Productschap Tuinbouw

Dienst Regelingen
Ministerie van Economische Zaken

infinitus
energy solutions group

Monitoring van (energetische) prestaties en knelpuntenanalyse WKO-systemen in de glastuinbouw

Kas als Energiebron

Auteurs: ir. C.P.J.M. Geelen en ir. K.J. Braber

Arnhem, 20 december 2013

Inhoudsopgave

DANKWOORD

0. Management summary

1. Inleiding en achtergrond

1.1 Doelstelling

1.2 Leeswijzer

2. Werkwijze

3. Enquêtes, respons en selectie van tuinders

3.1 Verantwoording (vragenlijst: # verstuurd, nagebeld en # retour ontvangen)

3.2 Motivatie 'geen respons of niet bereid tot deelname' (bv faillissement)

3.3 Kwaliteit van ontvangen enquêtes/antwoorden

3.4 Objectiviteit van de enquêteresultaten

3.5 Karakteristieken geënquêteerde tuinders en projecten (teelten, installaties, capaciteit)

3.6 Selectie van tuinders voor verdiepingsfase

4. Resultaten

4.1 Algemeen, motivatie en achtergronden WKO

4.2 Techniek: karakterisering WKO-installaties en opgetreden problemen

4.3 Energieprestatie en monitoring

4.3.1 Prestaties van de bronnen

4.3.2 Prestaties van de warmtepompen (COP)

4.3.3 Prestaties totaal systeem

4.3.4 Overige aspecten (met invloed op de energieprestatie)

4.4 Financieel-economisch, businesscase en subsidies

4.5 Organisatorische aspecten, risico's en regelgeving

4.5.1 Organisatorische aspecten, gevoeligheden en risico's

4.5.2 Regelgeving

4.6 Tevredenheid tuinders

5. Verdieping

5.1 Verdiepingsslagen 1 en 2: interviews met 5 tuinders en 2 installateurs

5.2 Verdiepingsslag 3: data-analyse uit monitoring WKO-bronnen

5.3 Verschil tussen glastuinbouw en utiliteitsbouw (en woningbouw)

6. Lessons learned en obstakels

7. Conclusies en aanbevelingen

7.1 Techniek

7.2 Energieprestatie

7.3 Organisatorisch

7.4 Financieel

7.5 Regelgeving (en aanpassing daarvan)

BIJLAGEN 1 t/m 5

DANKWOORD

Bij de uitvoering van dit onderzoek hebben de auteurs van dit rapport vanuit diverse organisaties en marktpartijen belangrijke ondersteuning gehad, waardoor dit project meer resultaten heeft opgeleverd dan zonder die hulp.

Naast de beide opdrachtgevers, ir. Aat Dijkshoorn van Productschap Tuinbouw en drs. ing. Leo Oprel van het Ministerie van Economische Zaken, willen we hier in het bijzonder de volgende personen en organisaties bedanken voor hun tijdinvestering, hun openhartigheid tijdens de interviews en/of hun medewerking aan dit onderzoek in het algemeen:

- Dienst Regelingen: ir. Eltje Loman voor zijn hulp bij het opstellen van een compleet overzicht van tuinders met gerealiseerde WKO-installaties, inclusief alle relevante contactgegevens en voor zijn feedback op de concept-vragenlijst
- De 5 tuinders die –naast het invullen van de vragenlijst- speciaal tijd maakten voor het 1-op-1 interview op hun bedrijven
- De 24 tuinders die een behoorlijke inspanning hebben geleverd om de uitgebreide vragenlijst zo goed mogelijk in te vullen
- De medewerkers van de 2 installateurs/leveranciers van WKO-systemen in de glastuinbouw: Jan Fransen en Aad de Koning van LekHabo Installatietechniek en John van de Sande van Certhon.

Allen Hartelijk Dank!!!

Charles Geelen en Krijn Braber

0. Management summary

Deze rapportage omvat de resultaten van het onderzoek naar de prestaties van en de knelpunten bij het toepassen van warmte-koude-opslag (WKO) in de glastuinbouw. Dit onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdragen van het Ministerie van EZ, Productschap Tuinbouw en het programma “Kas als Energiebron”.

Achterliggende gedachte is dat er uit een andere sector (de utiliteitsbouw) waar WKO al veel langer wordt toegepast, signalen zijn over slecht functionerende systemen. Daaruit rijst de vraag hoe WKO-systemen in de glastuinbouw functioneren en presteren.

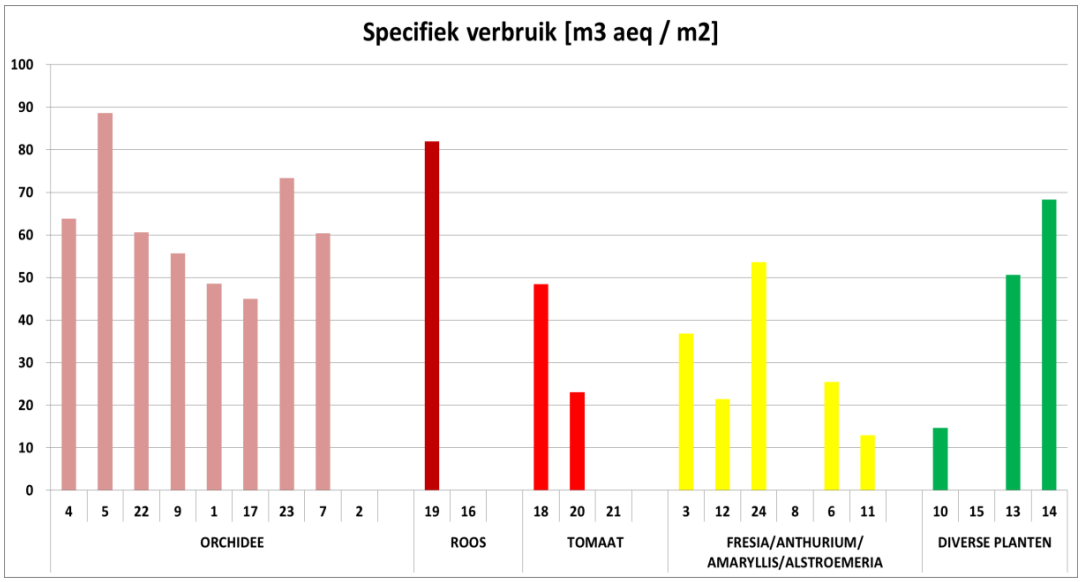
Doel en werkwijze

Doel van het onderzoek is het verkrijgen van inzicht in het functioneren en de prestaties van WKO-installaties in de glastuinbouw, gevolgd door het delen van deze kennis met de sector in de vorm van aanbevelingen en ‘lessons learned’, zodat dezelfde “missers” niet opnieuw gemaakt behoeven te worden.

In overleg met de opdrachtgevers en Dienst Regelingen is een vragenlijst opgesteld over de gerealiseerde WKO-installaties op zowel, technisch, energetisch als organisatorisch vlak. Deze vragenlijst is vervolgens naar 44 bedrijven gestuurd. Daarvan hebben uiteindelijk 24 bedrijven de vragenlijst ingevuld en teruggestuurd of op een andere wijze aan het onderzoek deelgenomen. Met vijf tuinders en met twee installateurs zijn interviews gehouden, waarmee achterliggende oorzaken van de in de vragenlijsten gemelde problemen zijn uitgediept. Uit de beschikbaar gestelde gegevens is tevens een (semi-)kwantitatieve analyse gemaakt van de prestaties van de WKO-systemen en de warmtepompen.

Resultaten

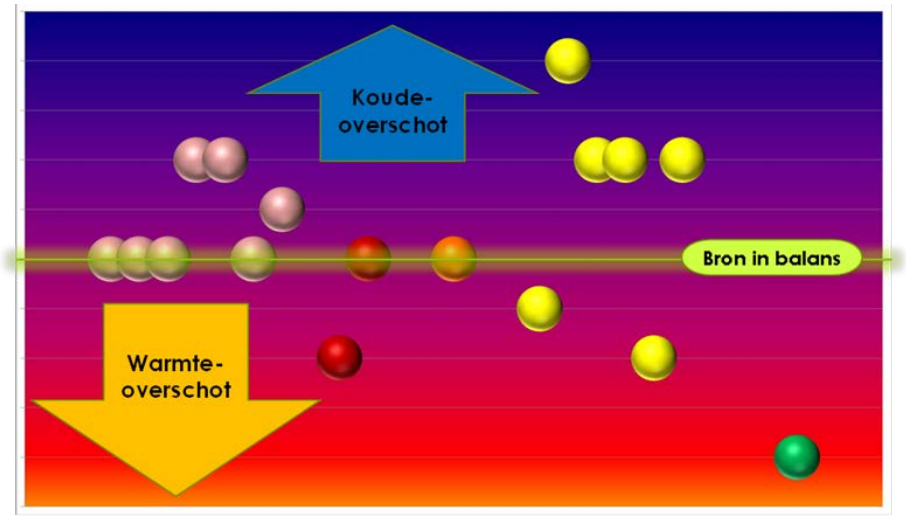
Specifiek energiegebruik



Het specifiek energiegebruik vertoont bij de orchideeëntelers een relatie met het opgestelde warmtepompvermogen (figuur 4.4): een groter warmtepompvermogen per hectare gaat gepaard met een lager specifiek energiegebruik uitgedrukt in m^3 AEq/m^2; hierbij is rekening gehouden met eventueel terug geleverde elektriciteit door een WKK.

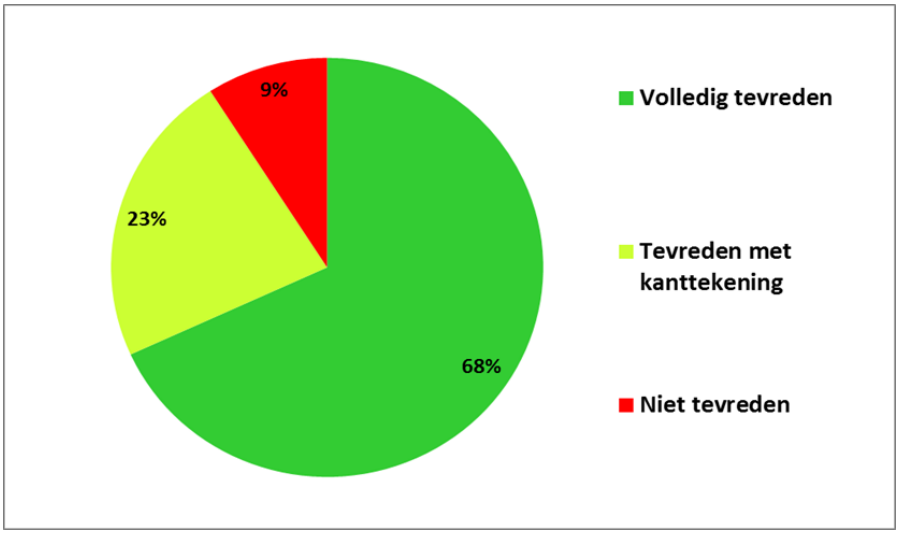
Bronbalans

Bij het merendeel van de systemen is de balans van warmte- en koudelevering uit de bodem in evenwicht of is er een (licht) koude-overschot (zie figuur op volgende bladzijde). Bij enkele van de onderzochte bedrijven is in meer of mindere mate een warmteoverschot in de bodem opgebouwd. Indien dit structureel is en geen maatregelen genomen worden, zal de provincie daar vroeger of later boetes aan koppelen of zelfs de vergunning intrekken. De tuinders zijn zich wel bewust van de verplichting het bronevenwicht te handhaven, maar nauwelijks van de problemen en gevolgen als dit niet lukt. Op een enkeling na, is men ook niet goed in staat maatregelen te nemen om een onbalans te corrigeren.



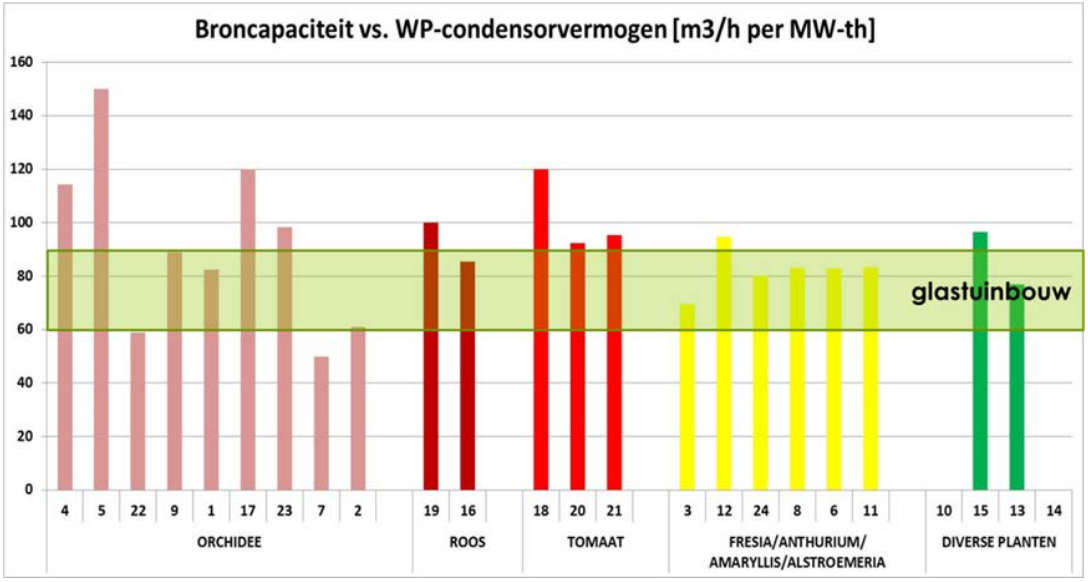
Tevredenheid tuinders en verschillen met WKO in de utiliteitsbouw

Meer dan 2/3^{e} van de tuinders is volledig tevreden over de keuze voor en de toepassing van hun WKO-installaties en nog eens een kwart is tevreden met een kanttekening.



De kanttekeningen hebben onder meer betrekking op de organisatorische aspecten en technische details. Deze worden hierna bij de “lessons learned” aangegeven. 9% van de tuinders geeft aan ontevreden te zijn over hun WKO-installatie.

Opvallende verschillen met de systemen die in de utiliteit worden toegepast zijn de specifieke kosten: het realiseren van WKO-systemen in de glastuinbouw kost bij dezelfde broncapaciteit beduidend minder dan in de utiliteit. Daarnaast zijn de geinstalleerde **broncapaciteiten** in de glastuinbouw per MW warmtepompvermogen structureel lager dan in de utiliteit. Dit komt door de hogere temperatuurverschillen waarop de bronsystemen in de glastuinbouw worden ontworpen. Het voordeel hiervan is ook dat mogelijke pendelproblemen (vaak aan/uitschakelen) in de glastuinbouw pas optreden bij veel lager deellastbedrijf. Onderstaande figuur toont dat de broncapaciteit bij de meeste bedrijven goed bemeten is uitgaande van de definitieve bedrijfsomstandigheden.



Een derde aspect betreft het verschil in marktstructuur en onderlinge relaties. In de utiliteit is er een grote (organisatorische) afstand tussen installateur en eindgebruiker, terwijl die in glastuinbouw vrijwel steeds zeer direct is (bijna overal 1 op 1). Daarbij is er in de glastuinbouw een zeer sterke band tussen opdrachtgever en installateur omdat de installateur meestal in dezelfde regio is gevestigd en ook vaak zijn roots heeft in de glastuinbouwsector.

Maar weinig tuinders zijn zich bewust van de impact die het toepassen van WKO heeft op het totale teeltsysteem. Vaak wordt WKO nog gezien als een “utility” die gewoon warmte en koude moet leveren. Daarbij wordt uit het oog verloren dat een integrale aanpak van bron-opwekking-afgifte-teeltsysteem noodzakelijk is om tot een voldoende mate van energiebesparing en rentabiliteit te komen.

Lessons learned en Aanbevelingen

Techniek

Maak de bronnen niet te groot, maar zorg er wel voor dat deze is afgestemd op de capaciteit van de warmtepomp.
Ten eerste wordt daarmee een te hoge investering voorkomen en ten tweede wordt een beter deellastgedrag bereikt. Een te kleine bron t.o.v. de bijbehorende warmtepomp beperkt echter de warmtepomp in het leveren van het beschikbare vermogen.

Bezuinig niet op de kwaliteit van de bronkleppen
Bronkleppen zijn een veel voorkomende oorzaak van storingen omdat ze erg gevoelig zijn voor vervuiling. Bij gebruik van meer dan één doublet treedt vaker het ongewenste effect van een ongelijke verdeling van de debieten over de verschillen bronnen op. Hiervoor zijn speciale kleppen met bijbehorende, individuele bronregeling beschikbaar (zie ook verderop). Daarnaast is het ook van belang de terugregeling tot een laag debiet mogelijk te maken, waarmee een stabiel deellastbedrijf wordt gerealiseerd.

Voor een rustige/stabiele besturing van het WKO- en warmtepompsysteem is het belangrijk de signalen uit de klimaatcomputer met de nodige demping en vertraging door te geven.
De signalen uit de klimaatcomputer wisselen sterk (afhankelijk van het buitenklimaat) en leiden tot een onrustig gedrag van de warmtepompen en bronnen. Het is dus van groot belang de signalen uit de klimaatcomputer aangepast door te geven aan de besturing van de opwekinstallatie (waarmee ook de WKO wordt aangestuurd). Het is nóg beter om de regeling van het kasklimaat en de besturing van de installatie in één softwarepakket te integreren.

Zorg voor toepassing van schakelbuffers bij de warmtepomp
Een schakelbuffer aan de warme zijde van de warmtepomp voorkomt onnodig en veelvuldig aan- en uitschakelen en draagt bij aan een zo hoog mogelijk rendement van de warmtepomp. Een schakelbuffer aan de koude zijde van de warmtepomp heeft dezelfde stabiliserende functie. De buffers dienen parallel aan de condensor respectievelijk verdamper van de warmtepomp ingepast te worden.

Energieprestatie

Dimensioneer de bronnen op een temperatuurverschil van 8 tot 12 graden.
Door een groter temperatuurtraject te kiezen bij het ontwerp blijft de broncapaciteit (in m3/h) beperkt. Bepalend voor dit temperatuurtraject zijn met name de temperatuurniveaus van de beschikbare warmte uit de kas in de zomer.

Kies de warmtepomp niet te klein en niet te groot.
Met circa 50% van het maximale benodigde vermogen kan circa 90% van de jaarlijkse vraag woorden geleverd. De hogere WP-vermogens per hectare leveren de hoogste besparingen, mits de bronnen optimaal zijn gedimensioneerd.

Kies een warmtepomp met een hoge COP.
Een hoge COP van de warmtepomp is een belangrijke randvoorwaarde om tot gunstige specifieke verbruikscijfers te komen. Let er daarbij op of de leveranciersspecificaties passen

bij de daadwerkelijke gebruiksomstandigheden zoals de afgiftetemperatuur in het verwarmingscircuit en de brontemperatuur in de winter.

Breng voldoende voordruk aan om ontgassing te vermijden.
Bij het oppompen van grondwater daalt de druk op het water en kunnen opgeloste gassen vrijkomen (onder meer zuurstof, stikstof, methaan, kooldioxide); dit leidt tot slechte doorstroming en blokkering van de bronnen.

Zorg voor voldoende monitoring en een goede, individuele regeling per bron.
Een veelvoorkomende oorzaak van problemen bij WKO's zit in de broncapaciteit (te grote bronnen geven te kleine deltaT's; te kleine bronnen leiden tot slechtere prestaties van de warmtepomp). Een op zichzelf staande monitoring én regeling per individuele bron zorgt ervoor dat bronnen elkaar niet onderling beïnvloeden en maakt een optimale, 100% bronbenutting mogelijk.

Organisatorisch

Zorg voor goede technisch-inhoudelijke voorlichting bij het stimuleren van een innovatieve (energie)voorziening.
Tuinders onderschatten vaak welke impact het toepassen van WKO heeft op hun bedrijf-kritische processen en welke aanpassingen dit in hun teeltwijze en bedrijfsfilosofie met zich meebrengt. Goede technisch-inhoudelijke voorlichting gebaseerd op de ervaring van gerealiseerde projecten bij tuinders die hun collega's zijn voorgegaan met investeringen in WKO-installaties kan de leercurve in de sector in hoge mate versnellen.

De toepassing van WKO vraagt om een integrale benadering van het totale klimaatsysteem.
Het besef dat de WKO een volwaardig en onlosmakelijk onderdeel is van de energievoorziening tot en met het afgiftesysteem én het teeltklimaat in de kas is essentieel voor de rendabele toepassing.

Visie van de leverancier:
Doordring de tuinders ervan dat dat bij WKO-installatie de regelstrategie van het integrale energieconcept én sturing van de bron (bodembalans!) volledige afstemming en optimalisatie vereist op de teeltomstandigheden.

Visie van de tuinder:
Installateurs/leveranciers doen er goed aan om véél meer informatie te verschaffen over de werking van de warmtepompen en wat er nodig en belangrijk is om deze écht goed te laten functioneren.

Geef opdracht aan één partij ("totaal-installateur") voor het gehele systeem van het bronnenboren t/m in ieder geval de warmtepomp(en) incl. de hydraulische en regeltechnische inpassing. Nog beter is het om ook de distributie- en afgiftesystemen voor verwarming en koeling in de totaalopdracht mee te nemen en de leverancier ook daarvoor verantwoordelijk te maken.
Het op de markt te zetten van een WKO-systeem (inclusief warmtepomp etc.) in afzonderlijke delen levert uiteindelijk geen kostenvoordeel op. Wanneer het WKO-project in

één hand is, kan één aannemer/installateur de integrale verantwoordelijkheid hiervoor op zich nemen.

Maak prestatieafspraken met de leverancier/installateur.
"Koop een systeemprestatie in m^3/h in plaats van bronnen sec", spreek prestatiegaranties af voor de gehele WKO-installatie en leg die prestaties contractueel vast met de totaalinstallateur.

Kies een bronboorbedrijf dat de werkzaamheden volgens gecertificeerde kwaliteitsnormen uitvoert en zijn kwaliteit met uitgebreide referenties kan aantonen.

Een proefboring is van groot belang om vooraf de bodemopbouw te kennen en daarmee een verantwoorde inschatting van de beschikbare broncapaciteit te kunnen maken.
Het is aan te bevelen altijd een proefboring uit te voeren en wel zo dicht mogelijk bij de uiteindelijke locatie van de WKO-bron(nen). Dit voorkomt tegenvallende prestaties bij de realisatie.

Met een goede overdracht vanuit de installateur/leverancier bij de oplevering en ondersteuning bij de "inleerperiode" kunnen veel kinderziektes worden voorkomen.
Instructies en/of een handleiding kunnen onnodig "vallen en opstaan" van de tuinder voorkomen en/of de inleerperiode sterk verkorten. Dit wordt door de tuinders genoemd als een van de belangrijkste aandachtspunten qua nazorg door de installateurs/leveranciers. Ook uitgebreidere toegang tot het besturingssysteem wordt door de tuinders zeer wenselijk geacht.

Zorg voor regelmatig professioneel onderhoud van het totale systeem (incl. de bronnen).

Het is voor de tuinder zinvol om budget te reserveren voor nazorg en administratieve lasten.
Tuinders zouden er verstandig aan doen om voor de technische begeleiding bij (de bedrijfsvoering van) WKO-installaties een klein (kennis) budget te reserveren voor optimalisaties, calamiteiten en/of administratieve 'lasten' zoals de rapportages in het kader van de vergunningen.

Neem geen overhaaste beslissingen onder druk van de planning en het productieproces.
Neem voldoende tijd voor grote beslissingen en probeer daarbij de "productiedruk" minder zwaar mee te laten tellen.

Voor de tuinder is het van belang er bij de ontwikkeling en realisatie zelf bovenop te zitten en zichzelf voldoende in de materie te verdiepen.

Financieel

Flexibiliteit energiemarkt

De gecombineerde toepassing van WKO/WP en WKK zorgt voor flexibiliteit in bedrijfsvoering.
Een aantal tuinders stuurt zelf -afhankelijk van de momentane waarde van elektriciteit op de APX- de hoeveelheid elektriciteitsinkoop en -verkoop die gepaard gaat met de gewenste warmteproductie. Op de markt is een "anticiperende" regeling verkrijgbaar waarmee nauwkeurig de vullingsgraad van de buffers bepaald kan worden Dit maakt het mogelijk om op basis van de weersverwachting én de prijsontwikkeling op de energiemarkt 'day ahead' de vulling van de buffers en de inzet van de productiemiddelen (wkk, warmtepomp, hulpketel) precies in te plannen. Dit leidt tot een optimale bedrijfsvoering met zowel goede economische prestaties als een maximale balans, stabiliteit en maximale flexibiliteit.

Doorlevering warmte = verbeteroptie business case en oplossing onbalans

Doorlevering van warmte aan derden verbetert de business case en kan oplossing zijn voor warmte-overschotten.
Mogelijk kan een oplossing voor de tuinders met de grootste (structurele) warmteoverschotten in hun bronnen gevonden worden in de vorm van "doorlevering" van hun warmteoverschot aan nabijgelegen tuinders ("warmtelevering aan de buren") met primair een warmtevraag (meervoudig brongebruik). De ontvangende tuinder kan daarmee zijn gascapaciteit en –verbruik verlagen en dit kan zeker interessant voor hem zijn als zijn ketels aan vervanging toe zijn. De toepassing van deze vorm van duurzame energie wordt hiermee als vanzelf verbreid in de sector.

Beloning CO_2-reductie

Het invoeren van een objectief beloningssysteem voor de uitvoering van CO_2-reducerende maatregelen.
Dit zou voor de tuinders een stimulans kunnen zijn om meer gebruik te maken van WKO en/of (extra) besparingsmaatregelen te nemen.

Subsidie nog nodig?

De subsidie op WKO zou niet meer nodig zijn voor gekoelde teelten.
Ook zonder subsidies zou WKO een aantrekkelijke business case voor vele tuinders kunnen zijn, met name bij de gekoelde teelten. Anderzijds is wel duidelijk uit de antwoorden van de tuinders dat subsidies ook een belangrijke rol spelen bij het verlagen van de risicoperceptie.

Verbetering productkwaliteit, opbrengstverhoging en productiesturing

WKO draagt vaak bij aan de productkwaliteit en productiesturing.
Bij een aantal tuinders speelt de betere klimaatbeheersing in de zomer een belangrijke rol bij de stuurbaarheid van de productie, daardoor kan de productie beter afgestemd worden op de marktvraag.

Regelgeving

Regeldruk bevoegd gezag

Het zou de toepassing van WKO enorm helpen wanneer de regeldruk van het bevoegd gezag kan worden verminderd.

