelijke rendementen nog voorbehouden aan de grotere motorvermogens (>5MW_e). In veel gevallen zal zo'n motor met groot vermogen niet passen bij de energievraag van een enkele tuinder. Een mogelijkheid is om als tuinderscluster te investeren waarbij de motor centraal wordt opgesteld binnen het tuindercluster.

Voorbeeldproject: 48,7% elektrisch WKK-rendement

Bij Stadtwerke Rosenheim in Beieren staat een GE Jenbacher gasmotor, die het warmtenet van Rosenheim voedt. Deze gasmotor heeft een elektrisch rendement van 48,7 procent bij een vermogen van 9,5 MW elektrisch en 8,1 MW thermisch. Het totaal rendement komt daarmee op 90 procent.

Bron: www.ge-j920flextra.com

4.5 ORC

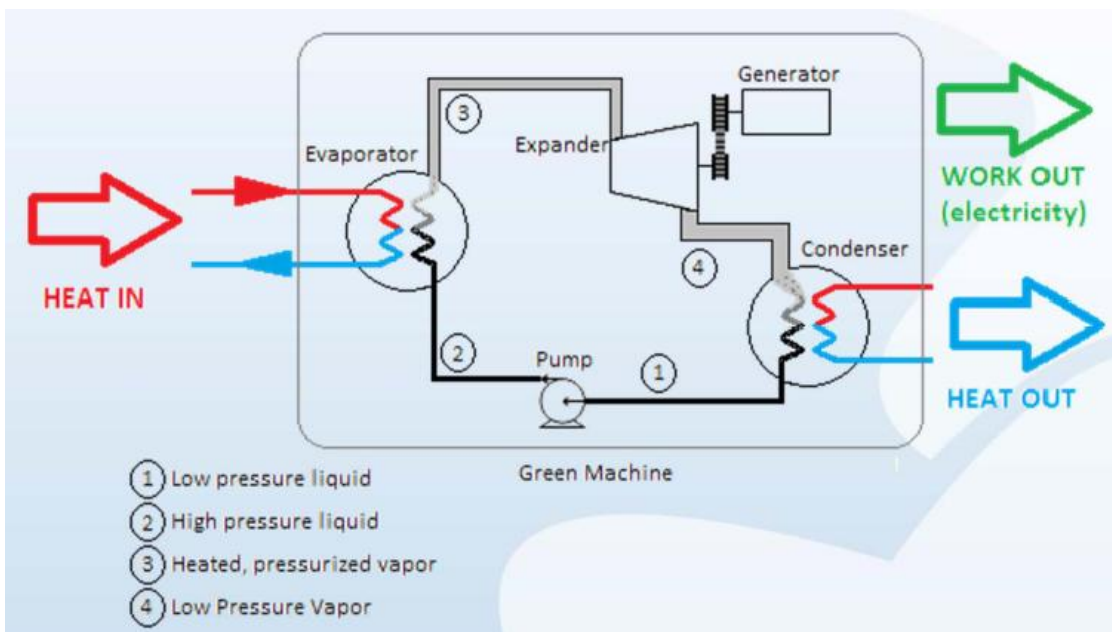
Een ORC is een Rankine-proces met een organisch oplosmiddel als Freon (zie Figuur 10). Vaak wordt daarbij een turbine toegepast. Omdat een organisch oplosmiddel een lager kookpunt heeft dan water, laat de ORC toe om met warmtebronnen te werken die een temperatuur hebben vanaf zelfs 55°C. Door warmte van de rookgassen of motorcooling te gebruiken wordt het organisch oplosmiddel tot damp omgezet. Typische elektrische rendementen variëren tussen de 7% en 18%, afhankelijk van de temperatuur van de restwarmte. Hoe hoger de temperatuur, des te hoger het rendement. Door toepassing van een ORC kan zodoende het elektrische rendement van een WKK verbeterd worden⁶. Een nadeel van ORC's zijn de relatief hoge investeringskosten.

⁶ Ook met Thermo Akoestische systemen kan met restwarmte koude of elektriciteit worden geproduceerd. Zo zijn door Aster Thermoacoustics op laboratoriumschaal (~10 kWe) succesvolle proeven gedaan met een Thermo Akoestische Powergenerator (TAP). Restwarmte uit bijvoorbeeld rookgas wordt omgezet in akoestisch vermogen. Het akoestisch vermogen wordt vervolgens met een lineaire generator omgezet in elektriciteit. Het opschalen van het vermogen, zoals ook het demonstratieproject bij Smurfit Kappa Solid Board in Nieuweschans laat zien, blijkt technisch lastig. Daarnaast zal het systeem pas economisch rendabel zijn vanaf een vermogen van 50 à 100 kWe (de lineaire generatoren kosten alleen al 3000 /kWe) [bron: Aster Thermoacoustics, 2013].