De regeldruk van de Provincie rondom WKO's is volgens veel geënquêteerden en geïnterviewden de afgelopen 10 jaar drastisch toegenomen. Door de steeds lastiger (en soms onrealistisch) geworden regels van de Waterwet en de AMvB Bodemenergie kan bijvoorbeeld een WKO-bron vaak pas als laatste worden gerealiseerd. Tuinders en installateur wachten in tegenstelling tot vroeger dan ook met het realiseren van een WKO-installatie tot de vergunning voor de bronnen helemaal rond is. Dat leidt er soms toe dat e.e.a. niet (meer) binnen de bouwplanning past en een WKO niet kan worden gerealiseerd.
Als andere knelpunten worden aangegeven:

- het water van de boringen mag niet meer worden geloosd op oppervlaktewater.
- de Provincie geeft onnodig weerstand tegen het realiseren van bronnen in het 1e WVP, terwijl dit basis van praktijkervaringen goed en zonder risico's mogelijk is. Dit gaat gepaard met onnodig hoge kosten voor de tuinders.

Vergunning Waterwet

Breng speelruimte aan in de vergunningaanvraag.

Het is verstandig om in de vergunningaanvraag in goed overleg met de provincie meer uit te gaan van een (wat ruimere) bandbreedte qua onttrekkings- en infiltratiecapaciteit alsmede de diepte van de beoogde bronnen. Dit voorkomt problemen bij de aanleg als blijkt dat toch enkele meters dieper geboord moet worden dan voorzien.

Overleg met Provincies

Gezien de in paragraaf 4.5.2 beschreven beperkingen in de verplichte rapportage in het kader van de (Grond)Waterwet verdient het aanbeveling om als aanvulling op dit onderzoek minimaal **de 2 belangrijkste provincies** met een relevant areaal glastuinders mét WKO te interviewen. Bij deze provincies is veel inzicht en kennis gebundeld over het reilen en zeilen van meerdere WKO-systemen. Zij kunnen in dit kader hun visie geven over het functioneren en de handhaving van WKO-installaties bij tuinders.
Tuinders kunnen op hun beurt dan hun behoefte ventileren dat de regelgeving met wat meer flexibiliteit en relativeringsvermogen wordt gehanteerd.

1. Inleiding en achtergrond

Eén van de mogelijkheden om de doelen van het programma "*Kas als energiebron*" te bereiken is het toepassen van warmte-koude-opslag (WKO)-systemen in combinatie met warmtepompen. Om de toepassing van –onder meer- dergelijke systemen te stimuleren is met ingang van 2007 de *MEI-regeling* in het leven geroepen. De MEI-regeling is het operationele stimuleringsinstrument van het programma Kas als Energiebron, dat door de overheid en het bedrijfsleven is opgezet.

Glastuinders moeten steeds creatiever omgaan met energieverduurzaming. Deze MEI-subsidie is bedoeld voor glastuinders die hun energiesystemen willen innoveren door een aanzienlijke energiebesparing, de inzet van duurzame energie of beide. De MEI-regeling is een geschikte regeling om de vroege marktintroductie van innovatieve energiesystemen te financieren. Sinds de start van de MEI-regeling in 2007 is al bij circa 40 tuinders (en dan met name bij gekoelde teelten) WKO toegepast.

Voor het jaarprogramma van 2013 is een van de doelstellingen om te achterhalen wat de **werkelijke (energetische) prestaties van WKO-systemen in de glastuinbouw** zijn en welke (technische en organisatorische) problemen eventueel optreden bij de praktische toepassing van WKO. Achterliggende gedachte is dat er uit een andere sector (de utiliteit) waar WKO al veel langer wordt toegepast signalen zijn over slecht functionerende systemen. Daaruit komen onder meer de volgende vragen voort:

- Treden deze problemen ook op bij toepassing in de glastuinbouw?
- Zijn de hieruit geleerde lessen en toegepaste oplossingen ook toepasbaar voor tuinders?
- Moeten de gevonden oplossingsrichtingen bij optredende problemen daarbij eventueel leiden tot aanpassing van de regelgeving (die gericht is op het doelmatig stimuleren van de juiste projecten)?

Productschap Tuinbouw en het Ministerie van EZ hebben in het kader van programma Kas als Energiebron ten behoeve van de monitoring van de effecten van de MEI-regeling nu opdracht gegeven aan Infinitus Energy Solutions om onderzoek te doen naar de werkelijke (energetische) prestaties inclusief knelpuntenanalyse van WKO-installaties bij glastuinders.

Dit onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage van het Ministerie van EZ, het Productschap Tuinbouw en het programma Kas als Energiebron.

1.1 Doelstelling

Het project heeft de volgende hoofddoelstellingen:

1. Het genereren van inzicht in en overzicht van de werkelijke prestaties en mogelijk optredende problemen van WKO systemen
2. Het identificeren van verbetermogelijkheden bij bestaande WKO-projecten
3. Het opstellen van "lessons learned" ten behoeve van optimalisatie van nieuwe (en bestaande) projecten

4. Kennisoverdracht naar doelgroep: wat zou de teler met deze kennis nú, anders (moeten) doen zowel organisatorisch (o.a. inkoop/aanbesteding) als technisch (ontwerp/ bedrijfsvoering).

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 van deze rapportage beschrijven wij eerst de werkwijze en het stappenplan van dit onderzoek.

In hoofdstuk 3 leggen wij verantwoording af over de uitgevoerde enquêtes bij de tuinders in de zin van aantal geënquêteerden, soorten bedrijven/teelten en gaan we in op de respons zowel kwantitatief als kwalitatief. Daarin geven we ook aan welke tuinders/teelten zijn geselecteerd voor de 1-op-1 interviews in de verdiepingsfase en waarom.

Hoofdstuk 4 bevat een gedetailleerd overzicht van de resultaten die wij hebben afgeleid uit de enquêtes en de analyse van gegevens uit onder andere de rapportages in het kader van de WKO-vergunningen. Dit hoofdstuk is opgedeeld in enquêteresultaten in algemene zin (o.a. motivatie van tuinders om voor WKO te kiezen), resultaten op het gebied van de techniek, de energieprestaties en monitoring van WKO-installaties, de prestaties op financieel-economisch vlak (inclusief het effect van subsidies) en enquêteresultaten op het gebied van organisatorische aspecten, risico's en regelgeving. In elk van deze paragrafen is een overzicht opgenomen van de percepties van de tuinders ten aanzien van (eventuele) problemen met WKO-installaties. Hoofdstuk 4 wordt afgesloten met een paragraaf (4.6) over de tevredenheid van de tuinders over hun WKO-installaties.

In hoofdstuk 5 presenteren we de verdiepingsslag van onze data-analyses uit de monitoring van WKO-bronnen én gaan we in op de (organisatorische) verschillen die we constateren tussen de glastuinbouw en de utiliteitsbouw bij de realisatie van WKO-projecten (5.3).

In hoofdstuk 6 geven we vervolgens een overzicht van de 'lessons learned' volgens de tuinders zelf zoals ze die hebben opgegeven in de enquêtes danwel de interviews.

Hoofdstuk 7 bevat alle conclusies en aanbevelingen uit het onderzoek, ingedeeld in een aantal paragrafen met betrekking tot techniek, energieprestatie, organisatorisch, financieel en regelgeving.

De bijlagen bevatten een lijst van alle geënquêteerde bedrijven, de gehanteerde vragenlijst voor de enquêtes, de integrale verslagen van de interviews met de 5 tuinders en de 2 installateurs/leveranciers en tenslotte een literatuurlijstje.

2. Werkwijze

In dit project hebben we de volgende stappen doorlopen:

1. **Inventarisatie van beschikbare projecten:**
   Aan de hand van overzichten van gerealiseerde WKO-projecten uit de databank van PT/Ministerie van EZ zijn in samenwerking met Dienst Regelingen 44 tuinders geselecteerd waarvan werd vermoed dat deze een WKO-installatie hebben gerealiseerd. Daarbij heeft dit onderzoek zich geconcentreerd op de tuinders die een subsidieaanvraag hadden gedaan in het kader van de MEI-regeling, maar ook eerdere projecten uit de regeling EOS-demo of UKR/UKP zijn meegenomen. De betreffende tuinders zijn eerst ***schriftelijk (zie vragenlijst in de bijlage) en vervolgens ook telefonisch benaderd*** om te inventariseren hoe hun WKO-warmtepomp-installaties functioneren en welke data beschikbaar en bruikbaar zijn voor nadere analyse van de prestaties.
2. **Selectie van beschikbare projecten voor nader onderzoek:**
   Uit de resultaten van de inventarisatie in fase 1 zijn, in overleg met PT/ Ministerie van EZ, vijf bedrijven geselecteerd voor een nadere analyse van de prestaties en eventuele (technische) problemen en (organisatorische) knelpunten die de betreffende tuinders hebben ondervonden bij de toepassing van hun WKO-systemen;
3. **Interview/bespreking met de direct betrokken telers/eigenaren:**
   Van de vijf geselecteerde bedrijven hebben we met de betrokken tuinders/eigenaren diepte-interviews gevoerd over hun gebruikservaringen met het WKO-systeem. We zijn daarvoor bij deze tuinders op locatiebezoek gegaan. Van de geselecteerde projecten zijn ook de monitoringrapportages, gemaakt voor de provincie ten behoeve van de WKO-vergunning, alsmede relevante gegevens uit de klimaatcomputers (of andere meetsystemen) beschikbaar gesteld (dit was een eis/randvoorwaarde voor deelname/selectie van de betreffende tuinders/projecten). De diepte-interviews met de tuinders zijn integraal opgenomen in bijlage 3.
4. **Analyse beschikbare data:**
   Door middel van analyse van de monitoringrapportages en beschikbare data hebben we de belangrijkste indicatoren voor de systeemprestaties van de WKO-installaties vastgesteld, resulterend in enkele kengetallen met betrekking tot rendementen van de WKO's; deze kwantitatieve analyses konden alleen plaatsvinden voor zover er voldoende gegevens beschikbaar waren uit monitoringrapportages en/of klimaatcomputers en/of overige monitoringsystemen.
5. **Inventarisatie en analyse van technische problemen bij de toepassing:**
   Uit de verzamelde informatie van de enquêtes en interviews is een overzicht van de ondervonden technische problemen opgesteld.
6. **Inventarisatie en analyse van de organisatorische knelpunten**
   Uit de verzamelde informatie van de enquêtes en interviews hebben we tevens een overzicht van de ondervonden organisatorische knelpunten en opgesteld.

7. **Vertaling problemen en knelpunten naar succesfactoren en mogelijke oplossingen;** Vanuit de opgedane ervaringen onder punt 5 en 6 heeft is gedestilleerd welke lessen hieruit zijn te leren, inclusief wat nodig is om problemen bij toekomstige WKO-warmtepomp-projecten te voorkomen. Waar mogelijk hebben we oplossingsrichtingen aangeven voor specifieke en/of generieke problemen op WKO-/warmtepompgebied zoals die naar voren zijn gekomen bij de enquêtes, interviews en analyses.

Aanvullend aan stap 3 is tijdens de projectuitvoering in overleg met de opdrachtgevers besloten om –naast de tuinders- **ook twee installateurs/leveranciers te interviewen**. De achtergrond hiervan is dat veel van de 'lessons learned' bij de installateurs worden ervaren, gebundeld en vervolgens toegepast in de serie projecten die zij realiseren bij verschillende tuinders. Zij hebben dus over een reeks van jaren en projecten (periode 2006-2013) een goed overzicht van de technische problemen en ontwikkelingen. Waar een tuinder vooral de 'lessons learned' in zijn dagelijkse praktijk en teelt-specifiek opdoet, doen installateurs in de loop van hun projecten in bredere zin en ook minder teelt-specifiek ervaringen op.

Dit is aanvullend aan het projectvoorstel en de opdracht uitgevoerd en bleek een waardevolle aanvulling op de werkwijze. De interviews met de 2 installateurs zijn integraal opgenomen in bijlage 4.

3. Enquêtes, respons en selectie van tuinders

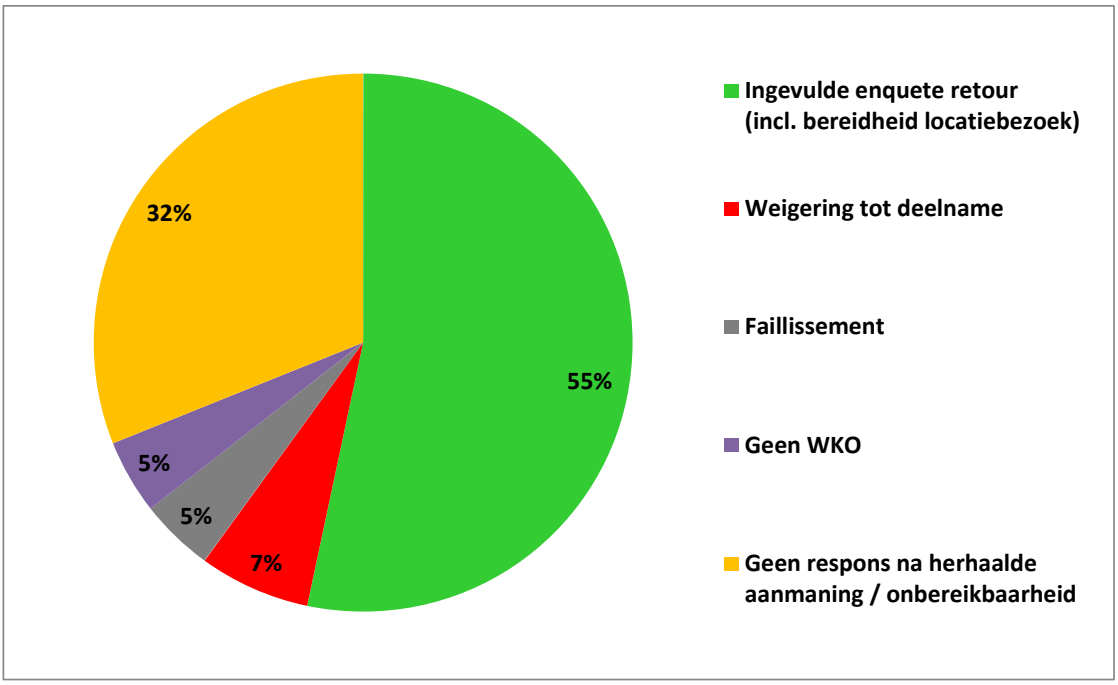
3.1 Verantwoording (vragenlijst: # verstuurd, nagebeld en # retour ontvangen)

In de periode van 17 tot 31 juli 2013 hebben in totaal 44 glastuinders (een overzicht van de deelnemende tuinders is opgenomen in bijlage 1) via de e-mail een uitgebreide vragenlijst (zie bijlage 2) ontvangen. Deze 44 tuinders waren zorgvuldig geselecteerd vanuit een 'long list' van in totaal 83 glastuinbouwbedrijven die op diverse lijsten van Productschap Tuinbouw en/of Dienst Regelingen van het Ministerie van EZ stonden vermeld als subsidie-aanvrager. Het aanvragen van subsidie heeft echter niet in alle gevallen geleid tot het verkrijgen daarvan en/of het realiseren van een WKO-installatie. Tuinders die uiteindelijk geen WKO-installatie hebben gerealiseerd, zijn verder niet benaderd in het kader van dit onderzoek.
De vragenlijst is vóór verzending inhoudelijk afgestemd met Productschap Tuinbouw en (Dienst Regelingen van) het Ministerie van EZ. Bij 35 van de geënquêteerden betrof het tuinders die in het kader van de MEI-regeling tussen 2007 en 2011 een subsidie voor WKO hadden aangevraagd. De overige 9 tuinders hadden subsidie ontvangen vanuit regelingen als UKR, UKP of EOS-Demo.

Van slechts 3 tuinders kwamen de ingevulde vragenlijsten zonder nadere herinnering of 'aanmaning' binnen de gestelde responstermijn retour. In alle andere gevallen moest er -meestal meerdere malen- achteraan gebeld en vervolgens gemaild worden om alsnog de gevraagde respons te krijgen. De respons blijkt in veel gevallen over meerdere 'schijven' te verlopen zoals via de installateur/leverancier van het WKO-systeem (met name LekHabo en Certhon) danwel de adviseur die betrokken is bij de rapportage voor de Provincie (vaak Flynth accountants of Agro Adviesbureau). Mede door de vakantieperiode leverde dit in veel gevallen lange doorlooptijden op vooraleer de ingevulde vragenlijsten retour kwamen. De laatste vragenlijsten zijn uiteindelijk op 13 en 18 september 2013 ontvangen.

Uiteindelijk bedroeg de oogst aan ingevulde vragenlijsten 24 stuks. **Een responspercentage van 55%.** Een tuinder was wel bereid tot deelname, maar alleen mondeling bij een bezoek op locatie ("*ik heb al 10 jaar een goed werkend systeem waarbij de gegevens binnen de klimaatcomputer uitgebreid bekend zijn, maar deze lijst is voor mij veel te complex, invullen kost mij teveel tijd en veel vragen zijn minder relevant of dubbel*"). Twee tuinders verwezen voor de gevraagde informatie eenvoudigweg naar alternatieve bronnen zoals de Provincie of Dienst Regelingen. Deze informatie is ontvangen en gebruikt voor de analyses, maar deze tuinders hebben uiteindelijk zelf géén vragenlijst ingevuld. Alle drie tuinders (locatiebezoek afgelegd en beide laatstgenoemden) zijn wel meegenomen als positieve respons. Veertien tuinders zijn herhaaldelijk aangemaand en/of bleken niet of nauwelijks bereikbaar (ook niet op de doorgegeven gewijzigde mailadressen of telefoonnummers). Gezien de onevenredige inspanning en wegens de voortgang van het project is in overleg met Productschap Tuinbouw besloten deze veertien bedrijven niet verder te benaderen voor dit onderzoek. Aan de overige tuinders die geen respons hebben opgeleverd is paragraaf 3.2 gewijd.

In de volgende figuur zijn de responsresultaten kwantitatief samengevat.



Figuur 3.1: Respons op de verzonden enquêtes

3.2 Motivatie 'geen respons of niet bereid tot deelname' (bv faillissement)

Twee tuinders blijken –ondanks hun subsidieaanvraag en de zorgvuldige voorselectie- uiteindelijk toch geen WKO-installatie te hebben gerealiseerd, waarvan 1 vanwege 'te hoge investeringskosten'. Drie tuinders zeggen telefonisch of per e-mail (al dan niet na meermaals aandringen en verwijzing naar de verplichting in het kader van MEI-regeling) expliciet niet mee te willen doen, waaronder 1 bedrijf dat zelfs tweemaal subsidie heeft ontvangen. Meestal wordt deelname geweigerd onder het motto "dit kost mij alleen maar veel tijd en levert mij niks op". Twee tuinders bleken failliet, waarvan er 1 tóch bereid was mee te werken en een ingevulde vragenlijst heeft ingeleverd.

3.3 Kwaliteit van ontvangen enquêtes/antwoorden

De kwaliteit van de ingevulde vragenlijsten was redelijk wisselend qua diepgang en/of uitgebreidheid en/of duidelijkheid van de antwoorden. Soms waren de antwoorden van tuinders binnen één enquête tegenstrijdig op grond van kennelijke interpretatieproblemen van enkele vragen. In enkele gevallen was dit aanleiding om verder door te vragen om telefonisch alsnog nadere informatie, duidelijkheid of een verder ingevulde vragenlijst te verkrijgen. Wanneer we de uitgebreidheid van de vragenlijst en de complexiteit van sommige vragen in acht nemen, hebben de meeste van de 24 respondenten (of hun installateur/adviseur op de achtergrond) gemiddeld genomen toch goed hun best gedaan om 'naar eer en geweten' mee te werken aan dit onderzoek.

De kwaliteit van de respons was bovendien wel dusdanig dat hierop de nodige analyses konden worden uitgevoerd. Het betreft dan analyses op bedrijfsniveau maar ook analyses op 'sectorniveau', althans voor zover het "WKO-tuinders" betreft. Verder was het goed mogelijk

om enkele algemene trends en conclusies te kunnen ontlenen aan de ontvangen vragenlijsten. Dit wordt versterkt door de 2 verdiepingsslagen van dit onderzoek door middel van 5 interviews met geselecteerde tuinders (bijlage 3) op hun bedrijfslocatie en 2 interviews met de belangrijkste installateurs (bijlage 4) van WKO-systemen in de glastuinbouw.

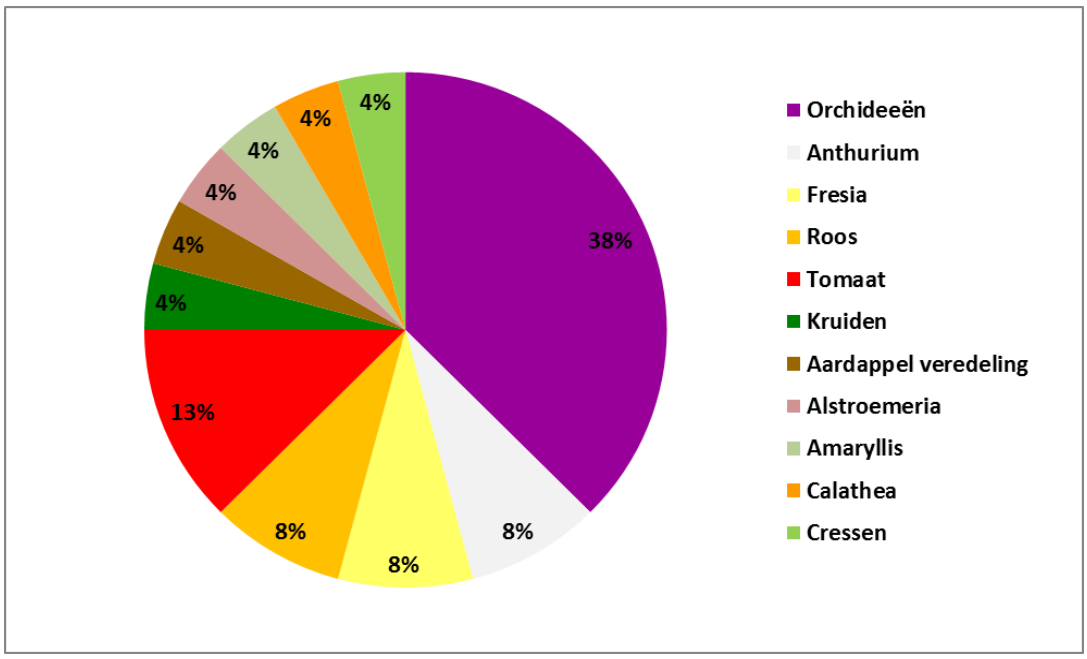
De analyses, trends, 'lessons learned' en conclusies worden in de rest van dit rapport verder uitgewerkt.

3.4 Objectiviteit van de enquêteresultaten

Bij de ontvangst van de ingevulde vragenlijsten, de telefonische aanmaningen én de interviewronde met de installateurs bleek dat de vragenlijsten uiteindelijk regelmatig zijn ingevuld door de installateur (en/of financiële adviseurs als Flynth). Dit roept de vraag op of de ingevulde vragenlijsten niet een té rooskleurig beeld geven van de werkelijke situatie met betrekking tot de technische en energetische prestaties van de WKO's in de glastuinbouw. Uit de bilaterale interviews met de tuinders op locatie (ter verdieping) en enkele directe telefoongesprekken met tuinders komt echter eenzelfde beeld naar voren als uit de ingevulde vragenlijsten. Deze interviews hebben achteraf gezien dus mede gefungeerd als controle op de objectiviteit.

3.5 Karakteristieken geënquêteerde tuinders en projecten (teelten, installaties, capaciteit)

De 24 respondenten zijn als volgt verdeeld over de verschillende **teelten**:
Orchideeën 9x (waarvan 8x Phalaenopsis en 1x Dendrobium Nobile), Anthurium 2x, Fresia 2x, Roos 2x, Tomaat 3x, Aardappel-veredeling, Alstroemeria, Amaryllis, Calathea, Cressen en Kruiden. In een figuur ziet dit er als volgt uit:



Figuur 3.2: Indeling naar teeltsoort van de geretourneerde enquêtes

- Het kleinste bedrijf had een areaal van 7.300 m^2 (Dendrobium) en het grootste bedrijf van 78.800 m^2 (orchideeën)
- 15 tuinders passen (veel) belichting toe, 2 gebruiken weinig licht en 4 tuinders belichten in het geheel niet. De overige tuinders hebben dit aspect niet gespecificeerd.
- De periode waarin de WKO's zijn gerealiseerd loopt van 2003 t/m 2010
- 18 tuinders passen luchtbehandelingskasten toe, 9 HD-bevochtiging, 5 grond-/ vloerkoeling en 1 'luchtbuizen' (diverse tuinders passen meerdere opties toe)
- 10 tuinders gebruiken hun WKO om te verwarmen én te koelen, 8 tuinders daarnaast voor ontvochtigen en 1 tuinder gebruikt de WKO naast verwarmen/koelen ook om zijn LED's te koelen én warmte uit oppervlaktewater te oogsten en in de bodem op te slaan
- Als back up voor verwarming en/of koeling geven de tuinders aan de volgende opties te hebben: 9x ketel, 8x WKK, 2x koeltoren, 2x warmtepomp, 1x koelmachine in combinatie met buitenschermen, 1x elektrische boiler, 1x koeling oppervlaktewater.
- Strikt genomen zijn 2 tuinders (Calathea- en kruidenteler) niet echt in het bezit van een WKO-installatie in de nauwe betekenis: deze 2 tuinders hebben namelijk gesloten (verticale) bodemwarmte-wisselaars als bron voor hun warmtepompsystemen.

3.6 Selectie van tuinders voor verdiepingsfase

De selectie van tuinders voor interviews in de verdiepingsfase is uitgevoerd in overleg met Productschap Tuinbouw. Belangrijke criteria hiervoor waren:

- Representatieve teelt voor toepassing van WKO
- Representatieve teelt voor de sector als geheel (areaal, met/zonder belichting, bloemen/groenten)
- Verdeling over verschillende soorten representatieve teelten
- Minstens 3 jaar (stookseizoenen) bedrijfservaring met WKO
- Voldoende gegevens beschikbaar in enquête en/of vanuit monitoring
- Bereidheid van tuinders tot deelname.

Uiteindelijk heeft dit geleid tot verdiepingsinterviews bij tuinders met de volgende teelten:

- Phalaenopsis
- Roos
- Tomaat
- Fresia/Dendrobium
- Alstroemeria

4. Resultaten

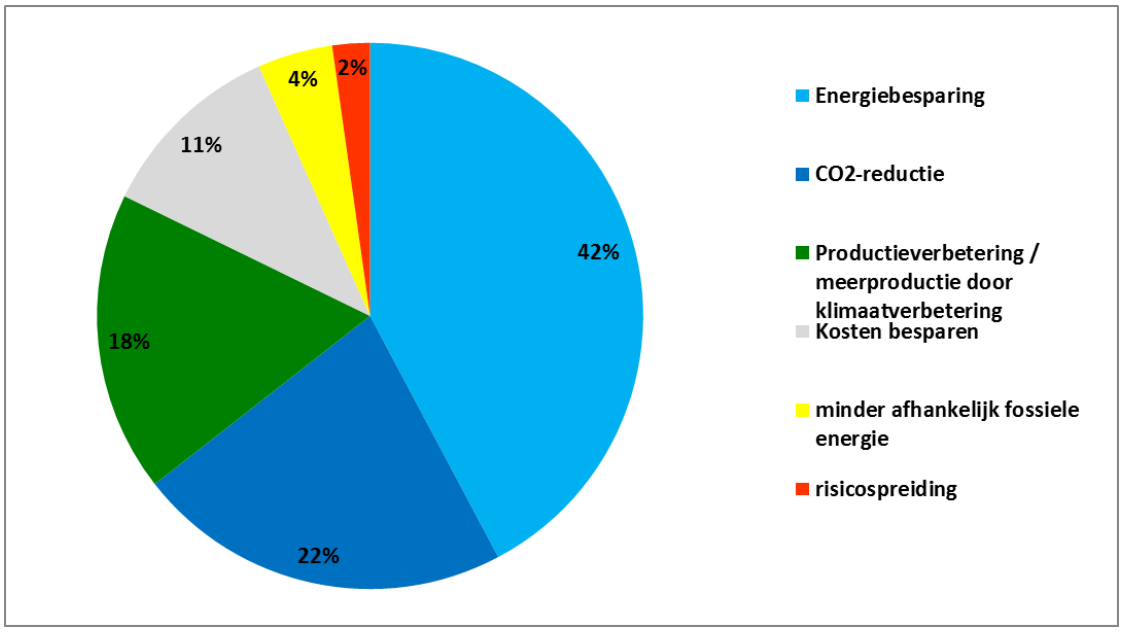
Dit hoofdstuk is een weergave van de antwoorden en gegevens uit de enquêtes en bewerkingen daarvan. Bewerkingen zijn veelal een vertaling van de opgegeven karakteristieke (technische) parameters als broncapaciteiten en warmtepompvermogens naar bedrijfsgrootte en/of naar een inzichtelijk (sectorspecifiek) kengetal.

4.1 Algemeen, motivatie en achtergronden WKO

De vraag naar de **oorspronkelijke doelstelling** om met WKO aan de slag te gaan (**vraag 4**) beantwoorden de tuinders als volgt (meerdere antwoorden per tuinder mogelijk):

- Energiebesparing 19x
- CO_2-reductie 10x
- Productieverbetering / meer-productie door klimaatverbetering 8x
- kosten besparen 5x
- minder afhankelijkheid fossiele energie 2x
- risicospreiding 1x.

In een grafiek ziet dit er als volgt uit:



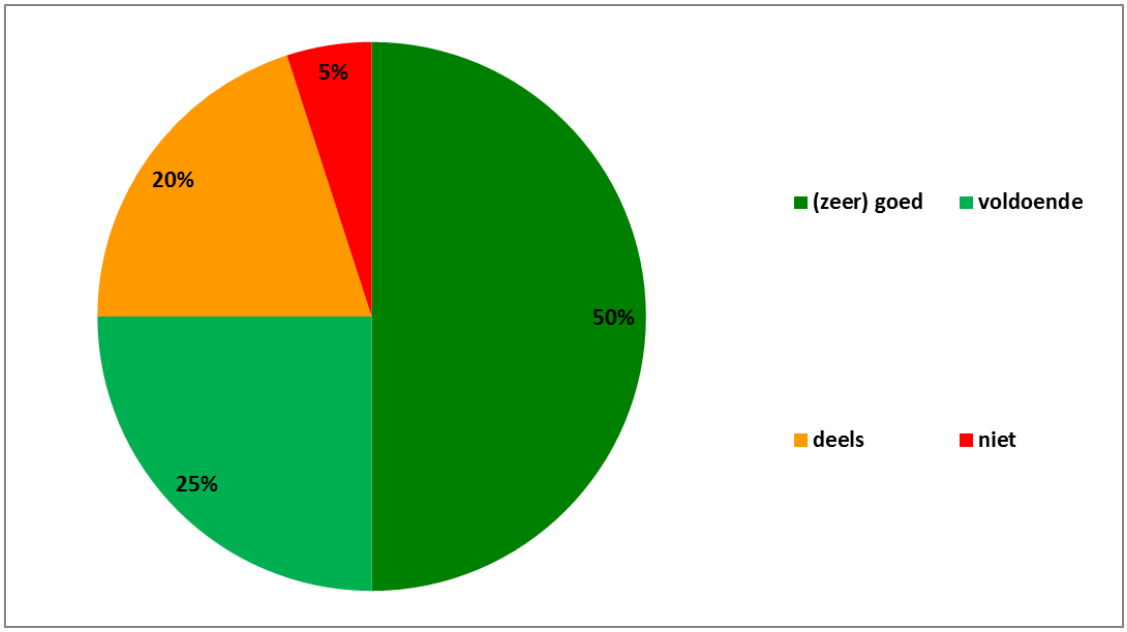
Figuur 4.1: Oorspronkelijke doelstelling van de tuinders bij de toepassing van WKO

Op de vraag in hoeverre deze doelstellingen zijn bereikt (**vraag 5**), antwoorden de tuinders als volgt:

- (zeer) goed 10x
- voldoende 5x
- deels 4x
- niet 1x
- nader gespecificeerde antwoorden (voor zover gegeven): 5x alle doelen bereikt, 8x doelen deels bereikt (waaronder ook tuinders die als antwoord 'voldoende' gaven):

minder dan geplande meer-productie, semi-gesloten telen nog niet bereikt op moment van enquêtering, thermische onbalans (2x koude-overschot, 2x warmteoverschot), geen w-levering aan woonwijk gerealiseerd, niet de gehele energiebesparing bereikt, persistent bronprobleem.

In grafische vorm:



Figuur 4.2: Mate waarin de tuinders vinden dat de doelstellingen bereikt zijn

Bouwtijd en acceptatietermijn (vragen 6 t/m 8)
De WKO-installaties worden gemiddeld een half tot een heel jaar na de start van de bouw opgeleverd. De definitieve acceptatie van de installatie door de tuinder geschiedt gemiddeld een half tot heel jaar na oplevering. In slechts 4 gevallen bedroeg deze acceptatietermijn maar 2 à 3 maanden na oplevering.

4.2 Techniek: karakterisering WKO-installaties en opgetreden problemen

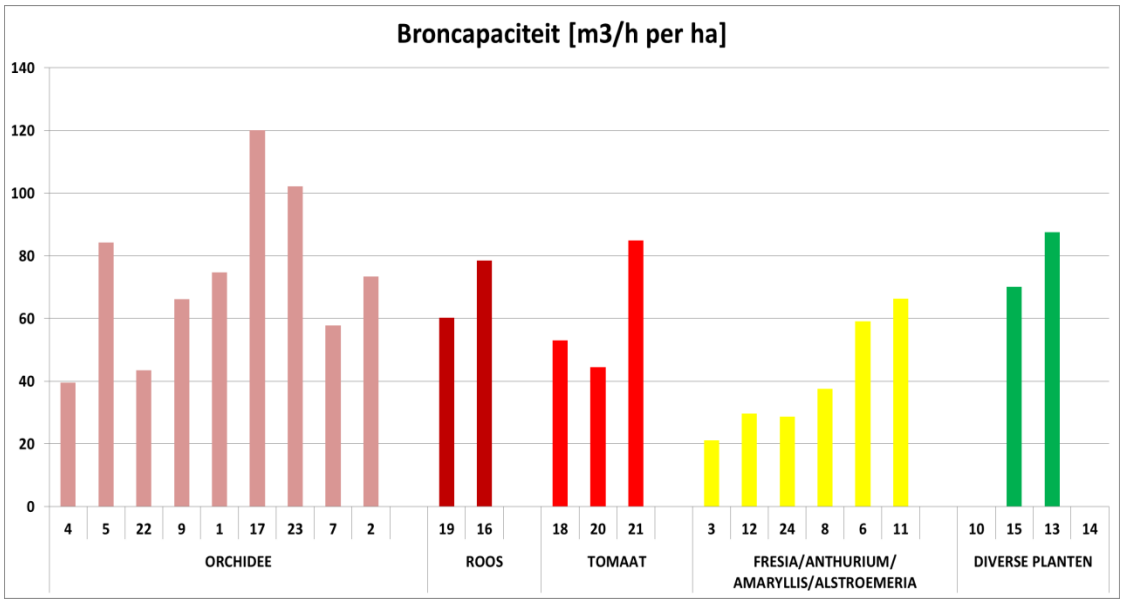
De installaties van de 24 tuinders zijn op hoofdlijnen als volgt te karakteriseren en kwantificeren:

- De opgegeven broncapaciteiten bedragen in totaal tussen 45 en 500 m^3/uur
- Er zijn 1-5 brondoubletten per bedrijf
- De gerapporteerde WKO-bronnen hebben een koelvermogen tussen 370-5.000 kW
- Het elektrisch vermogen van de **bronpompen** bedraagt van 2x7,5 kW tot 10x15 kW; 1x wordt door de tuinders een frequentieregelaar genoemd.
- Verwarmingscapaciteit van de **warmtepompen** van 475 tot 5.850 kW_{th}
- Als **vollasturen voor verwarming** door middel van de warmtepompen noemen de tuinders zeer uiteenlopende waarden van 1.500 tot 6.000 uren per jaar. Dit is uiteraard teeltafhankelijk. Daarnaast noemen de tuinders als range van de ‘werkelijke bedrijfsuren’: 1.300-5.500 uren volgens urentellers met 1 uitbijter naar 500 bedrijfsuren

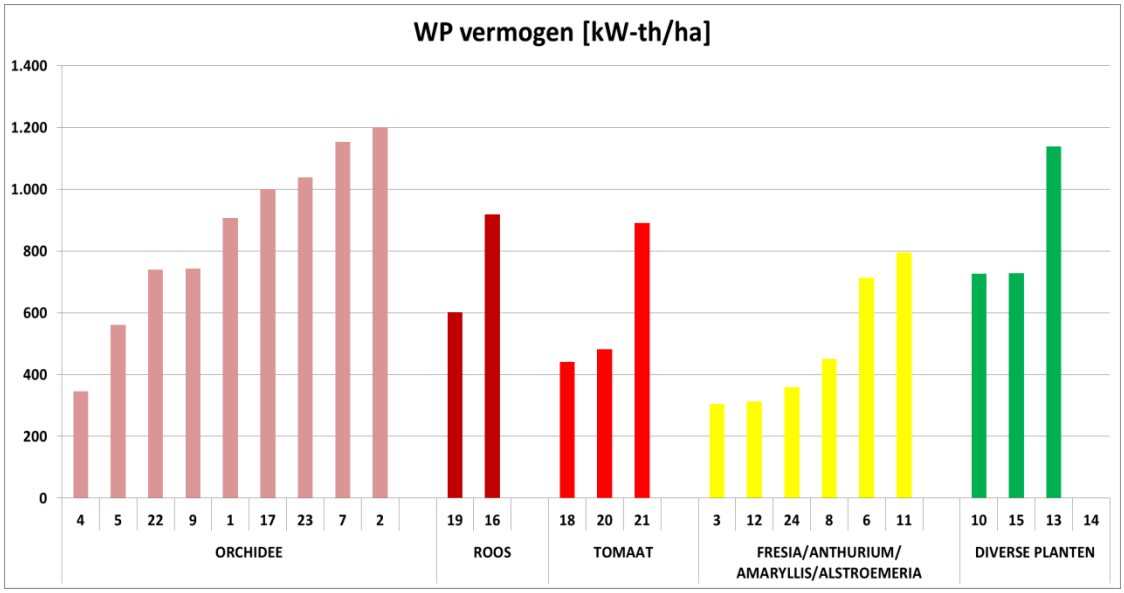
(noot van de redactie: eigenlijk kan dit niet kloppen omdat het aantal vollasturen per definitie altijd lager moet liggen dan het aantal bedrijfsuren volgens de urentellers; wij hebben het vermoeden dat door enkele tuinders de vollasturen voor verwarming en koeling bij elkaar zijn opgeteld en/of dat de opgegeven hoge uren-aantallen soms perioden van meer dan 1 jaar betreffen).

- Volgens ontwerp bedraagt het aantal **vollasturen voor koeling** tussen 1.250 en 3.000 uren met 2 uitbijters van 0 en een van 500. De opgegeven range van werkelijke bedrijfsuren voor koeling bedraagt 100-2.560 uren met 3 uitbijters van 3.408, 4.400 en 4.500 uur.
- Indien **WKK** aanwezig was op de bedrijven (overigens 6x in het geheel geen WKK) bedroeg de verwarmingscapaciteit hiervan tussen 1.743 en 7.680 kW_{th}
- Als back up hebben de tuinders (naast WKK voor zover aanwezig) **ketels** variërend in vermogens van 4x60 kW tot 8.000 kW; 4 tuinders zeggen in het geheel geen ketels te hebben (waarvan 1 wegens zijn aansluiting op de stadsverwarming van RoCa), één tuinder beschikt over een 1.200 kW elektrische boiler in combinatie met een 2.000 kW noodolieketel.
- In het algemeen hanteren de tuinders als **prioritaire inzetvolgorde**: WP-WKK-ketel, in een enkel geval WKK-WP-ketel (voor zover aanwezig); tuinders rapporteren als nuancering dat de inzetvolgorde (sterk) afhankelijk is van een aantal factoren waaronder vooral de prijzen op energiemarkt: 7 tuinders melden de inzetvolgorde van hun warmte-opwekkers zelfs actief te sturen op de prijzen op de energiemarkt. Indien sprake is van minimumbuis dan wordt deze altijd geleverd via WKK of ketel.
- Als **"alternatieve" koeloptie** rapporteren de tuinders gebruik te maken van warmtepompen (8x, met 1x de opgave van 400 bedrijfsuren van de koelmachine), HD-verneveling (2x), koeltorens (2x) en éénmaal de bronnen rechtstreeks. Zeven (7) tuinders melden géén alternatieve koelvoorziening te gebruiken.

Voor de belangrijkste parameters (broncapaciteit, warmtepompvermogen) hebben we de verschillende onderzochte projecten in een plaatje samengevat en –in verband met de vergelijkbaarheid en analyse- de waardes gerelateerd aan het teeltoppervlak van de respectievelijke tuinders. Dit ziet er als volgt uit:



Figuur 4.3: Broncapaciteit voor de verschillende onderzochte teelten in relatie tot het gekoelde deel van het bedrijf in hectare



Figuur 4.4: Warmtepompvermogen voor de verschillende onderzochte teelten in relatie tot de totale bedrijfsgrootte in hectare

Opvallend in figuur 4.3 is dat er een factor 3 verschil is tussen de kleinste en de grootste broncapaciteit per hectare (gekoelde deel van het bedrijf) bij de 9 orchideeën-kwekers. Bij de andere teelten zijn de verschillen minder groot of is er geen sprake van vergelijkbaarheid vanwege de verschillende teelten (gele en groene staafjes). In figuur 4.4 zien we zelfs nog een iets grotere factor qua verschil in het kleinste en het grootste opgestelde warmtepomp-vermogen per hectare (totale bedrijfsgrootte).

In paragraaf 4.3 en 5.2 gaan we nader in op een aantal specifieke deelaspecten van de techniek en de energieprestaties.

Overzicht antwoorden met betrekking tot technische problemen en techniek in het algemeen

- 7 van de 24 tuinders (29%) geven in **vraag 9** aan géén technische problemen te hebben ondervonden en 2 tuinders weinig of geen technische problemen, overigens zonder nadere specificatie
- De WKO-bronnen zelf leverden 5 tuinders problemen op, met name qua broncapaciteit die veelal lager is dan volgens ontwerp en/of proefboring; 1 tuinder geeft aan dat zijn bronnen slechts op de 50% van de ontwerpcapaciteit functioneren en 1 andere tuinder heeft zelfs 3 van de 8 bronnen moeten vervangen.
- 5 tuinders melden problemen met (meng)kleppen, 3 tuinders met lekkages met het leidingsysteem en 1 tuinder meldde een verstopping van leidingen als gevolg van vervuilingen
- Door enkele bedrijven (zowel tuinders als leveranciers) is veel leergeld betaald door de negatieve ervaringen met **Fiwihex-warmtewisselaars**. In de behoefte aan geschikte afgiftesystemen met/voor kleine temperatuurverschillen tussen systeemwater en circulerende lucht zijn inmiddels goede alternatieven ontwikkeld, zoals de OPAC106.
- 2 tuinders melden problemen met de interactie/samenwerking/synchronisatie tussen de klimaatcomputer en de (in)regeling van de opwekinstallaties
- 1 tuinder meldt dat zijn warmtepompen moeilijk zijn in te regelen door kwalitatief slechte mengkleppen én het ontbreken van een goede LT-buffer (lage temperatuur) gescheiden van de HT-buffer (hoge temperatuur).
- 1 tuinder tenslotte meldt te weinig luchtdebiet over zijn luchtbehandelingskasten, te weinig waterdebiet over zijn LT-verwarmingssysteem en daarnaast veel storingen op de frequentieregelaars van zijn warmtepompcentrales
- 13 tuinders antwoorden hierbij dat de opgetreden technische problemen beperkt bleven tot de opstart-/inregel-/garantieperiode; aanhoudende, grote of terugkerende problemen worden door 4 tuinders genoemd
- 15 tuinders melden dat de problemen (voor zover opgetreden) (grotendeels) zijn opgelost, 3 tuinders zeggen dat de problemen niet zijn opgelost en 1 tuinder meldt dat hij aanvullende investeringen in buffers moet doen om de problemen duurzaam te verhelpen.
- 16 tuinders geven daarbij aan dat de probleemoplossing ook blijvend was; 1 tuinder geeft aan dat dat niet het geval is geweest.

Vraag 16 (*Kan het concept dat is toegepast binnen het project gemakkelijk gekopieerd / opgeschaald en dus meer generiek toegepast worden?*) beantwoorden de tuinders 15x (63%) met ja, 3x met ja gevolgd door een nuancering/specificatie en slechts 2x met nee (zonder nadere specificatie). De nuanceringen/specificaties zijn:

- De basis van het concept is generiek toepasbaar: WKO + Ketel + warmtepomp. Aan te koppelen bronnen van warmte zijn afhankelijk van betreffende kweker (koelcellen, oppervlaktewater, etc.). Inrichting van de kas en bijbehorende middelen (betonvloer, LED, luchtslangen) is teeltafhankelijk.
- Concept bevat ook een Kas in Kas-principe. Deze vereist een speciale constructie. Gedachtengang is naar mijn mening wel breder toepasbaar
- Wel, echter grote investering is beperking
- Mogelijk, afhankelijk van opbrengst Nederlandse roos.

Vraag 17 (*Indien u meer dan één KWO-project hebt gerealiseerd, wat hebt u in latere project(en) anders gedaan dan in de eerdere?)* blijkt van toepassing op 3 tuinders. Deze geven de volgende antwoorden:

- beter toezicht op de ondergrondse leidingaanleg en metingen
- WKO in tweede project toegepast en koelen met meerdere lagen in combinatie met LED-licht
- ja, hier hebben we verbeteringen in doorgevoerd zoals efficiëntere WP en een KOT (koude opslag tank).

4.3 Energieprestatie en monitoring

Op **vraag 25** (*Wat is de **beoogde energiebesparing** in vergelijking met een 'referentie'-systeem?*) variëren de antwoorden in de range van 15-50%. Vervolgens geven de tuinders in vraag 26a (*Wat is de **gerealiseerde energiebesparing**?)* een range op van 15 tot 45%.

Vragen 28 t/m 35 hadden betrekking op de **monitoring** van de WKO-installaties bij de tuinders. Opvallend is dat er heel veel mogelijk is en ook wordt gemonitord. De wijze van monitoring varieert van het handmatig aflezen van tussenmeters, datacollectie vanuit Priva-, TCS-systemen (van LekHabo), de Certhon CAN(Viewer)-systeem of de Geo-Balansregeling. De antwoorden van de tuinders laten zien dat de volgende parameters veelvuldig (maar niet altijd en niet in alle gevallen) worden gemonitord:

- (bron)temperaturen
- deltaT's
- drukken
- flows
- bedrijfsuren
- urentellers
- % inzet van de systemen
- electraverbruik
- hoeveelheid warmte
- hoeveelheid koude
- ‘koudevoorraad in de bronnen’
- hoeveelheid water verpompt
- COP
- stijg- en daalhoogtes
- alle gegevens uit de klimaatcomputer
- “beperkt”, "alles".

Voor veel tuinders leidt dit tot een onoverzienbare ‘brei’ aan energetische data, waaraan ze –in verhouding tot hun primaire proces- maar beperkt aandacht willen en kunnen geven. Het is dan ook logisch dat de meeste tuinders het overlaten aan hun installateur en/of adviseur (bijvoorbeeld Certhon, LekHabo, Flynth, Agro-Adviesbureau) om hiermee wat te doen. Het gaat dan vooral om de verplichte rapportages voor de Provincie in het kader van de Grondwaterwet (tegenwoordig Waterwet) en/of rapportages en berekeningen met

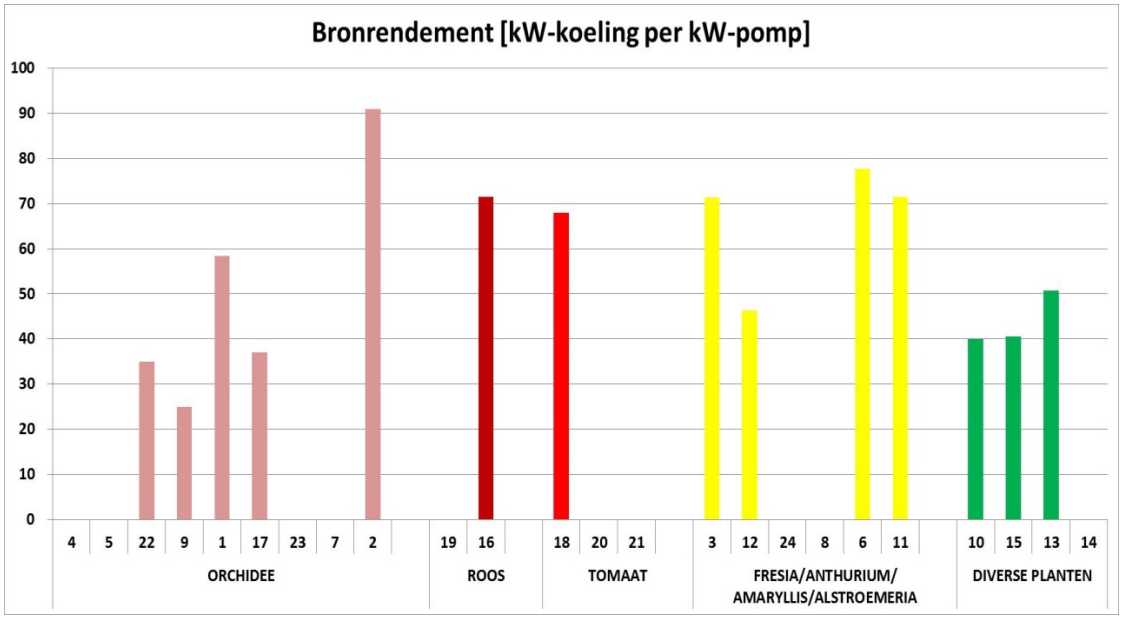
betrekking tot de milieueisen die gelden om in aanmerking te komen voor het certificatieschema “Groen Label Kas” (GLK) (om in aanmerking te komen voor MIA- en VAMIL-regeling en eventueel voor de regeling Groenprojecten).

Op **vraag 32** over de toetsbaarheid van de monitoringgegevens luiden de antwoorden als volgt: 6x ja, waarvan 1x expliciet wordt aangegeven dat er ook geijkt wordt; 3x ja in principe wel, maar ijking vindt niet plaats, 1x alleen T-meters geijkt, 2x nee. De andere tuinders weten niet zo goed raad met deze vraag en/of geven als antwoord ‘niet van toepassing’.

Op de resultaten van de analyses van de **vragen 34 en 35** *(“Hoeveel energie gaat het systeem in en hoeveel komt eruit?”)* en de **verkregen aanvullende informatie met betrekking tot energiemonitoring** wordt in het vervolg van deze paragraaf nader ingegaan. Voor zover mogelijk en relevant specificeren we een en ander naar de prestaties van (onderdelen van) het duurzame energiesysteem zoals bronrendementen, warmtepomprendementen en overall systeemprestaties.

4.3.1 *Prestaties van de bronnen*

Van slechts 14 van de onderzochte projecten zijn voldoende gegevens bekend om de “kale” prestatie van het bronsysteem te bepalen, d.w.z. de verhouding van geleverde koelvermogens vanuit de bronnen ten opzichte van de daarvoor benodigde pompvermogens. Dit is een goede indicator voor de energetische prestaties van de (vrije) koeling door de bronnen. De resultaten zijn weergeven in figuur 4.5.



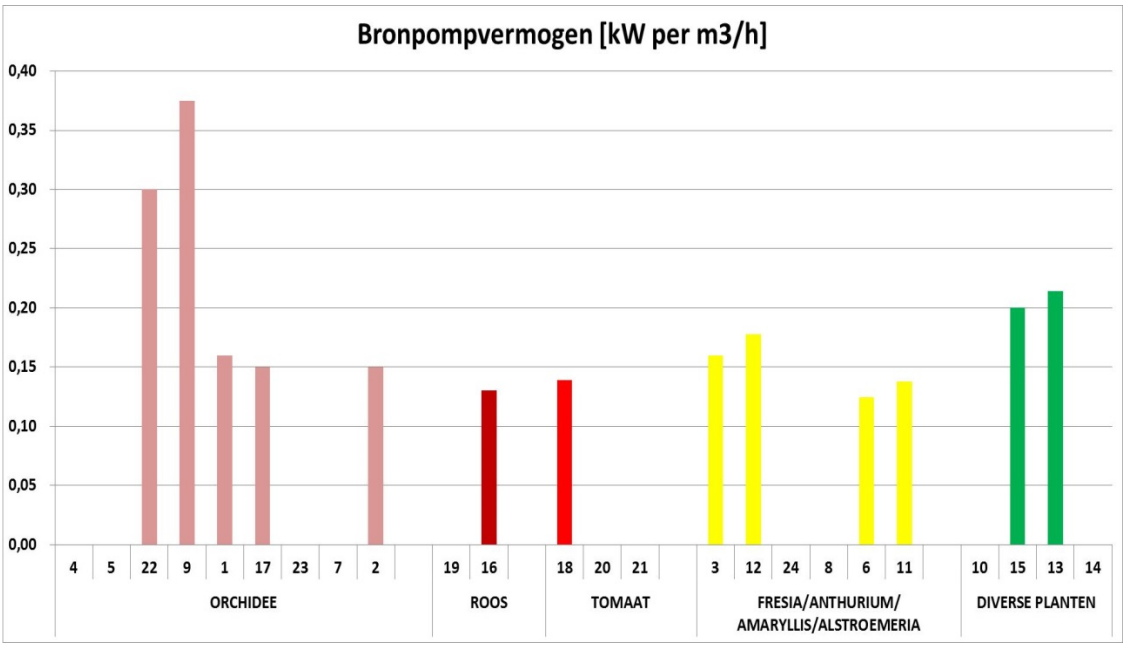
Figuur 4.5: Bronrendement: verhouding tussen koelvermogen en pompvermogen (vaak abusievelijk aangeduid als COP van ‘vrije koeling’, beter is EER = Energy Efficiency Ratio)

Op grond van de theorie én praktijkervaringen (ook in de utiliteitsbouw) mogen bronrendementen met een waarde van 30 tot 50 verwacht worden. De relatief lage waarde van tuinder nummer 9 in vergelijking met de hoge waarde van tuinder nummer 2 (beide orchideeënkwekers, respectievelijk in Bleiswijk en in Monster) laat zich bijvoorbeeld

verklaren door het grote verschil in opgestelde pompvermogens (bij overigens vergelijkbare vermogens van de warmtepompen). Deze verschillen kunnen worden verklaard door verschillen in bodemopbouw (laagdikte aquifer, korrelgrootte, –verdeling van de zandlaag), de kwaliteit van de bronnen en soms de door de verschillende ontwerpers ingebouwde 'veiligheidsmarges'. Zie ook figuur 4.6. Bovendien hanteert tuinder nummer 2 beduidend hogere DeltaT's.