Figuur 10 Tri-O-Gen ORC bij Olij Rozen in De Kwakel

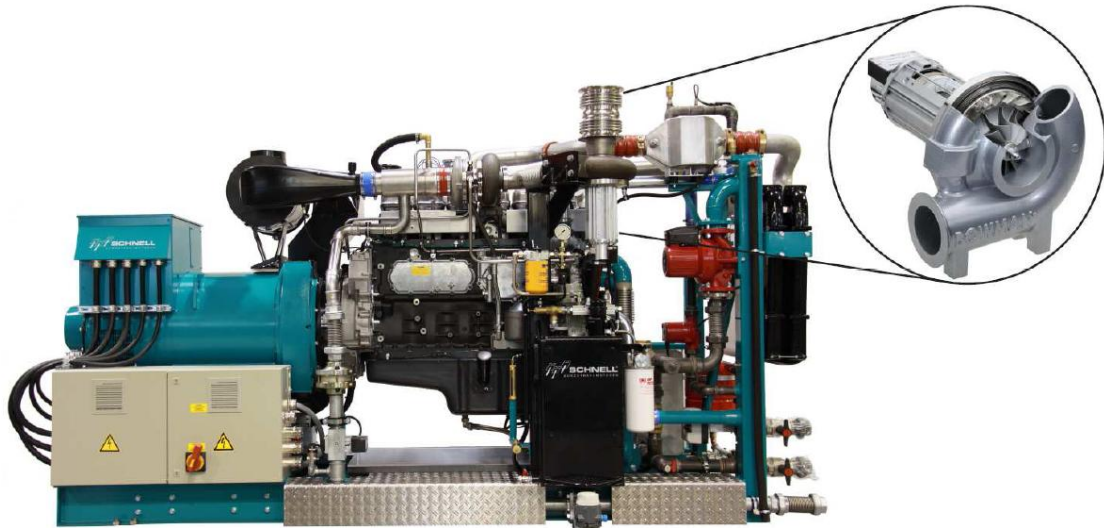
Naast de hoge temperatuur ORC's, die warmte uit de rookgassen benutten, zijn nu ook lage temperatuur ORC's beschikbaar die al optimaal werken met een inputtemperatuur van 77 °C tot 116°C (o.a. van ElectraTherm, zie Figuur 11). Daarmee kan ook warmte van de machinekoeling benut worden. De restwarmte van een ORC komt vrij op 25-35 °C, meestal te laag voor kasverwarming. Voor een lage temperatuur ORC van 100 kWe zijn de kale investeringskosten circa 250 k€. Uiteraard wordt de economische rentabiliteit van deze add-on technologie mede bepaald door het aantal draaiuren.



Figuur 11 Werking (lage temperatuur) ORC van ElectraTherm

4.6 Microgasturbine-generator

Een mogelijk alternatief voor voorgaande ORC biedt het Duitse bedrijf Schnell Motoren die dual fuel en biogasmotoren produceert (zie Figuur 12). In de grotere motoren van Schnell (> 235 kWe) wordt extra elektrisch rendement gehaald door middel van een turbocompound-generator in de uitlaat. Hiermee wordt een elektrisch totaal rendement van 47% gerealiseerd. In de praktijk was dit zelfs 48%. Mogelijk dat deze microgasturbines op termijn ook beschikbaar zijn voor aardgasmotoren. Echter vooralsnog richt het bedrijf zich op biogasmotoren.



Figuur 12 235+30 kWe Dual fuel motor van Schnell met rechtsboven de 30 kWe turbocompound-generator.

4.7 Brandstofcel

Vooral brandstofcellen zijn lang een belofte voor de toekomst geweest. Op dit moment zijn er ontwikkelingen met brandstofcellen die in de praktijk o.a. in Nederland met succes zijn getest met een rendement van 50 tot 62% van aardgas naar elektriciteit. Dit is voor de tuinbouw, vooral voor de belichtende teelt, een veelbelovende en belangrijke ontwikkeling omdat met deze technologie de rendementen dusdanig verbeteren dat de brandstofkosten onder die van grootschalige productie ligt zoals van gas- en zelfs van kolencentrales. Daarnaast worden een aantal knelpunten van gasmotoren opgelost: geen methaanslip, mogelijk zuivere CO₂ en condenswater en weinig gevoelig voor variaties in gaskwaliteit.

Op dit moment zijn er vier leveranciers die brandstofcellen met een voor de glastuinbouw geschikt vermogen leveren. Hiervan leveren er drie bedrijven buiten de USA. De elektrische rendementen variëren tussen 42% en 65% en het totaalrendement ligt rond de 90%. Er worden verschillende technieken gebruikt, te weten SOFC, AFC, MCFC. Omdat de SOFC, Solid Oxide Fuel Cell, syngas maar ook aardgas direct als brandstof gebruikt is de SOFC interessant voor de tuinbouw. Met de SOFC zijn elektrische rendementen te behalen van 58 tot 63% en totaal rendementen van rond de 90%. Het hogere elektrisch rendement van een brandstofcel is aanzienlijk beter dan dat van de beste gasmotor. Verder geldt dat een hogere elektrisch rendement van een brandstofcel in principe ten kosten gaat van het thermische rendement.