De hele hoge waarden van sommige andere teelten kunnen meestal ook verklaard worden door (soms uitzonderlijk) hoge DeltaT's. Hierbij moet verder nog worden opgemerkt dat de tuinders niet allemaal een hard onderscheid maken tussen het koelvermogen vanuit de bronnen en het koelvermogen van de verdamper(s) van de warmtepomp(en). Dit kan een vertekend beeld opleveren.

De prestaties van de bronnen zijn ook uit te drukken in het bronpompvermogen in kW pompvermogen per gerealiseerd brondebiet in m^3/h. Dit is feitelijk (mede) een maat voor de hydraulische weerstand van de bronnen en ziet er voor de onderzochte projecten en teelten als volgt uit:



Figuur 4.6: Hydraulische weerstand van de bronnen (pompvermogen in kW_e)

De bronpompvermogens in kW_e zitten vrijwel allemaal in de smalle range van 0,13 tot 0,22 kW_e per m^3/h. Twee orchideeënkwekers zitten echter ruim een factor 2 hoger dan het gemiddelde. De verschillen kunnen worden verklaard door verschillen in bodemopbouw (laagdikte aquifer, korrelgrootte, –verdeling van de zandlaag), de kwaliteit van de bronnen en soms de door de verschillende ontwerpers ingebouwde 'veiligheidsmarges'.

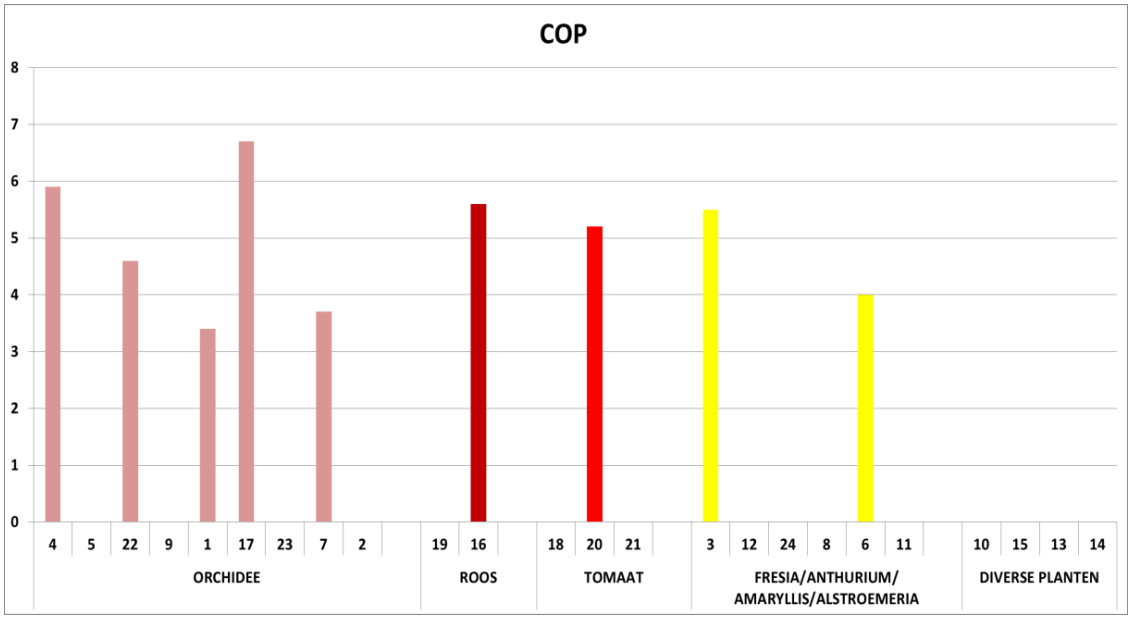
Hoewel het verleidelijk is om correlaties te leggen tussen de figuren 4.5 en 4.6 zijn er teveel andere variabele parameters in het spel (met name qua bedrijfsvoering), die het 'gevaarlijk' maken om hier eenduidige conclusies uit te trekken. Zo lijkt het bijvoorbeeld mogelijk om

voor de orchideeënkwekers een verband te leggen tussen hoge hydraulische weerstand van de bronnen (figuur 4.6) en de relatief lage bronrendementen (figuur 4.5). Echter, dit is te kort door de bocht, want hiermee gaan we dan voorbij aan andere variabelen qua bedrijfsvoering, bijvoorbeeld het al dan niet laden van condensorwarmte van de warmtepomp in de warme bron en (soms grote) verschillen in gehanteerde deltaT's.

Voor nadere observaties en conclusies over de optimale brondimensionering verwijzen wij naar paragraaf 5.2. De thermische balans van de bronnen behandelen we in paragraaf 4.5.2.

4.3.2 Prestaties van de warmtepompen (COP)

Van slechts 9 van de onderzochte WKO-projecten was het rendement van de warmtepompen, uitgedrukt in Coëfficiënt of Performance (COP), bekend of te berekenen. In de figuur 4.7 zijn de resultaten grafisch weergegeven.



Figuur 4.7: COP van de warmtepompen

Uit de figuur blijkt dat deze rendementen variëren van 3,4 tot 6,7. Slechts 2 van de projecten scoorden een COP van minder dan 4 en 5 van de projecten hadden een COP van meer dan 5.

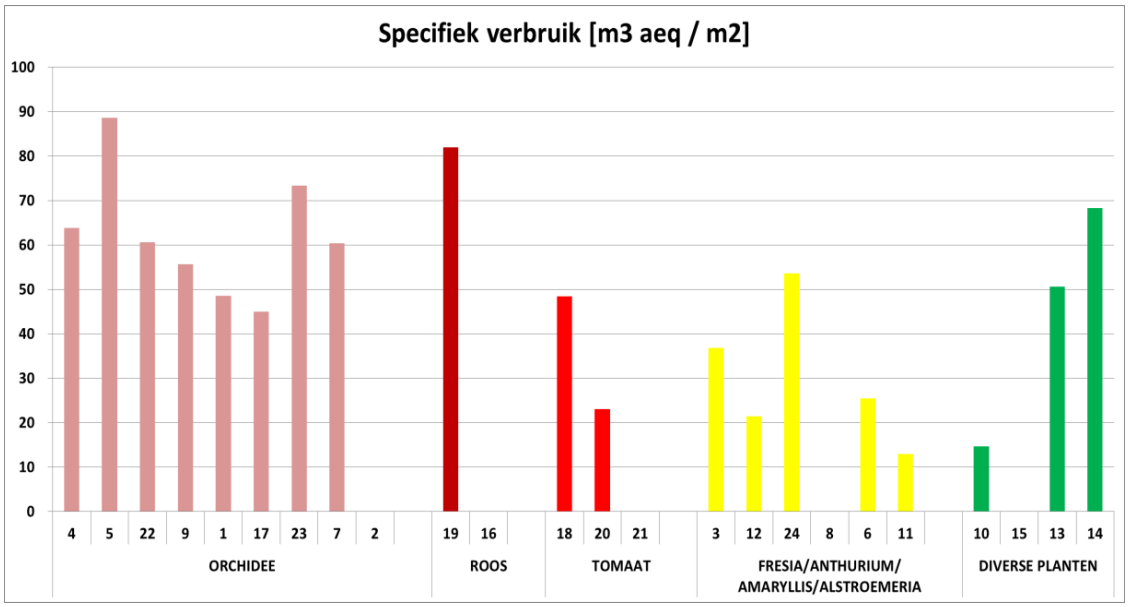
Het relatief lage warmtepomprendement van tuinder nummer 1 (COP = 3,4; volgens de rapportage van de Groen Label kas (GLK)) kan niet echt verklaard worden uit de (onjuiste) dimensionering van de bronnen, warmtepompen en/of bronpompen, noch uit de gehanteerde DeltaT's. Deze WKO-installatie is wel één van de allereerste projecten die in het kader van de MEI-regeling zijn ondersteund.

Het hoge warmtepomprendement van tuinder nummer 17 (COP = 6,7) kan verklaard worden door het feit dat hier een *ammoniak-warmtepomp* staat opgesteld. De overige warmtepompen presteren goed en/of volgens verwachting (COP van 4 tot 6). Overigens zijn de gerapporteerde COP's gebaseerd op de verschillende berekeningsmethodieken van o.a. GLK, leverancierssspecificaties, praktijkmetingen van tuinders zelf, installateurs en/of adviseurs en daarom niet volledig 1 op 1 vergelijkbaar.

4.3.3 *Prestaties totaal systeem*

Door de meeste tuinders wordt aangegeven dat de beoogde energiebesparing is gehaald. Dit is echter moeilijk te controleren en nog moeilijker te kwantificeren, omdat een eenduidige referentiesituatie ontbreekt (vaak ten gevolge van de dynamische bedrijfs- en/of marktsituatie als gevolg van groei, uitbreidingen met extra teelten/gewassen, overnames, e.d.).

Uit de enquêteresultaten en de aanvullende informatie (met name monitoringrapportages) hebben we wel een kengetal bepaald voor het specifieke energieverbruik in m^3 AEq per m^2; hierbij is ingekochte/verkochte elektriciteit verrekend met een centraal opwekrendement van 45% (o.w.). Dit is weergegeven in figuur 4.8.



Figuur 4.8: Specifiek verbruik van primaire energie

Er is geen duidelijke correlatie tussen de COP van de warmtepomp bij warmtelevering (figuur 4.7) en het totale energieverbruik. Dit is ook logisch omdat er naast de diversiteit van warmtepompen ook verschillen zijn in de andere warmte-opwekkers die staan opgesteld (WKK en ketels) waarvan de bedrijfsvoering sterk afhankelijk is van de momentane tarieven op de energiemarkt. Bovendien is er geen vaste verhouding qua ontwerpvermogens van de warmtepomp en de overige opwekkers en is ook het elektraverbruik voor bijvoorbeeld belichting van invloed op de totale energiebehoefte.

Desalniettemin is een hoge COP van de warmtepomp een belangrijke voorwaarde om tot gunstige specifieke verbruikscijfers te komen.

4.3.4 Overige aspecten (met invloed op de energieprestatie)

- Invloed WKK in relatie tot warmtepompen
  Bij een aantal bedrijven wordt de warmte geleverd door zowel warmtepompen als warmtekrachtaggregaten. Het grote voordeel voor de bedrijfsvoering is dat er kan worden gestuurd op energiekosten: op momenten dat de elektriciteit duur is draait de

gasmotor-WKK voorop en wanneer de elektriciteit minder kost is vooral de warmtepomp in bedrijf. Wanneer een gasmotor-warmtekracht wordt uitgeschakeld ten faveure van een warmtepomp, heeft dit slechts een beperkte invloed op de nationale energiebesparing (afhankelijk van de uitgangspunten en de stand der techniek is de invloed licht positief of negatief, zie ref [1] en [2]. Naarmate de technologische en verwachte marktontwikkelingen vorderen, loont het -zowel qua energiebesparing als bedrijfseconomisch- meer om warmtepompen (meer) in te zetten. Daarnaast zal een stijgende gasprijs leiden tot een lagere inzet van WKK. Voor de gekoelde teelten is toepassing van WKO en warmtepompen sowieso zinvol in het kader van energiebesparing op nationaal niveau.

- Warmtelevering aan buren
  Door enkele bedrijven is aangegeven dat (mogelijk toekomstige) warmtelevering aan naastgelegen collega-tuinders van belang is voor de rentabiliteit, respectievelijk de rentabiliteit van de duurzame energieopwekking sterk zou verbeteren. Warmtelevering aan de buren kan ook een oplossing zijn voor bedrijven waarvan de WKO een structureel thermisch overschot vertoont.
  In dat kader wordt door enkele bedrijven ook de mogelijkheid van collectieve warmtevoorziening op basis van aardwarmte onderzocht.
- Koeltorens
  In een enkel bedrijf worden koeltorens toegepast voor het laden van koude in de winter. Deze situatie is met name van toepassing op bedrijven waar de WKO vooral als energie-efficiënte koude-leverancier fungeert omdat de warmtebehoefte grotendeels en/of efficiënter qua kosten met WKK (in combinatie met belichting, zoals bij rozenteelt) ingevuld kan worden.

4.4 Financieel-economisch, business case en subsidies

Financieel zijn de projecten qua **investeringen en financiering** als volgt te karakteriseren (**vraag 36 en 42**):

- De tuinders geven aan totale investeringen in WKO-systemen en warmtepompen een range op van 250.000 - 3.000.000 EUR, maar er is sprake van zeer onvergelijkbare getallen
- 16x is sprake van bankfinanciering, 1x eigen financiering, 1x een kassen-lease-constructie en 1x van mix-financiering

Rol subsidies en business case

Als *hoofdreden om subsidie aan te vragen* voor hun WKO-project (**vraag 37**) noemen 10 tuinders het verbeteren van de rentabiliteit en/of haalbaarheid. Daarnaast noemen 5 tuinders als hoofdreden voor de subsidieaanvraag het afdekken van de innovatierisico's.

In **vraag 43 (en 44)** werden de tuinders ondervraagd over de **belangrijkste economische argumenten (vóóraf)** om te investeren in een WKO-installatie. Uit de uiteenlopende antwoorden zijn als belangrijkste (vaak teelt-specifieke) argumenten af te leiden:

- Toename productie en kwaliteit, hierdoor 'overall' beter bedrijfsrendement
- Koeling is een 'must' voor betreffende teelt

- Warmte en koude uit warmtepomp economischer en energetisch beter dan uit gas
- Betere stuurbaarheid teelt
- Kleinere capaciteit gasaansluiting
- Elektriciteitsprijs gunstiger/stabieler dan gasprijs
- Verlagen van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen, optimaal gebruik van dure LED-installatie, mogelijkheid tot uitbreiding in meerdere lagen teelt.
- Duurzaam produceren, minder gaskosten in de toekomst en innovatie
- 2x Beheersing/verlaging energiekosten
- Mogelijkheid van het creëren van onderlinge warmtenetten
- Energiebesparing, MVO en omdat er een MEI-regeling is, wordt het ook een verantwoord risico.

Op **vraag 38** (*Welke **meerkosten** heeft het project moeten maken om voor subsidie in aanmerking te komen (bijvoorbeeld kosten voor het inrichten van monitoring en/of kosten voor een bijzondere innovatie.)?*) antwoorden de tuinders als volgt: 6x geen, 4x hardware (WP, WKK, bronnen, hulppompen), 3x rapportage/monitoring/ vergunning, tijdbesteding voor subsidieaanvraag en rapportages en lopen de schattingen over de "meerkosten" uiteen van 12.000 EUR en 20.000 EUR.

Vraag 39 ging over de **business case** (*Is de business case gedurende de looptijd van het project positief zonder subsidies of heeft de business case een onrendabele top en is er subsidie noodzakelijk voor het doorgaan van het project?*) en leverde samengevat het volgende beeld op: 2x positief, 7x subsidie noodzakelijk door onrendabele top en/of wisselende omstandigheden zoals energieprijs, 1x matig, 2x niet bekend, 2x nee. Meer gespecificeerd waren de belangrijkste antwoorden (quotes):

- Het is goed dat de MEI subsidie er was om de hoge investering te financieren naast (tegelijk met) de uitbreiding van het bedrijf.
- Enkel op basis van energie niet. Met de uitbereiding wordt het naar verwachting veel beter. Teeltwinst geeft uiteindelijke doorslag.
- Met (huidige) gasprijs gedurende looptijd van het project heeft de business case een onrendabele top, bij hogere gasprijs niet.
- Zonder subsidie was een simpeler systeem economischer, en had dat de keuze geweest.
- Subsidie noodzakelijk, dit is ook veroorzaakt door de slechte prijzen van het product veroorzaakt door de zwakke markt (deze tuinder is inmiddels overigens failliet).
- Terugverdientijd zou te lang zijn. Vooral i.v.m. grillige en onzekere energiemarkt zijn te lange terugverdientijden een te groot risico.
- Het heeft een onrendabele top, maar is niet exact uitgezocht.

Opvallend is dat de tuinders voor zichzelf niet helder hebben hoe hun WKO-installaties (de business case) in kwantitatieve zin **economisch presteren** (**vraag 40**):

- 13 tuinders (54%) antwoorden dat de IRR van hun WKO hun niet bekend is
- slechts 2 tuinders geven een indicatie van de IRR: 1 tuinder geeft een terugverdientijd van ongeveer 8 jaar, 1 tuinder meldt een IRR van $\leq$ 10%.
- de overige tuinders beantwoorden deze vraag in het geheel niet.

Vraag 41 had betrekking op de "**economische robuustheid**" van WKO-systemen (*Wat hebben bijvoorbeeld onverwachte stijgingen van de energieprijzen en/of brandstofkosten voor effect?*). De vraag levert wederom tamelijk uiteenlopende antwoorden op, maar de teneur is dat onverwacht stijgende energie- en/of brandstofprijzen een positief effect hebben op het rendement van het WKO- systeem, omdat hiermee **flexibeler ingespeeld kan worden op de energiemarkt**. Bovendien is het besef aanwezig van een verminderde afhankelijkheid van (stijgingen van) aardgas(prijs). Men beseft ook dat stijging van de elektriciteitsprijs een ongunstige invloed heeft op rentabiliteit. De belangrijkste antwoorden op deze vraag zijn (quotes van tuinders):

- Minder kwetsbaar voor stijgingen van de gasprijs. Bij dalende gasprijzen uiteraard minder voordelig effect op de exploitatie. Bij elektriciteit andersom. Gebaseerd op de prognoses op het gebied van beschikbaarheid en prijzen van fossiele brandstoffen versus elektriciteit (overaanbod).
- Ik heb ongeveer 40% minder energie nodig dus als de prijs stijgt is dit voor mij ook niet leuk maar minder schokkend.
- Kan een positief effect op het rendement van het systeem hebben, omdat met de installatie flexibeler hierop ingespeeld kan worden.
- Dat we kunnen schakelen tussen gas en electra.
- Groot effect, alleen zonder investering zouden kosten nog meer stijgen.
- Stijgingen van energieprijzen hebben een positief effect op de rendabiliteit van de installatie.
- Elektra is goedkoper en warmte is duurder geworden en dus positief voor het project
- Gasprijsstijging maakt WKO interessanter.
- Uiteraard zakt rendement als stroomprijs stijgt.
- Dramatische gevolgen van de stijging van de electraprijzen.
- Altijd gunstig effect op warmtekosten.
- Werkt in het voordeel van de besparing.

In **vraag 45** vroegen we de tuinders naar hun perceptie van hun **totale energielasten van de WKO-installatie** in verhouding tot de energielasten bij een traditioneel referentiesysteem. Opvallend is dat 3 tuinders als antwoord "niet bekend" geven en dat 5 tuinders de vraag niet (kunnen) beantwoorden. De belangrijkste overige antwoorden over de energiekosten op een rijtje (quotes):

- In vergelijking met een referentiesysteem voor de teelt van Cress en de energieprijzen van 2012: €46.000 per jaar goedkoper
- Daar is nooit aan gerekend, wel aan het milieu en energetische rendement, zie het energiecertificaat.
- Ongeveer 40% minder energie met vergelijkbaar klimaat en belichting.
- Hoger, echter wordt dit goed gemaakt door betere opbrengsten en/of minder CO_2-verbruik.
- Elektra-input is bij WP en KWO circa 2 keer zo hoog
- De gasbesparing door inzet geoogste warmte (minus extra elektragebruik); 40% van de totale warmtevraag wordt ingevuld door de warmtepompinstallatie
- -45%
- 50%

- Directe energielasten zijn iets lager
- Lager
- Te hoog.

In **vraag 51** werden de tuinders uitgedaagd om na te denken over "De **gevoeligheid van het concept** bij een stijgende energievraag (economisch én technisch)? Hoe beïnvloedt dit de business case in het geval er wordt uitgebreid? Bijvoorbeeld het vergroten van het kasoppervlak, of (combinatie met) een andere teelt etc. En wat voor problemen zouden er kunnen optreden in technische zin?" Deze vraag ligt sterk in het verlengde van vraag 41 maar bleek een lastige vraag gezien de uiteenlopende interpretatie hiervan door de tuinders. Desalniettemin leveren de gevarieerde antwoorden wel interessante inzichten (quotes/visies van de tuinders):

- We hebben nog wat ruimte in de capaciteit dus uitbreiding is gunstig. Op dit moment zijn we bezig met uitbreiding wat ook een efficiëntieslag geeft op de installatie.
- Bij meer energievraag is nog 40% machinecapaciteit voorhanden, maar buffers zijn op huidige oppervlakte maximaal benut. Een andere teelt kan ook, maar geen enkele teelt stelt zulke hoge eisen aan verwarmingsvermogen. Dus is er veel sneller een warmteoverschot en kan (nog) minder WKK-vermogen opgewekt worden.
- Vergroting: koude-tekort. Wel is er een warmtelevering aan de buurman gerealiseerd.
- In mijn systeem is rekening gehouden met uitbreiding, maar niet onbeperkt.
- Momenteel positief i.v.m. warmteafzet
- Positief
- Specifiek geïnstalleerd voor deze teelt
- Lastig opschalen i.v.m. beperkte aquifer-capaciteit op de locatie
- Het project is toegesneden op de huidige bedrijfsomvang
- Investering in extra warmtepomp noodzakelijk
- Minder (…gevoelig…) dan voorheen
- Geeft beperkingen in de mogelijkheden
- Stijgende prijzen, stijgende lasten. Technisch moet er worden verzwaard bij vergroten van bedrijf
- Stijging geeft extra kosten. De business case is afhankelijk van alternatief zoals WKK
- Hoge gaskosten zijn in het voordeel van WKO, hoge stroomkosten zijn in het voordeel van WKK
- Stijgende electraprijzen zijn funest.

In **vraag 47** *("Is er sprake van **waardevermeerdering** door extra energiefuncties en/of stabiele energielasten?")* vroegen we de tuinders naar hun perceptie over de effecten van WKO-systemen op de waarde van het bedrijf. De tuinders interpreteerden deze vraag over het algemeen wat ruimer en antwoorden hierop als volgt:

- 6x onbekend/geen effecten
- 2x 'waarde verhoging' opstallen (in gezonde markt, maar er wordt nauwelijks getaxeerd)
- 2x spreiding in warmtebronnen, dus als 1 vorm van warmtebron uitvalt zijn er nog andere
- 1x zeker
- Ja, keuze inzet WP of WKC
- 1x stabieler klimaat

- 1x stabielere energielasten genoemd als 'waardevermeerdering'
- Ja, wij leveren warmte aan woonwijk Hoogeland
- door koeling worden betere proefresultaten behaald.

Overzicht antwoorden met betrekking tot financiële problemen (vraag 11)

- 15 van de 24 tuinders (63%) melden géén financiële problemen te hebben ondervonden rond de ontwikkeling en realisatie van hun WKO-project
- 3 tuinders melden wél financiële problemen en 1 tuinder 'een beetje': slechts 1 tuinder specificeert een en ander als een probleem met de bronnenboorder, deze heeft slechte kwaliteit geleverd en hiermee heeft de tuinder nog een discussiepunt
- Voor zover van toepassing geven 4 tuinders aan dat de financiële problemen zich hebben beperkt tot de beginfase (waaronder 1x de uitbetaling van de subsidie); slechts 1 tuinder ondervindt nog steeds financiële perikelen (met de bronnenboorder)
- Voor zover van toepassing geven 3 tuinders aan dat de financiële problemen blijvend zijn opgelost, 1 tuinder meldt dat dat nog steeds niet het geval is (dezelfde tuinder als bovengenoemd); bij 1 tuinder waren de financiële problemen na ingebruikname dusdanig dat hij zijn bedrijf moest verkopen. Deze tuinder heeft overigens niet gespecificeerd in hoeverre dit specifiek aan de WKO-installatie was te wijten.

4.5 Organisatorische aspecten, risico's en regelgeving

4.5.1 Organisatorische aspecten, gevoeligheden en risico's

Vragen 48 t/m 50 behandelden de organisatorische aspecten van de gerealiseerde WKO-projecten. ***Meestal is de tuinder zelf de initiatiefnemer én projectleider.*** In nauwe samenwerking met hem is de belangrijkste rol weggelegd voor de installateur van de WKO-installatie(s), soms is er een rol(letje) voor (een diversiteit aan) adviseurs, waaronder met regelmaat Flynth, IF Technology en Agro Adviesbureau. De exploitatie gebeurt in 18 gevallen door de tuinders zelf en nooit door derden of in consortiumverband. Het dagelijks beheer doet de tuinder in 17 gevallen zelf (voor zover ingevuld); 10x legt de tuinder zaken als onderhoud/storingen/ service en bijzondere situaties neer bij de leverancier/ installateur.

In **vraag 52** vroegen we de tuinders "*Hoe staat het met de **leveringszekerheden en -garanties**? Zijn er garanties afgegeven door de leverancier/adviseur?".* Opvallend is dat in 8 gevallen in het geheel géén garanties zijn verkregen van installateur/leverancier noch adviseur. Eén van deze 7 tuinders meldt daarbij dat dit zijns inziens ook niet nodig is omdat hij zélf regie voerde over het project. Daarnaast geven 3 tuinders in geen antwoord op deze vraag. De andere belangrijkste antwoorden op een rijtje:

- De technische garanties van de machines en LBK's zijn gehaald en gegarandeerd. De klimaatdoelstellingen zijn niet geheel gehaald en niet gegarandeerd.
- De bronnen waren na proefboring (!) gegarandeerd voor debiet.
- Onderhoudscontract koelmachines; wel vraagtekens over de levensduur LBK.