De praktijk moet nog uitwijzen of de levensduur van de brandstofcellen voldoende lang is en de investering en onderhoudskosten laag genoeg zijn. Op dit moment zijn de kosten in ieder geval nog te hoog maar er is wel een snel dalende trend te zien.

Echter niet alle leveranciers hebben al een systeem om de warmte nuttig te gebruiken en ook het toepassen van de CO₂ wordt nog niet gedaan. De verwachting is dat binnen enkele jaren brandstofcellen op de markt komen die specifiek voor de tuinbouw geschikt zijn.

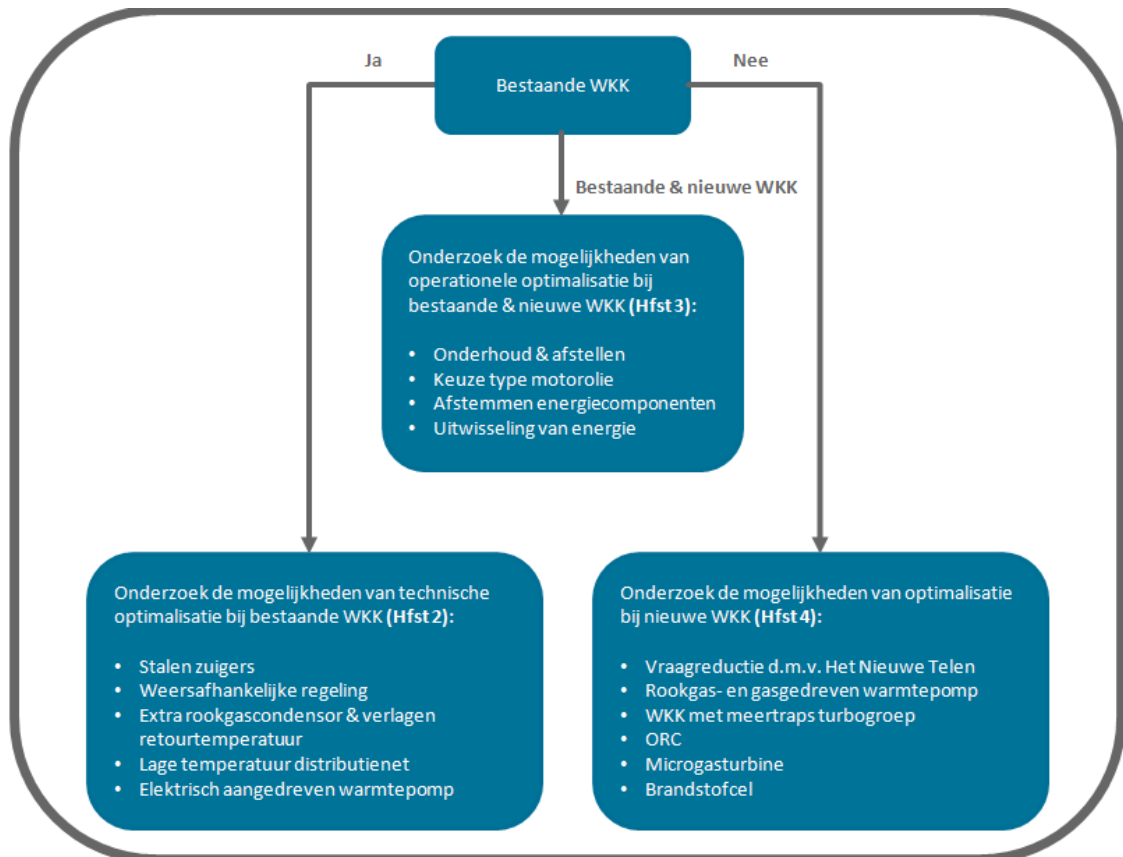
Vooruitlopend hierop zou de glastuinbouw in samenwerking met een leverancier van SOFC's en tuinder een Pilot binnen de glastuinbouw kunnen realiseren waarbij gekeken wordt hoe de SOFC het beste ingepast wordt waarbij de warmte als de CO₂ benut kan worden.

Bronnen:

- www.fuelcellnetwork.eu
- www.sofcpower.com/25/european-projects.html
- www.fuelcelltoday.com/analysis/analyst-views/2012/12-08-15-residential-fuel-cell-field-trials-in-europe
- www.now-gmbh.de/en/power-heat/fuel-cells-as-suppliers-of-power-and-heat/fuel-cell-heating-appliances/lighthouseproject-callux.html

5 KEUZEDIAGRAM

Een uiteindelijke keuze tussen voorgaande opties zijn zeer afhankelijk van de situatie van de teler. Om hierbij te helpen is onderstaand vereenvoudigd keuzediagram opgesteld die mogelijk richting geeft bij het bepalen van een goede keuze.



Energy Matters helpt u bij het realiseren van een efficiënte, schone en betrouwbare energievoorziening.



Princenhofpark 15 + 18
3972 NG Driebergen
Postbus 197
3970 AD Driebergen
T +31 (0)30 691 1844
F +31 (0)30 691 1765
E info@energymatters.nl
I www.energymatters.nl