- Technische wel, energetische niet.
- Ja, garantietermijnen van 1 tot 5 jaar.
- 1 jaar garantie (gebruikelijk).
- Het economisch belang van de teelt is groter dan het risico van energiestijging.
- Beperkt (achteraf te weinig).
- Nee, maar deze is goed genoeg omdat we een dag-voorraadtank hebben gebouwd.

In **vraag 46** werd de tuinders gevraagd na te denken over *"Wat zijn **extra voordelen voor de bedrijfsvoering** (bijvoorbeeld arbo-klimaat: zomer & winter, inrichtingsvrijheid kas) ten opzichte van een referentie situatie?"* Deze vraag ligt qua antwoorden sterk in het verlengde van vraag 44. Een opsomming van de antwoorden op deze vraag:

- 8 tuinders noemden hierbij als voordeel de koelere kas in de zomer, waarbij 1 tuinder tevens een gunstiger Arbo-klimaat expliciet waardeerde als voordeel, maar wel als nadeel een hogere geluidsproductie noemde.
- 5 tuinders zijn van mening dat er geen sprake is van extra voordelen.
- 2 tuinders noemden een stabielere productie die beter te plannen is.
- "In bloei trekken van planten".
- 1 tuinder meldde meer flexibiliteit qua bedrijfsvoering.
- 1 tuinder noemde als voordeel het jaarrond ongeveer zelfde klimaat.
- 1 tuinder waardeerde als extra voordeel de lagere piekafname van aardgas. Deze tuinder kwalificeerde verder de diversiteit aan warmte-opwekkers met andere brandstof input als zijnde een "grotere zekerheid" voor zijn bedrijfsvoering. En hij schreef ook: "Niet onbelangrijk: maatschappelijk verantwoord door CO_2 -reductie = milieuvriendelijk".
- 1x LED-belichting kan naadloos worden geïmplementeerd in het systeem (waterkoeling). Luchtkoeling zorgt voor beter klimaat op tafelniveau.

Overzicht antwoorden met betrekking tot organisatorische problemen (vraag 10)

- 16 van de 24 tuinders (67%) melden géén organisatorische problemen te hebben ondervonden rond de ontwikkeling en realisatie van hun WKO-project.
- 1 tuinder zegt organisatorische problemen te hebben gehad door het faillissement van zijn installateur en het betrokken adviesbureau.
- 1 andere tuinder specificeert de organisatorische problemen als zijnde gekoppeld aan de datacollectie (monitoring) in verband met de vereiste rapportage aan de provincie.
- 1 tuinder tenslotte formuleert zijn organisatorische probleem als volgt: "*Warmtepompsysteem wordt geregeld door de leverancier van de warmtepompen. Klimaatregeling door de leverancier van de klimaatcomputer. Naast de problemen met het koppelen van beide systemen, hebben beide partijen ook vaak een andere visie."*
- Voor zover van toepassing deden de organisatorische problemen zich in 2 gevallen al voor tijdens de bouw, 2x tijdens de inregelperiode en 1x tijdens de garantieperiode.
- 4 tuinders rapporteren dat de organisatorische problemen (voor zover opgetreden) zijn opgelost, 1 tuinder zegt dat de problemen niet zijn opgelost en 1 tuinder meldt dat hij

het zelf heeft opgelost door zichzelf goed te verdiepen in zijn WKO-systeem en zélf beslissingen te nemen over de regeling.

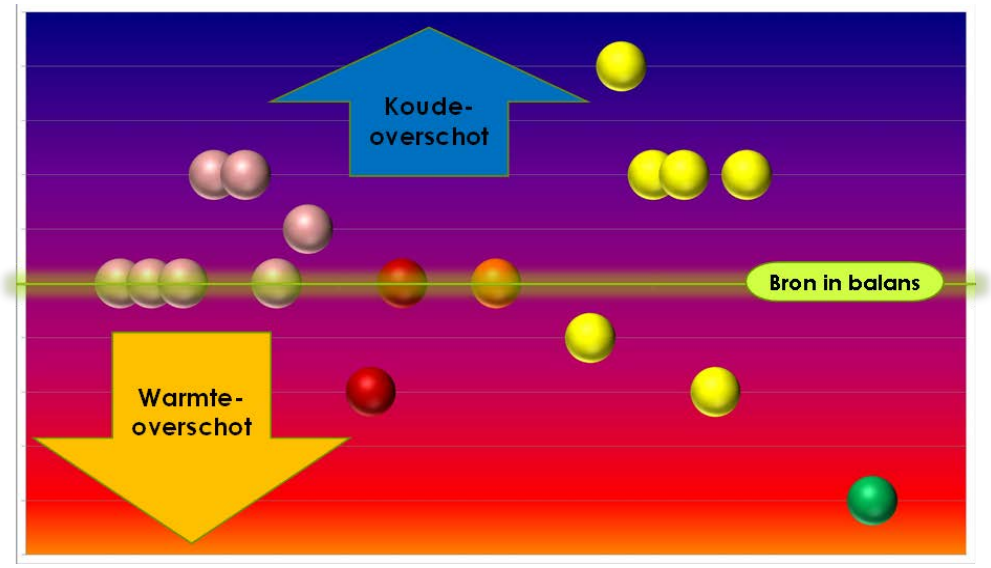
- de 4 tuinders met de opgeloste organisatorische problemen zeggen dat de gekozen oplossing een blijvende oplossing was.

4.5.2 Regelgeving

Vragen 27, 28 en 54 hadden betrekking op de regelgeving en vergunningen. Een van de belangrijkste aspecten daarin is de thermische en hydraulische balans die wordt vereist van WKO-installaties. Hier wordt hieronder nader op ingegaan.

Bronbalans

Door het bevoegd gezag (provincie) wordt via de vergunningverlening vastgelegd dat het WKO-systeem thermisch (en hydraulisch) in evenwicht moet zijn. Ondanks dat vrijwel alle telers zich hiervan bewust zijn, is er niet altijd sprake van bronevenwicht. Daarbij geldt verder dat een warmte-overschot in de bodem onacceptabel is voor de provincie en een koude-overschot meestal wel wordt getolereerd. Dit laatste is ook verankerd in de nieuwste regelgeving (AMvB Bodemenergie, van kracht per 1 juli 2013, waarin een koude-overschot – beperkt – is toegestaan, míts naburige WKO-systemen daar geen hinder van ondervinden). Uit de beschikbare informatie en analyses van de gegevens hebben we het volgende globale semi-kwantitatieve beeld van de relatieve onbalans van de verschillende systemen afgeleid:



Figuur 4.9: Kwalitatief beeld van het thermisch evenwicht van de bronsystemen

Let op: het gaat in deze figuur om “categorieën van relatieve onbalans” (in discrete stappen van 1 t/m 4), dus niet om de absolute onbalansen: hoe dichter bij de horizontale as in het midden van de figuur, hoe kleiner de relatieve onbalans. De kleuren van de bollen in figuur 4.9 corresponderen met de onderzochte teelten. De blauwe achtergrond geeft aan dat er een koude-overschot is in de bodem, hoe hoger de positie van de bol, hoe groter de relatieve afwijking van de balans is (koude-overschot). De rode achtergrond vertegenwoordigt een warmte-overschot, hoe lager de positie van de bol, hoe groter de relatieve afwijking van de balanssituatie is (warmte-overschot).

Er zijn zes bedrijven met een WKO die nagenoeg in balans is en verder zijn er meer bedrijven met een koude-overschot dan andersom. Alleen in extreme gevallen zal de provincie maatregelen eisen om het koude-overschot terug te brengen. Het gevolg van een koude-overschot is echter wel dat de COP van de warmtepomp(en) in de loop der jaren steeds slechter wordt bij een afkoelende bron. Het is dus in het directe belang van de tuinder zélf om tóch aandacht te besteden aan het handhaven van de balans teneinde oplopende elektriciteitskosten voor de WKO/warmtepomp te vermijden.

Er zijn vier (van de 17) bedrijven met een (beperkt tot groot) warmte-overschot. Hier zijn snel substantiële maatregelen vereist; geen actie zal uiteindelijk leiden tot het opleggen van boetes of zelfs het intrekken van de vergunning door de provincie. Mogelijk kan een oplossing voor de tuinders met de grootste (structurele) warmteoverschotten gevonden worden in de vorm van “doorlevering” van hun warmteoverschot aan nabijgelegen tuinders (“warmtelevering aan de buren”) met primair een warmtevraag (meervoudig brongebruik).

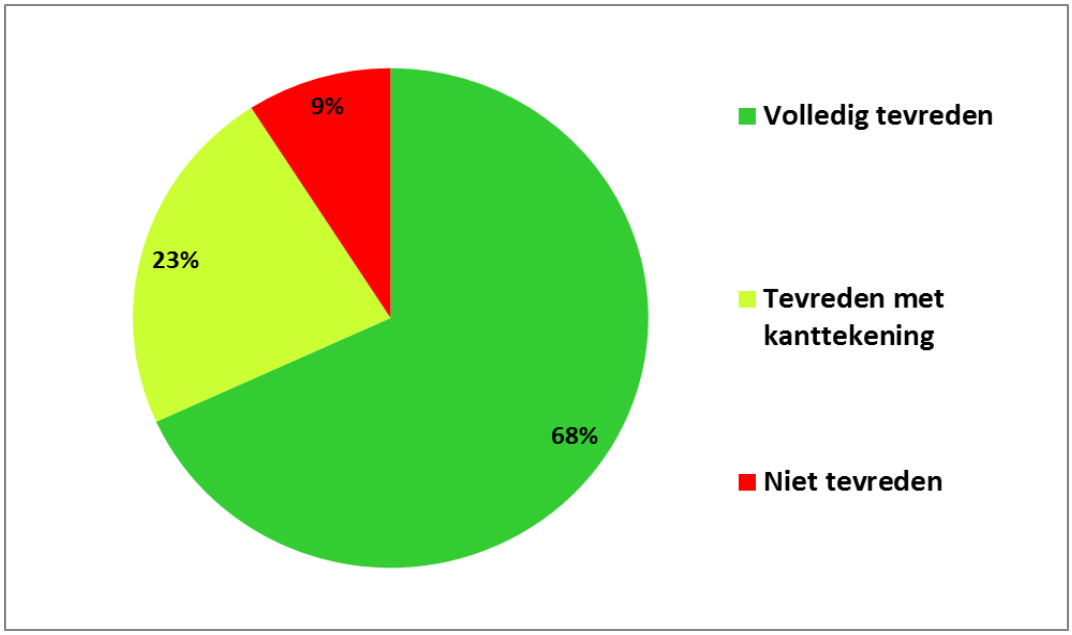
In paragraaf 5.2 bespreken we een aantal gedetailleerde monitoringgegevens aan de hand van de thermische balans van de bronnen bij een aantal tuinders.

Verplichte monitoring rapportages

Ten behoeve van de analyses zijn in het kader van dit onderzoek ook enkele rapportages van de verplichte monitoring voor de (Grond)Watervergunning (Provincies) en voor het certificeringschema Groen Label Kas ontvangen en bekeken. Daaruit blijkt dat hierin lang niet altijd de goede en/of vereist gegevens zijn opgenomen. Meestal worden wel de onttrokken en geïnfiltreerde debieten opgenomen, maar vaak ontbreken de gegevens over de onttrokken en toegevoerde energiehoeveelheden. Dit leidt tot een beperkt inzicht in de werkelijke energetische prestaties en thermische balans van veel WKO-systemen. Hoe de provincies qua handhaving omgaan met deze beperkingen van de verplichte rapportages is binnen dit project niet onderzocht.

4.6 Tevredenheid tuinders

Op vraag 14a (*Bent u overwegend tevreden over de KWO-installatie en zou u een volgende keer opnieuw kiezen voor deze oplossing?)* geeft het volgende beeld:



Figuur 4.10: Tevredenheid van de telers over het WKO-systeem

De "overwegend tevreden" tuinders met opmerkingen maken hierbij de volgende kanttekeningen (quotes; soms meerdere door dezelfde tuinder):

- ja, alleen zou de provincie (zij hebben het 1e watervoerende pakket op slot gegooid) verder moeten kijken dan hun neus lang is. Hierdoor worden extra hoge investeringen gevraagd, maar belangrijker nog zijn de problemen van slechte aquifers! Deze tuinder bevestigt in vraag 55 tevreden te zijn "op de bronnen na".
- Bij een project met een gesloten kas-deel waarbij teeltwinst te behalen is, de warmtepomp een deel is van de warmteopwekking en de gesloten kas een deel is van een totaal complex, zouden wij hier zeker weer voor kiezen.
- Overwegend tevreden. Volgende keer zouden we meer koelvermogen (LBK's) installeren in de kas.
- Ja, ik zou morgen weer zo'n installatie neerzetten. Wel in een geluidsomkasting, en toch kijken naar bemetering op de koude en warme zijden van de wp zelf.
- Tevreden over het project; tijd en techniek staan niet stil, dus een volgende keer zal het weer anders worden.
- Ja, echter capaciteit in volume is essentieel in het systeem. Hierin mogen geen misstappen gemaakt worden.
- Op zich wel tevreden over KWO, luchtdistributie in de kas moet anders.
- Overwegend tevreden, en volgende keer zeker weer. Hoewel financieren wel lastig zal blijven.
- Tevreden en zal het heel anders doen.
- Gelijk, maar alles beter meetbaar.
- In zomerperiode opgeladen daarna in orde.

De 2 ontevreden tuinders zijn vooral ontevreden omdat “de investeringen te hoog zijn geweest. Terugverdientijd is daardoor te lang” en omdat “het niet rond te rekenen is”.

Uit de antwoorden op ‘controlevraag’55 met dezelfde strekking komt hetzelfde beeld naar voren.

5. Verdieping

In het kader van dit onderzoek hebben we naast de enquêtes 3 verdiepingsslagen uitgevoerd, te weten:

- Verdiepingsslag 1: interviews met 5 tuinders
- Verdiepingsslag 2: interviews met 2 installateurs/leveranciers
- Verdiepingsslag 3: data-analyse uit monitoring WKO-bronnen.

5.1 Verdiepingsslagen 1 en 2: interviews met 5 tuinders en 2 installateurs

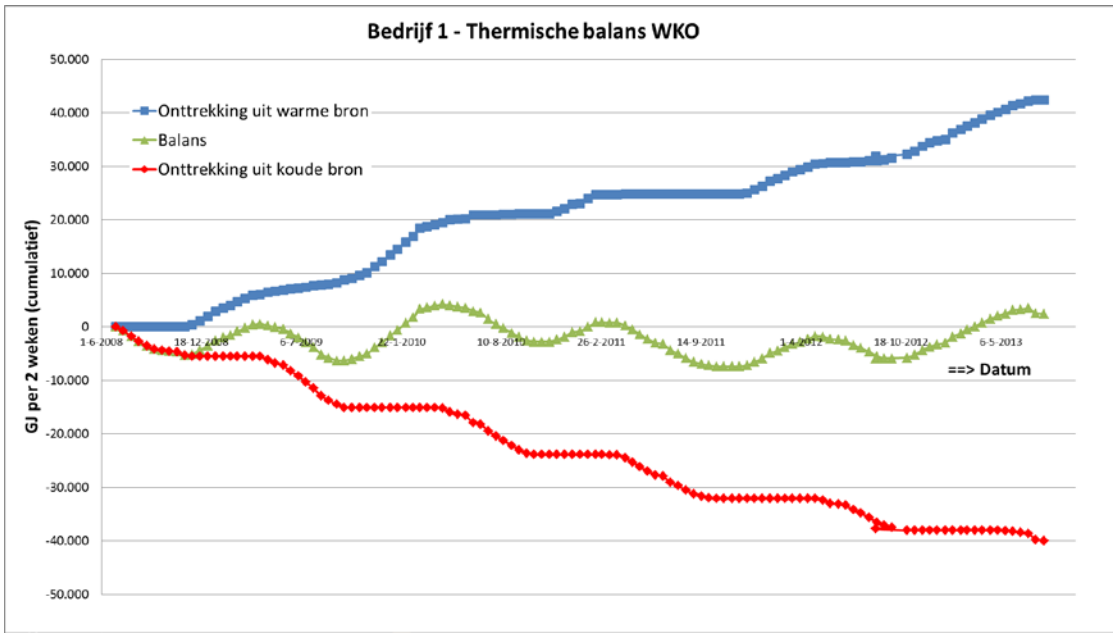
De verslagen van deze interviews hebben we –omwille van de leesbaarheid van de rapportage én om recht te doen aan de bereidwillige medewerking van de tuinders én installateurs- integraal opgenomen in bijlage 3 respectievelijk bijlage 4. Aangezien deze verslagen vrij uitgebreid zijn en veel nuttige informatie bevatten hebben we de essenties uit deze verslagen verwerkt in hoofdstuk 6 (‘lessons learned’) en hoofdstuk 7 (‘conclusies en aanbevelingen’).

In het vervolg van dit hoofdstuk geven we nader invulling aan verdiepingsslag 3: data-analyse uit monitoring van de WKO-bronnen.

5.2 Verdiepingsslag 3: data-analyse uit monitoring WKO-bronnen

Uit de rapportages die vereist zijn in het kader van de provinciale Waterwet-vergunning, zijn voor een aantal bedrijven gedetailleerde overzichten beschikbaar van de aan de bodem onttrokken en toegevoerde energiehoeveelheden. Uit de analyse van de monitoringgegevens hebben we in onderstaande grafieken enkele karakteristieke voorbeeldsituaties weergegeven van de bodembalans in drie praktijkgevallen.

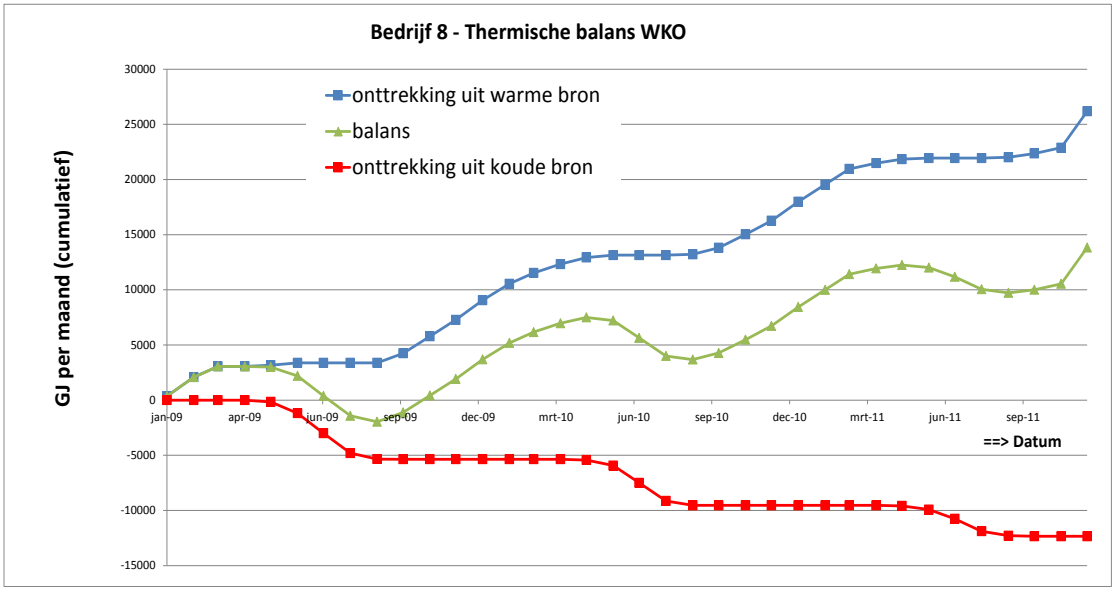
Bronnen in balans
De eerste grafiek (5.1) geeft de ideale situatie weer: de bron is (vrijwel) elk achtereenvolgend jaar in balans. In dit bedrijf wordt de inzet van de warmtepomp en de vrije koeling duidelijk gestuurd op het in evenwicht houden van de WKO-bronnen: na een periode met (blijvend) warmte-overschot (2011-2012), wordt meer warmte aan de bodem onttrokken (2013).



Figuur 5.1: Voorbeeld van een bedrijf waarvan de WKO in evenwicht is

Bronnen met een structureel koude-overschot

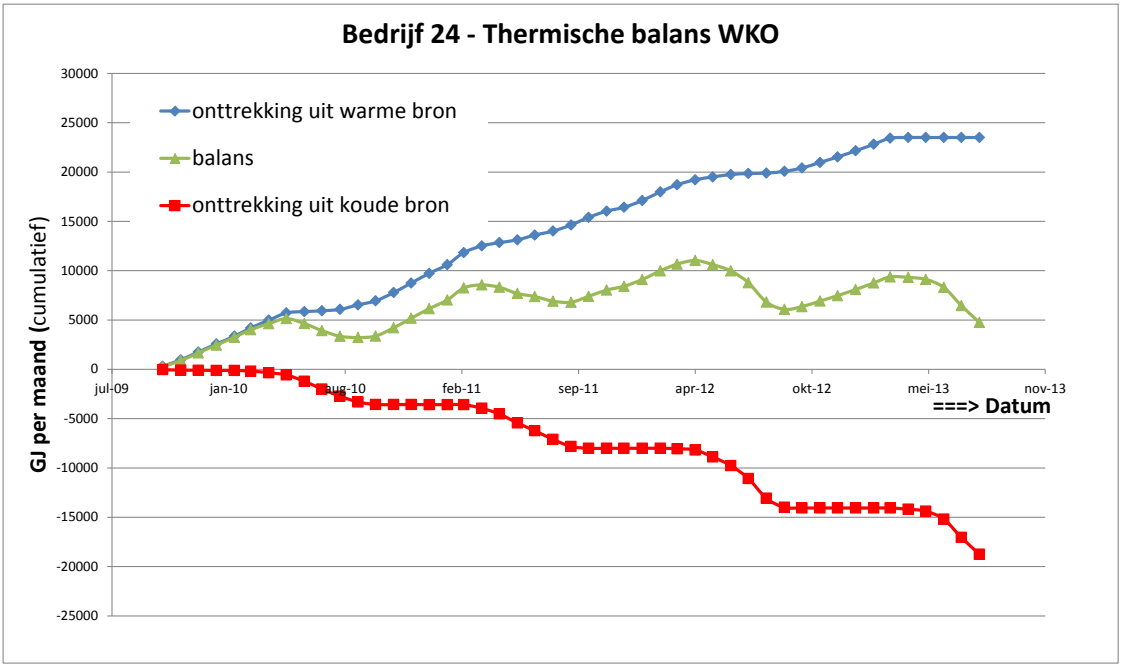
De situatie van koude-overschot, die veel voorkomt (zie paragraaf 4.5.2), is in de onderstaande grafiek (5.2) weergegeven. Bij dit systeem wordt elk jaar meer warmte uit de bodem gehaald dan er in wordt teruggevoerd. De temperatuur van de warme bron zal hierdoor niet of nauwelijks hoger worden dan de oorspronkelijke achtergrondtemperatuur van de bodem (circa 11 °C). Hierdoor kan de capaciteit van de opgestelde warmtepomp slechts gedeeltelijk benut worden met een COP die lager zal zijn dan voorzien in het ontwerp. Daarnaast kan de provincie bezwaar maken tegen een te grote afwijking van het thermisch evenwicht; het toestaan van koude-overschotten wordt tevens beoordeeld in relatie tot eventuele (hinder voor) naburige WKO-systemen.



Figuur 5.2: Voorbeeld van een bedrijf met een structureel koude-overschot

Oplossing bij een koude-overschot

Een van de orchideeën-telers heeft zijn teeltkeuze en bedrijfsvoering recent aangepast waardoor de koudevraag toeneemt. De wijziging van de koelvraag wordt doorgevoerd voor de helft van het bedrijfsoppervlak. Deze tuinder heeft aangegeven dat de ramen van de kas vaker en langer zullen worden gesloten. Hierdoor zal meer CO_2 in de kas blijven en wordt het warmer en vochtiger wat goed is voor de plantengroei. Omdat er minder warmte verdwijnt door open ramen, zal meer gekoeld moeten worden door middel van het WKO-systeem.
In de onderstaande grafiek is deze situatie weergegeven bij een ander bedrijf dat kort na de inbedrijfstelling hiermee te maken kreeg en sneller en al eerder maatregelen nam om de energiebalans in de bodem te herstellen.



Figuur 5.3: Voorbeeld van een bedrijf met koude-overschot, gevolgd door herstelmaatregelen

Bronnen met een warmte-overschot

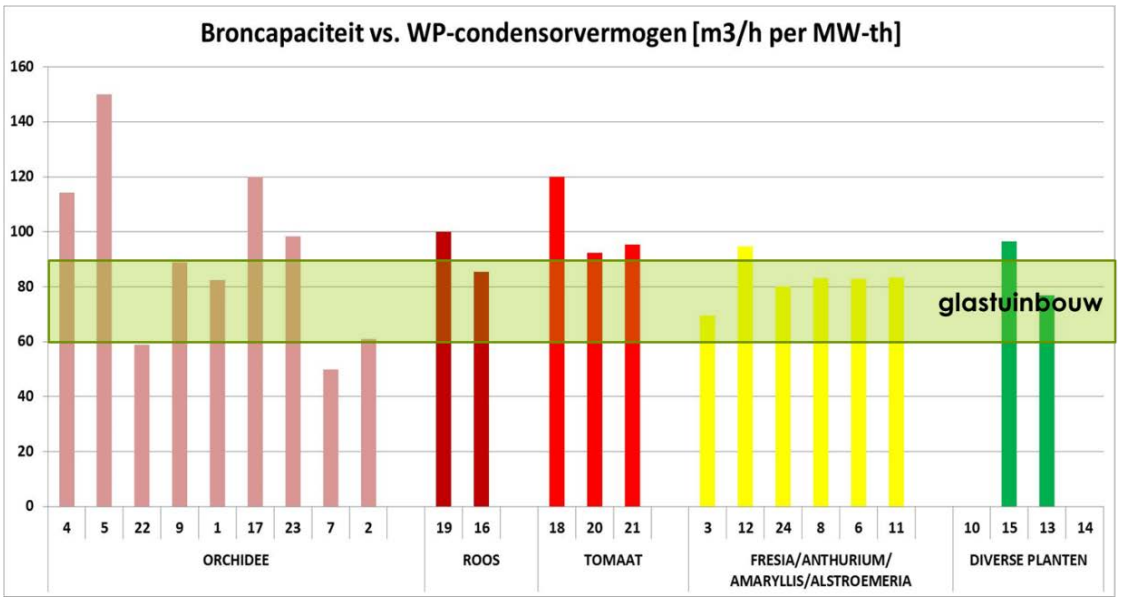
Van de bedrijven met een structureel warmte-overschot waren geen meerjarige gegevens beschikbaar. In deze situatie lijkt het ogenschijnlijk eenvoudig dit op te lossen door de warmtepomp in de winterhelft van het jaar meer warmte te laten leveren.
Praktische problemen die zich daarbij voordoen zijn:

- De warmtepomp wordt regeltechnisch “weggedrukt” door een andere warmteleverancier (WKK of piekketel);
- Het inzetten van WKK (in combinatie met belichting, CO_2-dosering en de variaties van de APX) is voordeliger.

In een enkele situatie wordt de (te veel) opgeslagen bodemwarmte in de winter afgevoerd met koeltorens (koude laden).

Optimale brondimensionering

In figuur 5.4 hebben we de broncapaciteiten van de onderzochte projecten gerelateerd aan het condensorvermogen van de warmtepompen, uitgedrukt in m^3/h per MW_{th}.



Figuur 5.4: Toegepaste broncapaciteit in relatie tot het warmtepompvermogen

De groene arcering geeft aan in welke range de **optimale broncapaciteit** bij WKO's in de glastuinbouw zich bevindt: deze bedraagt circa 60 tot 90 m^3/h per MW_{th} aan warmtepompvermogen. Hierbij zijn we uitgegaan van een optimaal temperatuurverschil van 8-12 graden over de bron-TSA bij vollast na enkele jaren goed uitgevoerde bedrijfsvoering. In de figuur is duidelijk te zien dat het merendeel van de systemen zich in het optimale gebied bevindt.

Uitschieters naar boven zijn de systemen 4, 5, 17 en 18, hier is sprake van een (veel) te grote bron, hetgeen resulteert in moeilijk deellastgedrag en/of te kleine temperatuurverschillen tussen warme en koude bron. Dit heeft een instabiele bedrijfsvoering (o.a. pendelgedrag en op- en afregelen) tot gevolg met een extra elektriciteitsverbruik en onvolledige benutting van de broncapaciteit.

Een uitschieter naar beneden is systeem 7, hier is sprake van een te grote warmtepomp, die nooit op vol vermogen kan draaien. Dit resulteert in een lagere energiebesparing dan volgens ontwerp mogelijk zou zijn geweest.

5.3 Verschil tussen glastuinbouw en utiliteitsbouw (en woningbouw)

Tijdens de interviews kwam een aantal belangrijke verschillen aan het licht tussen de marktstructuur en prijsvorming tussen de glastuinbouw en de markt van de utiliteitsbouw. Deze verschillen hebben naar alle waarschijnlijkheid invloed op de kwaliteit van de gerealiseerde WKO-projecten. Mogelijk vormen ze derhalve een verklaring voor de

geconstateerde verschillen in klanttevredenheid over en prestaties van de WKO-installaties in deze beide sectoren.

In de eerste plaats valt het **grote prijsverschil** op tussen de WKO-installaties in de glastuinbouw en die in de utiliteitsbouw. In de glastuinbouw zijn de investeringskosten van installaties (met name de WKO-bronnen) gemiddeld bijna 2x lager dan in de utiliteitsbouw.

In de tweede plaats zien we dat de **toegepaste broncapaciteiten** in de utiliteitbouw significant hoger zijn dan die in de glastuinbouw, waar de bronnen krapper (danwel optimaler) worden ontworpen en gerealiseerd. Waar de gemiddelde broncapaciteiten in de glastuinbouw typisch tussen de 60-90 m^3/h per MW_{th} aan warmtepompvermogen liggen, liggen ze in de utiliteitsbouw eerder tussen de 90-120 m^3/h per MW_{th} aan warmtepompvermogen, oftewel zo'n 30 tot 50% hoger.

In de derde plaats bestaat er een groot verschil tussen de **marktstructuren en relaties** tussen adviseurs/installateurs/ leveranciers enerzijds en opdrachtgevers/investeerder anderzijds:

- De tuinder is zélf opdrachtgever én tegelijkertijd toepasser/eindgebruiker van de techniek: de opdrachtgevende tuinder legt weliswaar veel verantwoordelijkheid voor het welslagen van de WKO-installatie (dit is voor de tuinder met name goed en direct afmeetbaar aan het gerealiseerde teeltklimaat) bij de installateur, maar neemt daarnaast ook zijn eigen aandeel qua verantwoordelijkheid en aansturing van de leverancier. Doordat in de utiliteitsbouw in de ontwerp- en bouwfase meestal sprake is van een strikte scheiding tussen de opdrachtgever (bijvoorbeeld de vastgoedbelegger en/of pensioenfonds) en de uiteindelijke gebruiker/huurder van het gebouw, is in dit marktsegment een goede interactie tussen partijen (met name tussen eindgebruiker en leverancier) meestal niet mogelijk. Comfortproblemen voor de mensen in het gebouw zijn vaak ook nog 'subjectiever' en komen –net als tegenvallende energieprestaties- vaak pas veel later aan het licht.
- Daarnaast zijn de relaties tussen de vraagkant (tuinders) en de aanbodkant (leveranciers) in de glastuinbouw veel nauwer dan in de utiliteitsbouw. De meeste leveranciers/installateurs hebben hun vestigingen in dezelfde regio als hun klanten, de tuinders. Bovendien hebben veel (WKO-)installateurs in de glastuinbouw hun 'roots' ook in de sector zelf zitten (familiebedrijven) en hebben ze daardoor een meer historische binding met hun klanten.
- In de utiliteitsbouw is de functie van (installatie)adviseur en leverancier/installateur/ aannemer in de meeste gevallen strikt gescheiden. In de glastuinbouw is de installateur (degene die de installaties realiseert) in de meeste gevallen ook als adviseur actief in de sector.
- Door de scheiding van advisering en realisatie in de utiliteitsbouw wordt het ontwerp van de technisch adviseurs vaak nog eens dunnetjes overgedaan door de installateurs, ligt de verantwoordelijkheid meer verdeeld en zijn partijen moeilijker op hun verantwoordelijkheid aan te spreken (bijvoorbeeld tot het maximum van de opdrachtsom van de advieskosten).

Door deze verschillen in marktstructuur lijkt het erop dat de leveranciers/installateurs in de glastuinbouw veel meer verantwoordelijkheid nemen voor hun 'product' (systeem) dan in de

utiliteitsbouw. Als er problemen optreden met WKO-installaties worden deze in de glastuinbouw net zolang aangepakt tot deze naar (redelijke) tevredenheid van beide partijen zijn opgelost. Tuinders verwachten dit ook van hun leveranciers en in een optimale situatie van samenwerking profiteren beide partijen daarvan in de vorm van kennisopbouw door sterk te leren van elkaars opgedane ervaringen.

In een minder optimale situatie komt het wel voor dat de tuinders hun probleem 'over de schutting' gooien bij de installateur/leverancier die het maar moet zien op te lossen. Dit speelt vooral daar waar de kennis/dienstverlening verder geen geld mag kosten. Dit laatste leidt vaak tot verlieslatende projecten voor de oplossingsgerichte aanbieders, die met het oog op hun goede naam en eergevoel toch goed draaiende WKO's willen opleveren. Het risico daarvan is dat tuinbouw-specifieke installateurs neigen te stoppen met "gratis" advisering en realisatie van WKO-projecten (teveel weinig rendabele 'hobbyprojecten').

Alles overziend krijgen tuinders op WKO-gebied derhalve veel 'waar voor hun geld' en vermoedelijk meer kwaliteit dan in de utiliteitbouw. Dit geldt des te sterker als ze er zelf ook de tijd en aandacht in steken in de interactie met hun leveranciers (en monitoring!) om te komen tot optimaal functionerende WKO-installaties. Kortom: in de glastuinbouw worden goedkopere WKO-projecten gerealiseerd met tóch een betere kwaliteit en performance dan in de utiliteitsbouw.

We zien in het utiliteitssegment overigens de laatste jaren steeds vaker grote installateurs optreden die de rol van ESCO op zich nemen en de WKO-installaties zelf na realisatie ook exploiteren. Dit werkt een kwaliteitsverbetering in de hand in de utiliteitsbouw, omdat deze ESCO-installateurs in de exploitatiefase zelf veel baat en belang hebben bij goed ontworpen en goed gebouwde WKO-installaties.

De leveranciers merken tenslotte op dat WKO-installaties veelal al rendabel zijn zonder subsidies, zeker bij de gekoelde teelten als Phalaenopsis. Zij stellen dat de subsidies omlaag kunnen en/of eigenlijk meer het karakter zouden moeten hebben van een **garantieregeling**: indien de WKO's functioneren en renderen zoals verwacht, zou (een deel van) de subsidie terugbetaald moeten kunnen worden aan de subsidieverstrekker. Dit naar analogie van de regeling voor projecten met diepere geothermiebronnen.

6 Lessons Learned en obstakels

In dit hoofdstuk geven we de alleen de antwoorden van de tuinders weer uit de enquêtes. In hoofdstuk 7 (Conclusies en aanbevelingen) behandelen we de meer specifieke en nader uitgewerkte “Lessons Learned” (ofwel Aanbevelingen) zoals die uit onze analyses en interviews met tuinders en leveranciers naar voren zijn gekomen.

In **vraag 53 en 54** werd de tuinders gevraagd na te denken over de **belangrijkste ‘lessons learned’** en aan te geven welke belangrijkste obstakels zij zijn tegengekomen tijdens de realisatie en bedrijfsvoering van hun WKO-project.

Een opsomming van de **belangrijkste ‘lessons learned’** (quotes van tuinders):

- WKO vraagt veel aandacht om in te regelen en zaken meetbaar te maken
- WKO is voor velen een onbekend terrein zonder veel ervaring; veel kinderziektes en aanloopproblemen; het blijft handbediening
- Bij WKO is afstemming op je energiebehoefte in de toekomst nodig en niet alleen je energiebehoefte op dit moment. Moeilijke daarbij is dat dat onder invloed van weer/klimaat en energiemarkt nogal fluctueert.
- Telen in een gesloten kas was nieuw. Hierin zit potentiële winst maar ook risico. Nog meer voorbereiding zou deze leercurve kunnen versnellen.
- Minimale LT-buffer plaatsen, betere mengkleppen toepassen op de warmtepomp. Beter nog 10% extra LBK vermogen installeren dan berekend, om meer toleranties in de installatie te kunnen accepteren; dit maakt het systeem robuuster.
- De zaken die bij andere projecten geleerd zijn kunnen relatief eenvoudig door installateur/leverancier doorgegeven worden aan de volgende gebruikers.
- Leerpunt is dat onbalans tussen warmte- en koude-behoefte groter is dan verwacht
- Dat je constant blijft leren en scherp moet letten op instellingen.
- “Kun je en koeling en verwarming goed zelf gebruiken, verder sterk afhankelijk van de teelt die men doet”
- Een gedegen “begroting” van de koelcapaciteit ontbrak, zowel teelt-technisch als in relatie met de WKO capaciteit. Pas na installatie zijn (noodgedwongen) andere bronnen van warmte aangekoppeld (o.a. oppervlaktewater, toekomstig koelcel).
- Dat een warmtepomp toch meer herrie maakt dan verteld was.
- Een nieuwe systeem alleen aanschaffen als het goedkoper is. Garanties vragen van leveranciers.
- Lang verhaal. Op alle fronten zou de 2e keer de insteek anders gaan.
- Wij hebben een te grote, te risicovolle stap in 1 keer gedaan. Het moet in kleinere stapjes.
- Je kan niet vroeg genoeg beginnen met het ontwerp, vergelijken met collega's, enz.

Een opsomming van de **belangrijkste ‘obstakels’** zoals ondervonden door de tuinders:

- 5 tuinders melden in het geheel geen obstakels te hebben ondervonden.

- Totale inpassing en inregelen. De benutting van laagwaardige warmte <45 graden blijft lastig en vraagt aandacht
- Medewerking van gemeente, afdeling milieuzaken
- Vergunning met termijnen. De MEI aanvraag met termijnen. Bestemmingsplan met termijnen. Dit geheel passend maken was lastig.
- De enorme hoge kosten van het systeem. In de bedrijfsvoering: de complexiteit van de totale bedrijfsinstallatie. Je moet duidelijk rekening houden met de warmte productie van de WP t.o.v. de WKK inzet/benutting.
- Overheidsinstanties die te traag werken
- 2 bronparen i.p.v. 1
- Het failliet gaan van bedrijven is altijd vervelend
- Zorg dat de aansturing van het systeem (warmtepomp en bronnen) goed op elkaar is afgestemd en juist communiceert met elkaar. Ik had daarin Hoogendoorn voor de klimaatcomputer, Beveco voor de automatisering van de bronnen en Van Zaal voor de water techniek. Er was bij mij wel van te voren een regel-/werkingsschema gemaakt wie welk deel doet, maar er ontstaan toch altijd nog weer vragen.
- Beperking tot 30 graden Celsius (red.: *bedoeld wordt injectietemperatuur de bodem in*) zou omhoog moeten.
- Informatie en betrouwbaarheid daarvan. Uitvoering en kennis van de techniek.
- Veel onkunde bij de leveranciers en adviseurs in 2005/2006.
- Provincie die het 1st watervoerende pakket op slot heeft gegooid.

7 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zetten we alle belangrijke conclusies en aanbevelingen op een rij zowel qua techniek, energieprestaties, organisatorische aspecten als op het vlak van financiën en regelgeving. Deze conclusies en aanbevelingen zijn ontleend aan onze analyses van de beschikbare (monitoring)gegevens, de enquêtes en de interviews met 5 tuinders en 2 leveranciers in combinatie met onze eigen kennis en ervaring.

Naast de hierna te bespreken specifieke conclusies zijn nog de volgende algemene conclusies te trekken:

- Het is opvallend dat de tuinders relatief weinig problemen rapporteren met betrekking tot hun WKO-installaties
- Voor zover de tuinders problemen rapporteren worden deze over het algemeen in een korte periode na de inbedrijfsstelling en in nauwe samenwerking met de installateur/leverancier opgelost
- De tuinders zijn voor 68% (zeer) tevreden met hun WKO-installaties en daarnaast plaatst 23% van de overige tevreden tuinders een enkele kanttekening bij hun tevredenheid
- 9% van de tuinders zegt ontevreden te zijn met hun WKO-installatie
- Veel tuinders zeggen ook bij een volgend project opnieuw WKO te zullen toepassen.

7.1 Techniek

Brondimensionering

De broncapaciteit is bij de meeste van de onderzochte bedrijven goed bemeten uitgaande van de definitieve bedrijfsomstandigheden.

Dit betekent enerzijds dat er niet onnodige grote bronnen worden aangelegd en dat de beschikbare financiële middelen optimaal worden besteed. Daarnaast heeft een goed gedimensioneerde bron het voordeel van een betere regelbaarheid. Anderzijds betekent dit dat de bron bij de inbedrijfstelling vaak wat te klein is om meteen het gewenste vermogen te leveren: omdat er nog geen koude- en/of warmte-voorraad is ontwikkeld, is het temperatuurverschil tussen de warme en koude bron in eerste instantie te klein. De eerste één à twee jaar beperkt dit dus het koelvermogen in de zomer en verwarmingsvermogen in de winter.

Bij een enkel project constateren we dat de bronnen écht te krap zijn bemeten in relatie tot de koelbehoefte en in relatie tot het opgestelde warmtepompvermogen. Te weinig koelvermogen van de bronnen betekent dat er vooral ’s zomers minder warmte in de bodem kan worden geladen voor gebruik via de warmtepomp in de winter. Te weinig warmteleverend vermogen van de bronnen resulteert in het niet op vol vermogen kunnen draaien van de warmtepomp(en).

Relatie met de utiliteit

In de utiliteit spelen enkele andere aspecten dan in de glastuinbouw: het koelvermogen moet van het begin af aan, oftewel direct bij oplevering van het gebouw, “voldoen aan de

bestekseisen” qua comfort voor de gebruikers en de koelbehoefte is met meer en/of grotere veiligheids-/ onzekerheidsfactoren bepaald. Waar de bronnen in de utiliteit mede daardoor (te) ruim zijn gedimensioneerd, zijn deze in de glastuinbouw meestal optimaal gedimensioneerd.

Kleppen

Bezuinig niet op de kwaliteit van de bronkleppen.

Bronkleppen zijn een veel voorkomende oorzaak van storingen omdat ze erg gevoelig zijn voor vervuiling. Bij gebruik van meer dan één doublet treedt vaker het ongewenste effect van een ongelijke verdeling van de debieten over de verschillen bronnen op. Door één leverancier zijn speciale kleppen en bijbehorende regeling ontwikkeld om dit probleem te voorkomen. Daarnaast is het ook van belang de terug-regeling tot een laag debiet (10% van nominaal) mogelijk te maken. Hiermee wordt een stabiel deellastbedrijf gerealiseerd.

Regeltechnische koppeling

Voor de besturing van het WKO- en warmtepompsysteem is het belangrijk de signalen uit de klimaatcomputer met de nodige demping en vertraging door te geven.

Veel tuinders geven aan grote problemen te hebben gehad met de koppeling van de klimaatcomputer aan de besturing van de WKO-warmtepomp-installatie. De signalen (m.n. temperatuur, relatieve vochtigheid) uit de klimaatcomputer wisselen sterk (afhankelijk van het buitenklimaat, met name onder invloed van zoninstraling en wind) en leiden tot een onrustig gedrag van de warmtepompen (en de andere warmte-opwekkers); dit onrustige gedrag treedt vervolgens ook bij de bronnen op. Door deze signalen niet momentaan door te geven voor de besturing van de opwekinstallaties maar er via een ‘middeling’ van het meetsignaal over een iets langere tijdperiode een zekere buffering/demping in aan te brengen, wordt deze ongewenste instabiliteit van de regeling voorkomen.

Ook de fysieke koppeling (interface) van de klimaatcomputer en de besturing van de opwekinstallatie levert regelmatig voorkomende problemen op en heeft bij twee telers zelfs geleid tot jarenlange problemen.

Hydraulische inpassing-schakelbuffers

Zorg voor toepassing van schakelbuffers bij de warmtepomp

Een schakelbuffer aan de warme zijde van de warmtepomp is noodzakelijk om te voorkomen dat de warmtepomp gaat pendelen bij een warmtevraag die lager is dan het laagste deellastvermogen van de warmtepomp en bij snelle wijzigingen in de warmtevraag en/of bedrijfstoestand. Een pendelende warmtepomp kan niet efficiënt warmte en/of koude leveren en heeft door het vele aan- en uitschakelen een COP die ver onder de specificaties ligt. Een schakelbuffer aan de koude zijde van de warmtepomp heeft dezelfde stabiliserende functie.

De buffers dienen parallel aan de condensor respectievelijk verdamper van de warmtepomp ingepast te worden.

7.2 Energieprestatie

Dimensionering bronnen (figuur 5.4)

Dimensioneer de bronnen op een temperatuurverschil van 8 tot 12 graden.

Een optimale range voor de broncapaciteit in relatie tot het condensorvermogen van de warmtepomp(en) bedraagt bij deze temperatuurverschillen 60-90 m^3/h per MW_{th}. Bij een te kleine bron schakelt de WP te vroeg af om bevriezing te voorkomen door de te ver dalende verdampertemperatuur; de bijdrage van de WP aan de warmtevraag blijft dan nodeloos beperkt. Een te grote bron resulteert in een te klein temperatuurverschil tussen de bronnen waardoor de opslagtemperatuur van de koude bron te hoog blijft en van de warme bron te laag. Daarnaast is bij het terug-regelen de minimale capaciteit van de bronpompen eerder bereikt waardoor onnodig pendelgedrag optreedt.

Uiteraard dient bij dit alles rekening gehouden te worden met de nodige randvoorwaarden: met name het temperatuurniveau waarop de warmte 's zomers uit de kas beschikbaar is, speelt hierbij een belangrijke rol evenals het gebruik van de koude bron als condensorkoeling voor de warmtepomp.

Ontwerpvermogen warmtepomp (figuur 4.4)

Kies de warmtepomp niet te klein.

Met circa 50% van het maximale benodigde vermogen kan circa 90% van de jaarlijkse vraag woorden geleverd. De hogere WP-vermogens per hectare (figuur 4.4) leveren de hoogste besparingen (lager specifiek verbruik in m^3 AEq per m^2; figuur 4.8), mits de bronnen optimaal zijn gedimensioneerd. Deze trend is met name waarneembaar bij de 9 orchideeëntelers. Hierop zijn twee uitzonderingen:

- bij één teler levert de bron slechts 50% van de ontwerpcapaciteit
- bij een andere teler is de bron te klein ten opzichte van de warmtepomp en is ook de hydraulische inpassing en regeling van de warmtepomp niet optimaal.

COP warmtepomp (figuur 4.7)

Er is geen duidelijke correlatie tussen de COP van de warmtepomp bij warmtelevering en het totale energieverbruik. Dit is ook logisch omdat er naast de diversiteit van warmtepompen ook verschillen zijn in de andere warmte-opwekkers die staan opgesteld (WKK en ketels) waarvan de bedrijfsvoering sterk afhankelijk is van de momentane tarieven op de energiemarkt. Bovendien is er geen vaste verhouding qua ontwerpvermogens van de warmtepomp en de overige opwekkers en is ook het elektraverbruik voor bijvoorbeeld belichting van invloed op de totale energiebehoefte. Desalniettemin is een hoge COP van de warmtepomp een belangrijke randvoorwaarde om tot gunstige specifieke verbruikscijfers te komen.

Bij de beoordeling van de COP is het van belang dat de leverancierssspecificaties passen bij de daadwerkelijke gebruiksomstandigheden zoals de afgiftetemperatuur in het verwarmingscircuit en de brontemperatuur in de winter.

Uit de inventarisaties volgt één bedrijf met een zeer hoge COP (6,7), deze is verklaarbaar vanwege de toepassing van NH_3 als koudemiddel.

Overigens zijn de gerapporteerde COP's gebaseerd op de verschillende berekeningsmethodieken van o.a. GLK, leverancierssspecificaties, praktijkmetingen van tuinders zelf, installateurs en/of adviseurs en daarom niet volledig 1 op 1 vergelijkbaar.

Ontgassing
Breng voldoende voordruk aan om ontgassing te vermijden

In grondwater zijn meestal diverse gassen opgelost (onder meer zuurstof, stikstof, methaan, kooldioxide). Bij het oppompen van grondwater daalt de druk op het water en kunnen deze gassen vrijkomen; dit leidt tot slechte doorstroming en blokkering van de bronnen.

Monitoring en regeling
Zorg voor voldoende monitoring en een goede regeling per bron

Een veelvoorkomende oorzaak van problemen bij WKO's zit in de broncapaciteit (te grote bronnen geven te kleine deltaT's; te kleine bronnen leiden tot slechtere prestaties van de warmtepomp). Een **op zichzelf staande monitoring én regeling per individuele bron** zorgt ervoor dat bronnen elkaar niet onderling beïnvloeden en maakt een optimale, 100% bronbenutting mogelijk. Monitoring behelst onder meer het meten van de individuele flows (wat gaat erin, wat komt eruit) en de kopdrukken van de bronnen. Bovendien zijn met een dergelijke individuele monitoring/onafhankelijke regeling alle bronnen constant voor 100% onder controle. Door deze aanpak is het ook mogelijk om in de glastuinbouw relatief 'krap gedimensioneerde bronnen' te realiseren. Dit leidt tot een behoorlijk kostenvoordeel bijvoorbeeld in vergelijking met WKO's in de utiliteitsbouw (zie ook paragraaf 5.3).

7.3 Organisatorisch

Voorlichting
Zorg voor goede technisch-inhoudelijke voorlichting bij het stimuleren van een innovatieve (energie)voorziening.

Veel tuinders beseften (zeker in de eerste jaren van de MEI-regeling) en/of beseffen (nog steeds) onvoldoende 'waarom' ze een investering doen in een WKO-installatie. Ze onderschatten welke impact een dergelijke innovatie heeft op hun bedrijf-kritische processen en welke aanpassingen dit in hun teeltwijze en bedrijfsfilosofie met zich meebrengt. Goede technisch-inhoudelijke voorlichting gebaseerd op de ervaring van gerealiseerde projecten bij tuinders die hun collega's zijn voorgegaan met investeringen in WKO-installaties kan de leercurve in de sector in hoge mate versnellen.

Integrale benadering
De toepassing van WKO vraagt om een integrale benadering van het totale klimaatsysteem; het besef dat de WKO een volwaardig en onlosmakelijk onderdeel is van de energievoorziening tot en met het afgiftesysteem én het teeltklimaat in de kas is essentieel voor de rendabele toepassing.

Visie van de leverancier:
Tuinders benaderen een WKO-installatie nog teveel als een gangbare energievoorziening zoals een ketel of een WKK: een energievoorziening 'aan de buitenkant' ("add on") van het bedrijf. Het besef dat bij WKO-installaties de regelstrategie van het integrale energieconcept én sturing van de bron (bodembalans!) een afstemming en optimalisatie vereist op de teeltomstandigheden ontbreekt veelal.

Visie van de tuinder:
Installateurs/leveranciers doen er goed aan om véél meer informatie te verschaffen over de werking van de warmtepompen en wat er nodig en belangrijk is om deze écht goed te laten functioneren. Nu leidde het gebrek aan informatie tot veel 'trial & error' bij de tuinder. En hoewel de tuinder een full-service contract heeft met de warmtepompfabrikant (Carrier) verwijst deze toch vaak naar de installateur bij problemen (systeem is de oorzaak).

Turn key opdracht
Geef opdracht aan één partij ("totaal-installateur") voor het gehele systeem van het bronnenboren t/m in ieder geval de warmtepomp(en) incl. de hydraulische en regeltechnische inpassing. Nog beter is het om ook de distributie- en afgiftesystemen voor verwarming en koeling in de totaalopdracht mee te nemen en de leverancier ook daarvoor verantwoordelijk te maken.

Tuinders hadden/hebben vanuit kostenoptiek nog wel eens de neiging om een WKO in delen op de markt te zetten, bijvoorbeeld door zélf de bronnen aan te besteden aan een bronnenboorder. Dan is een WKO-project niet meer in 1 hand en kan een installateur van de rest van de WKO-installatie vaak niet meer (zonder problemen) de integrale verantwoordelijkheid hiervoor op zich nemen.

Prestatieafspraken
Maak prestatieafspraken met de leverancier/installateur

"Koop een systeemprestatie in m^3/h in plaats van bronnen sec", spreek prestatiegaranties af voor de gehele WKO-installatie en leg die prestaties contractueel vast met de totaalinstallateur.

Gecertificeerde bronnenboorder
Kies een bronboorbedrijf dat de werkzaamheden volgens gecertificeerde kwaliteitsnormen uitvoert en zijn kwaliteit met uitgebreide referenties kan aantonen.

Proefboring
Een proefboring is van groot belang om vooraf de bodemopbouw te kennen en daarmee een verantwoorde inschatting van de beschikbare broncapaciteit te kunnen maken.

De bodemopbouw is grillig zowel in verticale als horizontale zin en lokaal erg inhomogeen: laat dus **altijd een proefboring uitvoeren** en wel zo dicht mogelijk bij de uiteindelijke locatie van de WKO-bron(nen)

Inbedrijfsstelling en nazorg
Met een goede overdracht vanuit de installateur/leverancier bij de oplevering en ondersteuning bij de "inleerperiode" kunnen een aantal kinderziektes worden voorkomen

Na de bouw en oplevering was er zelden of nooit een 'handleiding' beschikbaar en heeft het ook ontbroken aan instructies door de leverancier. Een van de tuinders drukte dat als volgt uit: "Voordat je auto gaat rijden, krijg je ook eerst les". Instructies en/of een handleiding hadden onnodig "vallen en opstaan" kunnen voorkomen danwel deze fase sterk kunnen verkorten. Daarbij beseft deze tuinder dat dit soort installaties in hoge mate 'maatwerk' is. Hij noemt dit een van de belangrijkste aandachtspunten qua nazorg door de installateurs/leveranciers.

De tuinder moet op 'dealer-niveau' in het besturings-/WKO-systeem kunnen inloggen om voldoende gebruik te kunnen maken van alle besturingsmogelijkheden die het systeem en de regeling te bieden hebben.

Onderhoud
Zorg voor regelmatig professioneel onderhoud van het totale systeem (incl. de bronnen).

Nazorg en administratie
Het is voor de tuinder zinvol om budget te reserveren voor nazorg en administratieve lasten

Tuinders laten de rapportages in het kader van de (G)WW-vergunning heel vaak over aan de leverancier/installateur. Het kost de installateur flink wat tijd om deze serieus uit te werken/rapporteren. Dit geldt bijvoorbeeld ook voor de beantwoording van de enquêtes in het kader van dit project, die vaak ook direct zijn doorgeschoven aan de installateur. Als de installateur daarvoor dan zijn personele kosten in rekening wil brengen bij de tuinder, zegt de tuinder 'ik doe het zelf wel'. Dat blijkt vaak niet bevorderlijk voor de kwaliteit van vergunningsrapportages of de beantwoording van deze enquête. Tuinders zouden er verstandig aan doen om voor de technische begeleiding bij (de bedrijfsvoering van) WKO-installaties een klein (kennis) budget te reserveren voor optimalisaties, calamiteiten en/of administratieve 'lasten' zoals de rapportages in het kader van de vergunningen.

Tijdsdruk
Neem geen overhaaste beslissingen onder druk van de planning en het productieproces

De tuinder zou een volgende keer meer tijd nemen qua afwegingsproces om beslissingen te nemen en zich minder laten leiden door de druk van de markt en zijn "productiedruk". Daarbij geldt het volgende algemene advies: bepaal vóórafgaand aan de opdrachtverstrekking grondig de kwaliteiten, ervaringen én de liquiditeit/solvabiliteit van de beoogde leverancier(s) ínclusief zijn onderaannemers om problemen als gevolg van liquiditeit/faillissement/levertijden te voorkomen.

Kennis en aandacht
Voor de tuinder is het van belang er bij de ontwikkeling en realisatie zelf bovenop te zitten en zelf als tuinder voldoende in de materie te verdiepen.

7.4 Financieel

Flexibiliteit energiemarkt
De gecombineerde toepassing van WKO/WP en WKK zorgt voor flexibiliteit in bedrijfsvoering

Een aantal tuinders past met succes zowel WKO/WP als WKK toe voor de warmtevoorziening. Dit betekent dat zij -afhankelijk van de momentane waarde van elektriciteit op de APX- zelf de hoeveelheid elektriciteitsinkoop (of verkoop) kunnen sturen die gepaard gaat met de gewenste warmteproductie.

Een leverancier speelt hierop in met een "anticiperende" regeling: het nauwkeurig kunnen bepalen van de vullingsgraad van de buffers zit in de regeling van deze installateur standaard ingebouwd. Dit maakt het mogelijk om op basis van de weersverwachting én de prijsontwikkeling op de energiemarkt 'day ahead' een vullings- en of ledigingstrategie vast te stellen voor de verschillende buffers alsmede de inzet van de productiemiddelen (wkk, warmtepomp, hulpketel) precies in te plannen. Dit leidt tot een optimale bedrijfsvoering met zowel goede economische prestaties als een maximale balans, stabiliteit en maximale flexibiliteit.

Doorlevering warmte = verbeteroptie business case en oplossing onbalans
Doorlevering van warmte aan derden verbetert de business case en kan oplossing zijn voor warmte-overschotten

De overtollige warmte uit de gesloten kas wordt bij een van de telers op het eigen bedrijf in zijn traditionele kassen benut. Daarnaast wordt ook nog overtollige warmte in de periode oktober-april doorgeleverd aan een belendend tuinbouwbedrijf zonder gasaansluiting. Bij extreme koude gaat voor deze doorlevering soms ook de piekketel aan om de warmtelevering te kunnen garanderen.

Mogelijk kan een oplossing voor de tuinders met de grootste (structurele) warmteoverschotten in hun bronnen gevonden worden in deze vorm van "doorlevering" van hun warmteoverschot aan nabijgelegen tuinders ("warmtelevering aan de buren") met primair een warmtevraag (meervoudig brongebruik). De ontvangende tuinder kan daarmee zijn gascapaciteit en –verbruik verlagen en dit kan zeker interessant voor hem zijn als zijn ketels aan vervanging toe zijn. De toepassing van deze vorm van duurzame energie wordt hiermee als vanzelf verbreid in de sector.

Beloning CO_2-reductie
Het invoeren van een objectief beloningssysteem voor de uitvoering van CO_2-reducerende maatregelen

Als 'grootste min' noemt een van de tuinders het gebrek aan financiële beloning (vanuit de sector en/of overheid) voor telers die minder CO_2 emitteren en daarmee de sector als totaal hebben geholpen onder het gezamenlijk afgesproken CO_2-plafond (Kyoto) te blijven. Voor betreffende tuinder betekende dit grofweg 50-60.000 EUR per jaar aan gemiste inkomsten vanuit de (niet-gerealiseerde) CO_2-emissiehandel (uitgaande van een historische CO_2-handelsprijs van 25 EUR/ton). Het gemiste voordeel bedraagt derhalve zo'n 1 EUR/ m^2 glas per jaar.

Subsidie nog nodig?
De subsidie op WKO zou niet meer nodig zijn voor gekoelde teelten

WKO in de glastuinbouw is volgens één installateur inmiddels nu zo betrouwbaar en 'onder controle' dat het ook zonder subsidies een aantrekkelijke business case voor vele tuinders zou kunnen zijn. Dit is weliswaar enigszins teeltafhankelijk, maar geldt vooral voor teelten waarbij koeling noodzakelijk is. Anderzijds is wel duidelijk uit de antwoorden van de tuinders dat subsidies ook een belangrijke rol spelen bij het verlagen van de risicoperceptie van de tuinders en om eventuele tegenvallers makkelijker op te kunnen vangen, zonder dat het bedrijf snel in 'zwaar weer' komt.

Verbetering productkwaliteit, opbrengstverhoging en productiesturing
WKO draagt vaak bij aan de productkwaliteit en productiesturing

De WKO heeft zeker bijgedragen aan een verbetering van de productkwaliteit en opbrengstverhoging. Door de mogelijkheid om 's zomers een lagere kastemperatuur in te stellen wordt de stuurbaarheid van de productie sterk vergroot. Dit helpt deze tuinder beter in te spelen op fluctuaties in de markt (handelsprijzen). De invloed op het ARBO-klimaat is beperkt omdat het meeste werk plaatsvindt in de loods en niet in de kassen (grotendeels geautomatiseerd).

Nog belangrijker dan energiebesparing is voor een andere tuinder de toegenomen productkwaliteit in combinatie met de leveringszekerheid daarvan en de mogelijkheid de productie (beter) te sturen: door toepassing van koeling blijkt het percentage grote rozenknoppen toe te nemen. Dát in combinatie met zijn grote teeltareaal zorgt ervoor dat deze tuinder **jaarrond de rozen met de hoogste productkwaliteit** kan leveren, waar andere rozentelers dat alleen maar gedurende bepaalde maanden in het jaar kunnen. Het product vertoont bovendien een betere houdbaarheid. Dit alles bezorgt de tuinder een forse verhoging van zijn opbrengsten. Koeling biedt deze tuinder naast een kwaliteitsvoordeel dus ook een belangrijk concurrentievoordeel.

7.5 Regelgeving (en aanpassing daarvan)

Regeldruk/bevoegd gezag
Het zou de toepassing van WKO enorm helpen wanneer de regeldruk van het bevoegd gezag kan worden verminderd.

De regeldruk van de Provincie rondom WKO's is volgens veel geënquêteerden en geïnterviewden de afgelopen 10 jaar drastisch toegenomen. Door de steeds lastiger (en soms onrealistisch geachte) geworden regeltjes van de Waterwet en de AMvB Bodemenergie kan bijvoorbeeld een WKO-bron vaak pas als laatste worden gerealiseerd. Tuinders en installateur wachten in tegenstelling tot vroeger dan ook met het realiseren van een WKO-installatie tot de vergunning voor de bronnen helemaal rond is. Dat leidt er wel eens toe dat een en ander niet (meer) binnen de bouwplanning van de tuinder past en een WKO alsnog niet kan worden gerealiseerd.

Een van de andere aanscherpingen qua regels is dat het water van de boringen niet meer mag worden geloosd op oppervlaktewater. Alles moet tegenwoordig via het riool worden afgevoerd. Dit kan een knelpunt vormen omdat de gemeente hieromtrent veel meer problemen maakt dan het Hoogheemraadschap (wordt onrealistisch geacht omdat de zoutbelasting in vergelijking met het pekelen in de winter relatief gering is). Bovendien brengt dit hogere kosten met zich mee.

De Provincie wil eigenlijk altijd bronnen in het 2^{e} of 3^{e} WVP. Realisering van bronnen in het eerste watervoerend pakket (1^{e} WVP) blijkt echter op basis van de praktijkervaringen heel goed mogelijk. De Provincie geeft onnodig weerstand hiertegen zelfs al zijn er in de wijde omtrek geen andere gebruikers van het 1^{e} WVP. De Provincie jaagt hierdoor tuinders onnodig op kosten bij de realisatie van WKO's (soms zit er op 120 meter diep nog geen zand van het 2^{e} WVP en moet er onnodig diep doorgeboord worden).

Vergunning Waterwet
Breng speelruimte aan in de vergunningaanvraag

De provincie heeft relatief 'moeilijk gedaan', omdat er (iets) diepere bronnen nodig bleken te zijn ten opzichte van de vergunningaanvraag. Dit kwam pas aan het licht tijdens de aanleg van de bronnen doordat de capaciteit kleiner bleek dan vooraf werd verwacht op basis van het bodemonderzoek. In het werk is vervolgens besloten dieper te boren zónder voorafgaande toestemming van de provincie. Een les hieruit is dat het verstandig is in de vergunningaanvraag in goed overleg met de provincie meer uit te gaan van een (wat ruimere) bandbreedte qua onttrekkings- en infiltratiecapaciteit en de diepte van de beoogde bronnen.

Overleg met Provincies
Gezien de in paragraaf 4.5.2 beschreven beperkingen in de verplichte rapportage in het kader van de (Grond)Waterwet verdient het aanbeveling om als aanvulling op dit onderzoek minimaal **de 2 belangrijkste provincies** met een relevant areaal glastuinders mét WKO te interviewen. Bij deze provincies is veel inzicht en kennis gebundeld over het reilen en zeilen van meerdere WKO-systemen. Zij kunnen in dit kader hun visie geven over het functioneren en de handhaving van WKO-installaties bij tuinders.
Tuinders kunnen op hun beurt dan hun behoefte ventileren dat de regelgeving met wat meer flexibiliteit en relativeringsvermogen wordt gehanteerd.

BIJLAGEN

1. **Lijst van geënquêteerde tuinders**

2. **Gehanteerde vragenlijst bij enquêtes**

3. **Verslagen van de interviews met de 5 tuinders**

4. **Verslagen van de interviews met de 2 installateurs**

5. **Literatuurlijst**

BIJLAGE 1: Lijst van geënquêteerde tuinders

In deze openbare versie van het onderzoeksrapport is deze lijst niet opgenomen.

BIJLAGE 2: Gehanteerde vragenlijst bij enquêtes

Vragenlijst tuinders in het kader van subsidieprogramma MEI (Milieu en Energie Innovaties)

Toelichting: **vult u a.u.b. de wit gekleurde cellen in. Achter de onderstaande vragen staan, indien van toepassing, de laatst bij ons bekende gegevens ingevuld in de kolom 'Laatst bekende gegevens'.**
Wij willen u verzoeken om deze gegevens te controleren. In het geval deze gegevens niet correct zijn, verzoeken wij u de correcte gegevens in te vullen in de kolom 'Werkelijke gegevens'.
Bij alle overige vragen verzoeken wij u uw antwoorden in te vullen in de kolom 'Werkelijke gegevens'. Indien er systeemschema's aanwezig zijn verzoeken wij u deze digitaal aan te leveren.

Nr.	Contactgegevens	Laatst bekende gegevens	Werkelijke gegevens	Toelichting op het invullen:
	Projectcode:	Registratienr MEI-regeling		
	Bedrijfsnaam:			
	Vestigingsadres en postcode:			
	Vestigingsplaats:			
	Naam contactpersoon:			
	Telefoonnummer contactpersoon:			
	E-mail contactpersoon:			
	Leverancier installatie:			

	Algemene vragen	Laatst bekende gegevens	Werkelijke gegevens	Toelichting op het invullen:
0	Op welk teeltoppervlak (m2) wordt KWO toegepast?			
1	Wat is de teeltsoort?			
2	Welke koelmethode wordt toegepast?			- LBK (koelbatterij in luchtbehandelingskast) - grond (buizen in de teeltaarde) - HD-bevochtiging - anders
3	Wordt er belichting toegepast?			Veel belichting / weinig belichting / geen belichting
4	Wat was de oorspronkelijke doelstelling van het KWO-project?			Bijv. energiebesparing, CO2-reductie, kostenreductie, innovatie, etc.
5	In hoeverre is deze doelstelling bereikt?			
6	Wanneer is bouw van het KWO-project gestart?			
7	Wanneer is het KWO-project opgeleverd (start inregelperiode)?			Dit is het moment dat uw project in bedrijf is gesteld maar nog niet geoptimaliseerd.
8	Wanneer is het KWO-project geaccepteerd (start garantieperiode)?			Dit is het moment dat u de installatie officieel in gebruik hebt genomen nadat deze ook geoptimaliseerd is.
9a	Zijn er technische problemen geweest tijdens dit of een eventueel vorig KWO-project? Zo ja, welke?			Ja, welke? / nee
9b	Tijdens welke periode hebben de problemen zich afgespeeld?			Bijvoorbeeld tijdens de bouw, de inregelperiode, of de garantieperiode.
9c	Zijn de problemen opgelost?			
9d	Is deze oplossing een blijvende oplossing?			
10a	Zijn er organisatorische problemen geweest tijdens dit of een eventueel vorig KWO-project? Zo ja, welke?			Ja, welke? / nee
10b	Tijdens welke periode hebben de problemen zich afgespeeld?			Bijvoorbeeld tijdens de bouw, de inregelperiode, of de garantieperiode.
10c	Zijn de problemen opgelost?			
10d	Is deze oplossing een blijvende oplossing?			
11a	Zijn er financiële problemen geweest tijdens dit of een eventueel vorig KWO-project? Zo ja, welke?			Ja, welke? / nee
11b	Tijdens welke periode hebben de problemen zich afgespeeld?			Bijvoorbeeld tijdens de bouw, de inregelperiode, of de garantieperiode.
11c	Zijn de problemen opgelost?			
11d	Is deze oplossing een blijvende oplossing?			
12	Welke doelen zijn niet bereikt? Waarom niet?			
13	Welke fall-back mogelijkheden zijn er toegepast?			Bijvoorbeeld de inzet van een ketel, WKK of luchtgekoelde koelmachine.
14a	Bent u overwegend tevreden over de KWO-installatie en zou u een volgende keer opnieuw kiezen voor deze oplossing?			Ja / nee
14b	En indien nee, waarom niet?			
15	Heeft het project prijzen en/of nominaties (bijv. bekers of andere prijzen) ontvangen op het vlak van duurzaamheid of innovatie?			
16	Kan het concept dat is toegepast binnen het project gemakkelijk gekopieerd worden?			Is het concept makkelijk op te schalen bij andere tuinders? Dat wil zeggen generiek toepasbaar.
17	Indien u meer dan één KWO-project hebt gerealiseerd, wat hebt u in latere project(en) anders gedaan dan de eedere?			Met andere woorden: wat waren de 'lessons learned' die konden worden toegepast?

	Vragen over techniek	Laatst bekende gegevens	Werkelijk gegevens	Toelichting op het invullen:
18a	Beschrijf het concept van de installatie.			
18b	Voor welke functies (verwarmen, koelen, ontvochtigen) wordt KWO (en de warmtepomp) toegepast?			Kunnen ook meerdere functies zijn.
19a	Wat is de totale capaciteit van de bronnen in m3/h grondwater?			
19b	Hoeveel bronparen (doubletten) zijn er geinstalleerd?			
19c	Wat is het elektrisch vermogen van de bronpompen (aantal pompen en vermogen per stuk) in kW?			
20a	Wat is de totale ***verwarmingscapaciteit*** van de warmtepomp(en) in kW condensorvermogen?			
20b	Wat is het beoogde aantal vollast uren per jaar van de warmtepomp(en) voor verwarming?			ontwerpgegevens uit bijv. een haalbaarheidsstudie
20c	Wat is het werkelijk aantal bedrijfsuren gedurende het laatste jaar?			gegevens van de machine-urenteller uit een logboek of onderhoudsrapport
21a	Worden er nog andere (duurzame) opwekkers toegepast voor de ***verwarming*** (basislast en/of pieklast)?			bijv. zonnewarmte, WKK, biomassa
21b	Wat is het verwarmingsvermogen van de WKK totaal? (indien van toepassing)			
21c	Wat is het verwarmingsvermogen van de ketels totaal? (indien van toepassing)			
21d	Indien er ook warmte uit zonnecollectoren wordt benut: wat is het oppervlak van de zonnecollectoren in m2?			
21e	In welke volgorde worden de opwekkers geschakeld? En wordt deze volgorde weleens aangepast?			Geef aan welke opwekker(s) in de basislast voorzien en welke worden bijgeschakeld in tijdens de pieklast.
22a	Wat is het ***koel*** vermogen van de KWO-bron			kan ook blijken uit het vermogen van de grondwater-warmtewissellaar (TSA) in koelbedrijf
22b	Zijn er nog andere opwekkers van koeling, en zo ja wat zijn de koelvermogens van deze opwekkers?			Indien de warmtepomp ook (piek)koeling levert, moet er een tweede TSA (grondwater) of een koeltoren aanwezig zijn.
22c	Wat is het beoogde aantal vollast uren voor koeling per jaar (ontwerpgegevens)?			ontwerpgegevens uit bijv. een haalbaarheidsstudie
22d	En wat zijn de werkelijke bedrijfsuren van de opwekkers voor koeling in het laatste jaar?			gegevens van de machine-urenteller uit een logboek of onderhoudsrapport
23	Zijn er principeschema's van de opwekinstallatie beschikbaar?			Zo ja en indien beschikbaar, deze bij voorkeur digitaal meesturen
24	Welke belangrijkste kinderziektes hebben zich voor gedaan en hoe is hier mee omgegaan?			

	Vragen over energie & milieu prestaties	Laatst bekende gegevens	Werkelijk gegevens	Toelichting op het invullen:
25	Wat is de beoogde energiebesparing in vergelijking met een 'referentie'-systeem?			In m3 gas equivalenten (beschikbaar uit bijv. een haalbaarheidsonderzoek)
26a	Wat is de gerealiseerde energiebesparing?			In m3 gas equivalenten
26b	Wat is het energieverbruik			SVP voor elektriciteit (kWh/jaar) en voor gas (m3/jaar) invullen.
27	Zijn de verdere effecten bekend ten aanzien van emissies / impact op de bodem, lucht, en oppervlaktewater? Hoe wordt dit vastgesteld?			Is er een milieueffectrapportage of ander onderzoek uitgevoerd? Door wie?

	Vragen over monitoring	Laatst bekende gegevens	Werkelijk gegevens	Toelichting op het invullen:
28	Zijn de periodieke rapportages voor de provinciale grondwatervergunning beschikbaar? Zo ja deze graag digitaal bijvoegen; zo nee,			
29	Wordt er (andere) informatie met behulp van monitoring verzameld?			hiermee bedoelen we eventuele andere systemen buiten de klimaatcomputer(s)
30	Welke informatie wordt er met behulp van monitoring verzameld?			bijv. geleverde warmte en koeling / andere energiegegevens / systeemtemperaturen en debieten / elektriciteitsverbruiken;
31	Met welk systeem wordt de monitoring uitgevoerd?			
32	Zijn de gegevens vanuit de monitoring toetsbaar?			Is vast te stellen dat de informatie uit de monitoring correct is? Bijvoorbeeld door het periodiek ijken van de meetinrichting en/of het uitvoeren van controlemetingen?
33	Zijn er data uit de klimaatcomputer(s) beschikbaar? Zo ja welke?			
34	Hoeveel energie gaat het systeem in?			Verbruik van elektriciteit, (bio)gas en/of inkoop van warmte.
35	Hoeveel energie komt het systeem uit?			Geleverde verwarming en koeling

	Vragen over economie	Laatst bekende gegevens	Werkelijk gegevens	Toelichting op het invullen:
36	Hoeveel bedroeg de totale investering in de KWO en warmtepomp (WP)?			
37	Wat is de hoofdreden om subsidie aan te vragen voor het project?			
38	Welke meerkosten heeft het project moeten maken om voor subsidie in aanmerking te komen?			Dit kan bijvoorbeeld zijn kosten voor het inrichten van een monitoring en/of kosten voor een bijzondere innovatie.
39	Is de businesscase gedurende de looptijd van het project positief zonder subsidies of heeft de businesscase een onrendabele top en is er subsidie noodzakelijk voor het doorgaan van het project			IRR = interne opbrengstvoet: gemiddeld rendement van de aanvangsinvestering gedurende de looptijd. In de regel is een project met een IRR > ca. 7% zeker rendabel, een project met een IRR < 5% heeft doorgaans een onrendabele top.
40	Is de IRR bekend?			
41	Economische robuustheid - Wat hebben bijvoorbeeld onverwachte stijgingen van de energieprijzen en of brandstofkosten voor effect?			
42	Op welke wijze is het project gefinancierd?			Eigen financiering, bankfinanciering, crowdfunding, ESCO, etc.
43	Wat zijn de belangrijkste economische argumenten om op een KWO-installatie over te gaan?			Bijvoorbeeld de toename van de productopbrengst en/of -kwaliteit.
44	Zijn er nog andere economische voordelen te benoemen voor collega tuinders die KWO extra aantrekkelijk maken voor de sector?			Bijvoorbeeld de toename van de productopbrengst en/of -kwaliteit.

	Vragen over de energie-afnemers	Laatst bekende gegevens	Werkelijk gegevens	Toelichting op het invullen:
45	Hoe verhouden de totale energielasten van de KWO-installatie zich tot de energielasten bij een referentie systeem?			Hier wordt gerefereerd aan een klassiek systeem (luchtkoeling / ketel / WKK).
46	Wat zijn extra voordelen voor de bedrijfsvoering (bijvoorbeeld arbo-klimaat: zomer & winter, inrichtingsvrijheid kas) ten opzichte van een referentie situatie?			
47	Is er sprake van waardevermeerdering door extra energiefuncties en/of stabiele energielasten? (indien van toepassing).			

	Vragen over de organisatie	Laatst bekende gegevens	Werkelijk gegevens	Toelichting op het invullen:
48	Projectorganisatie - Wie is de initiatiefnemer, wie is projectleider en welke partijen zijn in welke rol betrokken (geweest)?			Welke rollen zijn er geweest en wie deed wat? Bijvoorbeeld projectmanagement, installatiewerkzaamheden, etc.
49	Wordt de exploitatie zelf uitgevoerd, wordt dit door een enkele externe partij gedaan, of wordt dit binnen een consortium uitgevoerd? Indien consortium: wie zijn de aandeelhouders?			
50	Welke partij is verantwoordelijk voor het dagelijks beheer, storingen en onderhoud?			

	Vragen over de risicofactoren	Laatst bekende gegevens	Werkelijk gegevens	Toelichting op het invullen:
51	Wat is de gevoeligheid van het concept bij een stijgende energievraag (economisch én technisch)?			Hoe beinvloedt dit de businesscase in het geval er wordt uitgebreid? Bijvoorbeeld het vergroten van het kasoppervlak, of (combinatie met) een andere teelt etc. En wat van problemen zouden er kunnen optreden in technische zin?
52	Hoe staat het met de leveringszekerheden en -garanties? Zijn er garanties afgegeven door de leverancier/adviseur?			

	Vragen over de leerpunten: 'lessons learnt'	Laatst bekende gegevens	Werkelijk gegevens	Toelichting op het invullen:
53	Wat zijn de belangrijkste leerpunten uit het project? Zijn deze van technische / organisatorische of financiele aard? Hoe zouden 'aanlooproblemen / kinderziektes' een volgende keer kunnen worden getackeld?			
54	Wat zijn de belangrijkste 'obstakels' die u in de voorbereiding, leverancierselectie, de bouw en/of de bedrijfsvoering/exploitatie van de KWO hebt ervaren (zowel qua techniek, organisatie, financien, vergunningen, subsidieverlening, etc.)? Welke oplossingen ziet u voor deze obstakels?			
55	Bent u overwegend tevreden over de KWO-installatie en wat zou u een volgende keer anders doen?			

	Detailmonitoring (alleen icm klimaatcomputer)			
56	Hoeveel (hulp)energie wordt er verbruikt?			Dit is energie ten behoeve van hulpfuncties zoals pompen, etc.
57	Wat is het aandeel duurzaam opgewekte energie?			Energie opgewekt met niet-conventionele opwekkers, bijv. met KWO
58	Zijn er emissiemetingen beschikbaar? Wordt er monitoring op bodemeffecten uitgevoerd?			
59	Wat zijn de gemiddelde temperatuurniveau's (aanvoer / retour) in de verschillende bedrijfsvoeringstoestanden (zomer/winter/tussenseizoen)?			Geef per seizoen aan (zomer / winter / tussenseizoen) wat het gemiddeld temperatuurniveau is van de aanvoer en retour.
60	Wat zijn de gemiddelde debieten (aanvoer / retour) in de verschillende bedrijfsvoeringstoestanden (zomer/winter/tussenseizoen)?			Geef per seizoen aan (zomer / winter / tussenseizoen) wat het gemiddeld debiet is.

BIJLAGE 3: Verslagen van de interviews met de 5 tuinders

In deze bijlage geven we zo precies mogelijk de inhoud van de gesprekken met de 4 tuinders weer. Dit betekent dat de weergave hiervan vooral een afspiegeling is van hún visie op WKO, hun bedrijf, hun bedrijfsvoering en (soms hun mening over) de sector als geheel. Aangezien het om persoonlijke visies en meningen gaat, hoeft dit niet exact overeen te komen met de actuele 'werkelijkheid' en feiten binnen de sector.

1 Interview met Phalaenopsis-kweker

Vooraf ter info: Phalaenopsis is een soort orchideeën die gekoeld MOETEN worden.

Techniek (van ontwerp t/m bedrijfsvoering)

- In de ontwerpfase is op advies van 2 onafhankelijke adviseurs (!) een **tussenbuffer en een aparte verdeler-verzamelaar** (voor de scheiding van de hoge en de lagetemperatuurcircuits) 'wegbezuinigd'. Dat heeft nu als consequentie dat de stabiliteit van het warmtepompbedrijf regelmatig te wensen over laat. De 2 parallel aan elkaar opgestelde warmtepompen hebben moeite om hun warmte op het systeem kwijt te raken doordat ze hydraulisch te veel weerstand hebben bij toevoer op het distributiesysteem; dit speelt ook in relatie tot de opgestelde WKK's die de warmtepompen "wegdrukken". Daardoor is er vaak onnodig sprake van overdruk-storingen. Zelfs een kleine buffer zou kunnen volstaan om de hydraulische problemen op te lossen.
- De toegepaste bronkleppen vereisen veel onderhoud en na-regeling.
- Tijdens de bedrijfsvoering wordt de **regeling** (en daarmee de stabiliteit) van de installatie ook nog beïnvloed en gecompliceerd door de effecten van de energiemarkt. Om niet teveel voor de economische verleidingen van de elektriciteitsmarkt te vallen, stelt de tuinder de teelt vóórop boven alles en laat hij de installatie uitsluitend 'APX-draaien' als dat past bij de energievraag van zijn kas/teelt.
- De tuinder bedrijft zijn installatie –op basis van de opgebouwde ervaring en dus niet zozeer vanuit monitoringgegevens- grotendeels op zijn gevoel, aan de hand van wat hij afleest aan de planten. Een en ander hangt mede samen met de beperkte koudevoorraad die hij kan opbouwen (de koelcapaciteit is te krap mede door het toepassen van extra groeilicht). Voorbeeld hiervan is dat de tuinder de inzet van de koeling (bijvoorbeeld in het voorjaar) zeer selectief kiest en reserveert voor die momenten dat het écht nodig is (meerwaarde oplevert).

Energieprestatie en overige prestaties (teelt, productkwaliteit, opbrengst, sturing productie, e.d.)

- Volgens de systematiek van de Groen Label Kas (GLK) en op basis van berekeningen/certificering door SGS gebruikt het bedrijf van deze tuinder slechts 41% ten opzichte van het energieverbruik van de referentie (inclusief koeling) en bedraagt het aandeel duurzame energie daarbinnen 30% (= bodemwarmte; volgens Energiecertificaat 2011 van SGS).

- De gemiddelde COP van de warmtepompen bedraagt 3,6-3,7 en dat kan (zoals ook bij andere tuinders blijkt) nog aanmerkelijk geoptimaliseerd worden. Bij deze tuinder geldt dat met name voor de hydraulische inpassing en de regeltechniek.

- De WKO bij deze tuinder heeft zeker bijgedragen aan een verbetering van de productkwaliteit en opbrengstverhoging. Door de mogelijkheid om ’s zomers een lagere kastemperatuur in te stellen wordt de stuurbaarheid van de productie sterk vergroot. Dit helpt de tuinder beter in te spelen op fluctuaties in de markt (handelsprijzen). De invloed op het ARBO-klimaat is beperkt omdat het meeste werk plaatsvindt in de loods en niet in de kassen (grotendeels geautomatiseerd).

Organisatorisch

- Volgens het voorbereidend bodemonderzoek zou een bepaalde boordiepte voldoende zijn, maar in de praktijk moest (in afwijking van de vergunning) dieper geboord worden om voldoende broncapaciteit te kunnen garanderen.

- Nazorg/garantie van de leverancier/installateur: de tuinder bestempeld deze als “laag”. Vaak verwijst deze naar andere betrokkenen (warmtepompfabrikant of bronnenboorder) om onder de garantieclaims uit te komen.

Financieel

- Een belangrijke optie om de installatie energetisch en qua bedrijfsvoering/stabiliteit te verbeteren (tussenbuffer en warmteverdeler) blijft vooralsnog hangen op het beslag dat de financier/financiering hiervan doet op de cashflow.

- Doordat de boring van de bronnen noodgedwongen al tijdig in gang gezet moest worden, heeft de tuinder een deel van de mogelijke subsidie gemist (subsidie op de bronnen).

- Het aantrekkelijke van het systeem is dat er wél koeling beschikbaar is door middel van de toepassing van de WKO zónder dat het de tuinder meer kost en dat bovendien het productierendement toeneemt.

Regelgeving (en aanpassing daarvan)

- De provincie heeft relatief 'moeilijk gedaan', omdat er (iets) diepere bronnen nodig bleken te zijn ten opzichte van de vergunningaanvraag. Dit kwam pas aan het licht tijdens de aanleg van de bronnen doordat de capaciteit kleiner bleek dan vooraf werd verwacht op basis van het bodemonderzoek. In het werk is vervolgens besloten dieper te boren zónder voorafgaande toestemming van de provincie. Een les hieruit is dat het verstandig is in de vergunningaanvraag n in overleg met de provincie meer uit te gaan van een (wat ruimere) bandbreedte qua onttrekkings- en infiltratiecapaciteit en de diepte van de beoogde bronnen.

Lessons Learned & succesfactoren

- Volgens deze tuinder doen installateurs/leveranciers er goed aan om véél meer informatie te verschaffen over de werking van de warmtepompen en wat er nodig en belangrijk is om deze écht goed te laten functioneren. Nu leidde het gebrek aan informatie tot veel 'trial & error' bij de tuinder. En hoewel de tuinder een full-service contract heeft met de warmtepompfabrikant (Carrier) verwijst deze toch vaak naar de installateur bij problemen (systeem is de oorzaak).

- Koop op basis van systeemprestaties en 'functionaliteiten' (denk goed na over de functionaliteitseisen) in plaats van het kopen van een 'setje apparaten met verbindend leidingwerk' (zoals het is gegaan).

- De tuinder zou een volgende keer meer verdiepen in wat de installateur precies aanbiedt vooral als het gaat om de warmtepompen en de luchtbehandelingskasten (LBK's). Van deze laatste zou hij er bij een nieuw project flink wat meer plaatsen.

- In zijn algemeenheid moeten tuinders zichzelf veel meer in WKO verdiepen alvorens ze dit gaan toepassen.

- De tuinder zou een volgende keer meer tijd nemen qua afwegingsproces om beslissingen te nemen en zich minder laten leiden door de druk van de markt en zijn "productiedruk".

- Monitor vóórafgaand aan de opdrachtverstrekking je leverancier(s) ínclusief zijn onderaannemers grondig om problemen als gevolg van liquiditeit/faillissement/levertijden te voorkomen.

2 *Interview met rozenkweker*

Vooraf ter info: rozen zijn een teelt die feitelijk geen koeling nodig hebben, echter de betrokken tuinder heeft als primaire doelstelling “Topkwaliteit in combinatie met verduurzaming” en daarin blijkt koeling wel een belangrijke rol te spelen (zie verderop).

Techniek (van ontwerp t/m bedrijfsvoering)

- Het project had aanvankelijk te kampen met 3 hoofdproblemen:
  - Falende Fiwihex-warmtewisselaars (corrosie/erosie) die allemaal vervangen moesten worden door OPAC106-warmtewisselaars. Dit viel overigens grotendeels onder de garantie.
  - Lekkage (kwel) vanuit de aquifer omdat er nog oude bronnen ná sloop van de oude opstallen bleken te zijn achtergebleven en de stijgleidingen daarvan niet waren afgesloten. Dit had echter niet zoveel met dit WKO-project als zodanig te maken.
  - Door een update van het TCS (Total control System) na het oplossen van de Fiwihex-problemen waren alle historische monitoringdata van 2009 verdwenen.
- Alle problemen met uitzondering van de verloren gegane monitoringdata uit 2009 zijn opgelost
- Er is gekozen voor een van de betere bronboorbedrijven; kwaliteit bij de realisatie van de bronnen is essentieel en kan niet genoeg worden benadrukt.
- Het bronsysteem is vrijwel in balans.

Energieprestatie en overige prestaties (teelt, productkwaliteit, opbrengst, sturing productie, e.d.)

- Oorspronkelijk en volgens ontwerp bedroeg de beoogde bedrijfstijd van de warmtepomp in koelbedrijf (’s zomers) NUL uren. In de praktijk en gelet op de resulterende hogere productkwaliteit van de rozen bedraagt de werkelijke bedrijfstijd van de warmtepomp voor koeling 400 uur (gebaseerd op urentellers).
- De energieprestatie is bij deze tuinder goed te bepalen omdat zijn bedrijf uit 2 (ongeveer even grote) gedeelten bestaat, een mét en een (vooralsnog) zónder WKO. Het gedeelte met WKO gebruikt 35% minder gas, maar dit wordt voor ongeveer de helft ‘gecompenseerd’ door een hoger elektriciteitsverbruik voor de warmtepomp. Per saldo bedraagt de energiebesparing op het bedrijf mét WKO zo’n 20%.
- De energiebesparing zou nog aanzienlijk groter kunnen zijn indien zich naast dit bedrijf een meer warmte-intensief bedrijf (bijvoorbeeld 30 hectare tomaten) zou vestigen: nu heeft deze tuinder nog steeds 75% van de warmte over die hij ofwel in de bodem ofwel

via de openstaande ramen kwijt moet. Zelfs bij -14 ˚C zijn regelmatig de ramen en de schermen open en maakt de warmtepomp tegelijkertijd koude voor koeling in de zomer (uiteraard heeft dit te maken met de WKK en de intensieve belichting van deze teelt in de winter).

- Nog belangrijker dan energiebesparing is voor deze tuinder de toegenomen productkwaliteit in combinatie met de leveringszekerheid daarvan en de mogelijkheid de productie (beter) te sturen: door toepassing van koeling blijkt het percentage grote rozenknoppen toe te nemen. Dát in combinatie met zijn grote teeltareaal zorgt ervoor dat deze tuinder **jaarrond de rozen met de hoogste productkwaliteit** kan leveren, waar andere rozentelers dat alleen maar gedurende bepaalde maanden in het jaar kunnen. Het product vertoont bovendien een betere houdbaarheid. Dit alles bezorgt de tuinder een forse verhoging van zijn opbrengsten. Koeling biedt deze tuinder naast een kwaliteitsvoordeel dus ook een belangrijk concurrentievoordeel.

- ARBO-technisch noemt deze tuinder de koeling slechts een “bijkomend voordeeltje”. Wel is evident dat de medewerkers liever in het bedrijfsgedeelte werken mét WKO. Overplaatsing van medewerkers naar het gedeelte zonder WKO leidt doorgaans tot minder enthousiaste reacties. Het effect op de productiviteit van medewerkers is echter niet gemeten.

Organisatorisch

- Deze tuinder benadrukt het belang om gezamenlijk met de installateur de verantwoordelijkheid te nemen voor het hele project: “alles wat de leverancier fout doet, is mede aan jezelf als opdrachtgever te wijten”. Dit creëert een klimaat van vertrouwen in combinatie met een goed controlemechanisme op de binnenkomende materialen.

- De tuinder heeft goede ervaringen met het werken in een **bouwteam met de installateur en een onafhankelijk projectleider**, waarbij het belangrijk is om projectmatig te (blijven) werken.

- Tijdens het ontwikkel- en bouwproces is het van belang met kritische experts te werken, die ruime ervaring en verstand van zaken hebben; deze zijn moeilijk te vinden bij standaard adviesbureaus.

- Tussen de eerste gesprekken en de opdracht aan de installateur heeft bij dit project 1,5 jaar gezeten. Dat had een jaar langer moeten zijn om een innovatief product als de Fiwihex beter te testen.

Financieel

- Het besluit tot aanleg van de WKO heeft de tuinder onafhankelijk van de subsidietoekenning genomen. Achteraf is de tuinder heel blij met de subsidie wegens de Fiwihex-problemen, die er de oorzaak van waren dat zijn bedrijf in 2010 grotendeels stil heeft gelegen.

- De tuinder heeft de subsidie in eerste instantie niet helemaal opgebruikt, maar had het gedeelte bestemd voor onderhoud uiteindelijk toch nodig voor het oplossen van de problemen met de Fiwihex-warmtewisselaars door deze te vervangen met de OPAC106.

- De kosten van de bronnen bedroegen EUR 375.000 (5 bronparen) en van de warmtepomp EUR 325.000.

- De businesscase voor WKO blijft lastig om geheel zonder subsidie "rond te breien" wegens de noodzaak om duurzame materialen toe te passen. Desalniettemin heeft de tuinder besloten om ook zijn oorspronkelijke, naastgelegen bedrijf om te bouwen naar WKO. Waar hij voor het eerste WKO-project een IRR-eis hanteerde van 9 jaar, moet hij voor het tweede WKO-project een IRR-eis hanteren van 5 jaar omdat dat gedeelte van zijn bedrijf in zijn laatste teeltperiode zit. Dit is ook goed mogelijk omdat dit deel van zijn bedrijf qua haalbaarheid 'meelift' op de eerdere investeringen in de reeds aanwezige infrastructuur voor de WKO (er komt alleen een 2^{e} warmtepomp bij, een centrifugaal machine van Carrier, net zoals de 1^{e} warmtepomp!).

- Het financiële succes van deze tuinder blijkt onder meer uit het feit dat hij de financiering van de ombouw van zijn oorspronkelijke bedrijf naar WKO uit eigen middelen doet (eerste fase was nog traditioneel bankfinanciering).

Regelgeving (en aanpassing daarvan)

- Er was altijd sprake van een lichte onbalans in de zin van een warmtetekort (koudeoverschot) in de bodem. Met het realiseren van de WKO voor zijn oorspronkelijke bedrijf zal er weer meer warmte in de bodem worden gestopt en wordt de balans hersteld.

- De infiltratietemperatuur als gevolg van de koeling bedraagt nu 16 ˚C, maar zal in de nieuwe situatie naar 25 ˚C gaan.

- O.a. wegens de ontbrekende monitoringdata van 2009 en de lichte onbalans heeft deze tuinder nog wat discussies met de Provincie. Hij vindt de jaarlijkse rapportage aan de Provincie een flinke administratieve belasting die weinig of niets bijdraagt aan de milieu- en duurzaamheidsdoelstellingen.

Lessons Learned & succesfactoren

- Projectmatig werken in gedeelde verantwoordelijkheid
- Onafhankelijke projectleider in bouwteamconstructie met installateur
- Zoek bij de samenstelling van je team naar kritische persoonlijkheden, échte ervaringsdeskundigen, die tegelijk “streng & eigenwijs” kunnen zijn.
- Bezuinig niet op de aanleg van de bronnen en kies voor een kwalitatief hoogwaardig boorbedrijf.
- Gezamenlijk met de installateur inkopen van alle toe te passen materialen in combinatie met goede ingangscontrole op de kwaliteit daarvan op het werk zelf
- Controleer heel goed wat je koopt als je een bedrijf overneemt. Dat had o.a. de lekkage-problemen met de aquifer vanuit oude bronputten kunnen voorkomen.
- Oppassen met zaken te snel te willen implementeren: zet stapje voor stapje en probeer innovatieve dingen eerst op een kleinere schaal uit (bijvoorbeeld 1.000 m^2).
- Teeltkeuze kan doorslaggevend zijn voor succes.

Tenslotte: deze rozenteler zou WKO inclusief dezelfde software en systeembesturing (TCS) ook weer toepassen bij een nieuwe ‘groene weide’ situatie. Dit heeft vooral ook te maken met zijn primaire doelen: topkwaliteit van producten in samenhang met verduurzaming (“de allerbeste willen zijn”).

3 *Interview met tomatenkweker*

Vooraf ter info: tomaten zijn een teelt die feitelijk geen koeling nodig hebben, echter de betrokken tuinder heeft als een van de allereersten gekozen voor het concept van gesloten telen op een deel van zijn bedrijf. De betrokken tuinder past ook geen belichting toe, omdat dit voor zijn teelt een te beperkte toegevoegde waarde heeft. Dit geldt overigens voor 90% van de tomatentelers.

In dit interview staan meer technische details over het energiesysteem dan in de 2 eerdere interviews. Dit heeft te maken met het feit dat deze tuinder geen vragenlijst had ingevuld. Hij was daartoe ook niet verplicht aangezien hij geen MEI-subsidie had ontvangen, maar was wel graag bereid zijn kennis en ervaring met de sector te delen.

Techniek (van ontwerp t/m bedrijfsvoering)

- Bij deze tomatenteler wordt op 25% (14.000 m^2) van zijn totale areaal van 5,4 hectare pruimtomaten in een gesloten kas geteeld.
- De overtollige warmte uit de gesloten kas wordt op het eigen bedrijf in de traditionele kassen benut. Daarnaast wordt ook nog overtollige warmte in de periode oktober-april doorgeleverd aan een belendend tuinbouwbedrijf (perk-/ potplantenteler zonder gasaansluiting). Bij extreme koude gaat voor deze doorlevering soms ook de piekketel van de tomatenteler aan om de warmtelevering te kunnen garanderen.
- Aanvankelijk maakte de WKO-installatie gebruik van 2 warmtepompen van elk 1.300 kW. Later is daar een derde, even grote warmtepomp bijgeplaatst om de bedrijfstijd van de piekketel verder te reduceren. In totaal staat er derhalve 3,9 MW-th aan warmtepompvermogen opgesteld.
- De WKO-installatie heeft 3 bronparen met een capaciteit van in totaal 240 m^3/h en wordt bedreven bij een DeltaT van circa 10 ˚C. Twee doubletten zijn verbonden met één leiding in de kas, het andere doublet op de andere leiding.
- Daarnaast bevat het energetisch concept van deze tuinder een WKK van 650 kW (voor de elektriciteitsvraag van de 2 als eerste geplaatste warmtepompen en het overig elektriciteitsgebruik) en een kleinere, later bijgeplaatste WKK van 300 kW ten behoeve van de elektriciteitsvraag van (met name) de derde warmtepomp. De WKK draait vooral als de warmtepompen de volle last nodig hebben, anders staat deze vaak uit en gebruikt de kweker stroom uit het net.
- De installatie wordt gecompleteerd met 3 bovengrondse buffertanks voor de opslag van warmte en koude van elk 600 m^3 (totaal 1.800 m^3). De tuinder streeft hierin naar een goede gelaagdheid van de watertemperaturen in de buffers.
- De warmte- en koude-afgifte vindt plaats via lange kunststof ‘slurven’ met een diameter van 80cm (later 60cm) in de kas. Dit zorgt voor sterkere luchtbewegingen in de kas dan

in een traditionele kas en resulteert zodoende in een grotere homogeniteit van het teeltklimaat.

- De thermische balans is goed zoals blijkt uit de actuele waarneming ter plekke uit de Priva-computer. De meeste jaren wordt er echter wel meer koude dan warmte opgeslagen. De provincie vindt een koude-overschot in de bodem over het algemeen geen probleem.
- In 2007 is de installatie van de open kas aangepast met een zogenoemde 'climate optimizer', daarna kon de buistemperatuur worden gereduceerd tot maximaal 45 ˚C.
- Tien jaar na de inbedrijfsstelling is er 1 kapotte pomp vervangen. Deze pomp had al eerder wat klepsturingsproblemen.

Energieprestatie en overige prestaties (teelt, productkwaliteit, opbrengst, sturing productie, e.d.)

- De tuinder gebruikt 21-23 m^3 aardgas/ m^2 kas, inclusief het gas ten behoeve van de elektriciteitsvraag van de warmtepompen die geproduceerd wordt met de eigen, kleine WKK.
- Uit de momentane monitoring (ter plekke afgelezen vanaf het scherm) kon geconcludeerd worden dat de COP van de warmtepompen ruim 5,3 bedroeg (2.600 kW-th aan warmte geleverd bij een stroomvraag van 490 kWe). Jaarrond bedraagt de COP 5,2 volgens de tuinder.
- Het resultaat is een energiebesparing van 40% en dit werd in 2007 zelfs overschreden.
- De tuinder draait géén extra uren met de warmtepompen ten behoeve van extra (piek)koeling teneinde warmte van een hogere temperatuur (en dus kwaliteit) te kunnen laden.
- In het gesloten deel van het bedrijf wordt een hoog CO_2-niveau en een hoge relatieve vochtigheid toegepast en wordt geaccepteerd dat de kastemperatuur hoger is dan in de gewone kas. Pas bij 32 ˚C gaan de luchtingsramen op een kier. Per plant resulteert dat in 32-33 trossen tomaten waar normaal 29-30 trossen gangbaar is. In 2005 werd 17% meer productie gemeten in het gesloten kasdeel ten opzichte van het open kasdeel. Dit wordt verklaard door de verbeterde CO_2-efficiency door het kasklimaat in de gesloten kas. De tuinder stuurt op maximale fotosynthese.
- Productiesturing is bij deze onbelichte tomatenteelt van ondergeschikt belang, omdat het in de praktijk niet goed mogelijk is dit product later te oogsten in verband met dan optredende houdbaarheidsproblemen. Bij toepassing van belichting zou dit eventueel wel meer mogelijkheden opleveren. De tuinder doet dit bewust niet omdat het verschil in toegevoegde waarde van belichting bij tomatenteelt te gering is en om een (nog) groter warmteoverschot te vermijden.

Organisatorisch

- De tuinder heeft direct na realisatie van het WKO-systeem samen met de leverancier van de klimaatcomputer vele weken achter de computer doorgebracht om het WKO-concept inclusief de klimaat-technische consequenties en mogelijkheden (telen onder hogere temperaturen en relatieve vochtigheid) daarvan volledig te begrijpen, in te regelen en optimaliseren. Dit beveelt de tuinder elke collega-tuinder die met WKO aan de slag wil aan.

- Omdat hij zichzelf aldus vergaand had verdiept in de techniek, regeling en bedrijfsvoering van de WKO en de interactie daarvan met de teelt en het teeltklimaat ("*het primaire verdienaspect voor tuinders dus die moeten **dicht bij de techniek én de productie zitten**"*) heeft de tuinder zich "zelfredzaam" gemaakt.

- De tuinder heeft mede daarom niet of nauwelijks last ondervonden van het faillissement van zowel de adviseur als de installateur (2 jaar na oplevering).

- Een belangrijk verschil met de utiliteitsbouw is dat (WKO-)installateurs in de glastuinbouw vaak hun 'roots' ook in de sector zelf hebben zitten en daardoor een meer historische binding hebben met hun klanten.

Financieel

- Als 'grootste min' noemt de tuinder het gebrek aan financiële beloning (vanuit de sector en/of overheid) voor telers die minder CO_2 emitteren en daarmee de sector als totaal hebben geholpen onder het gezamenlijk afgesproken CO_2-plafond (Kyoto) te blijven. Voor betreffende tuinder betekende dit grofweg 50-60.000 EUR per jaar aan gemiste inkomsten vanuit de (niet-gerealiseerde) CO_2-emissiehandel (uitgaande van een historische CO_2-handelsprijs van 25 EUR/ton). Het gemiste voordeel bedraagt derhalve zo'n 1 EUR/ m^2 glas per jaar.

Regelgeving (en aanpassing daarvan)

- De Provincie heeft minder problemen met een koude-overschot in de bodem dan een warmteoverschot.

Lessons Learned & succesfactoren

- Bij een volgend project zou de tuinder alle overbodige 'toeters & bellen' die het project technisch onnodig complex maken vooral weglaten . Zoals de extra TSA waarmee de condensorwarmte aan de warme bron kan worden toegevoegd; zonder deze warmtewisselaar kan de warmtepomp overigens niet als koelmachine voor de piek fungeren.

- Door het toepassen van luchtbehandeling (verwarming, koelen, ontvochtigen) in plaats van traditionele buisverwarmingssystemen is er veel meer luchtbeweging in de kas. Deze grotere dynamiek leidt tot een homogener teeltklimaat, maar vooral ook tot een **ander microklimaat (relatieve vochtigheid; RV!) rónd de planten**. De gemeten relatieve vochtigheid in de gesloten kas kan daarom op een hoger niveau worden gehouden dan in traditionele kassen (*"hoger RV en vegetatief gaat wél samen"*), waar de plant in een 'statischer situatie' een microklimaat met een hogere RV ervaart dan daadwerkelijk wordt gemeten. In een gesloten kas kan daarom het tempo van de teelt verder omhoog (hogere CO_2-concentraties, hogere RV, hogere temperatuur, sturen op maximale fotosynthese).

- Kortom: wat 'lastig' blijft bij WKO en (semi-)gesloten kassen is dat dit een heel andere bedrijfsvoering vereist qua teeltklimaat dan telen in traditionele open kassystemen. Hét alternatief voor WKO in de tomatenteelt is op dit moment geothermie dat qua verwarmingssysteem dichter blijft bij wat tuinders gewend zijn qua teeltklimaat.

- Technieken uit de gesloten kas hebben ook voordeel gebracht in de open kas. Zo gebruikt het bedrijf in de traditionele kas nu ook luchtslurven onder het gewas (= Climate Optimizer) en wordt er gecontroleerd buitenlucht bijgemengd. Een nieuw ontwikkelde luchtbehandelingskast voert automatisch de juiste hoeveelheid koelere buitenlucht naar de ventilator, waardoor het langer duurt voordat er gelucht moet worden. Tevens ontstaat er een lichte overdruk in de kas.

- Telen met een paar % overdruk in de kassen (en dan vooral 's winters) vermindert de koudeval langs de ramen en draagt eveneens bij aan een homogener binnenklimaat en energiebesparing. Bovendien komen insecten moeilijker de kas binnen.

- Bij een nieuw project zou de tuinder de koude meer verdelen over het totale bedrijf in plaats van over een beperkt gedeelte. Hij zou dan eerder in het voorjaar en tot later in het najaar warmte willen oogsten en aldus met dezelfde koelcapaciteit een groter deel of zelfs het gehele bedrijf willen koelen.

- De "directheid" van de zoninstraling en dus ook de mogelijkheid tot het winnen van zonne-energie is in de glastuinbouw veel groter (en sneller) dan in bijvoorbeeld utiliteitsgebouwen. Naar het inzicht van deze tuinder zou het oogsten van warmte nog veel beter kunnen dan nu: de tuinder laadt warmte met een gemiddelde temperatuur van 14,5 à 15 ˚C en dat zou hoger kunnen zijn o.a. door meer aandacht te besteden aan het schoonhouden van warmtewisselaars. Verder wordt de 'overschot-warmtewisselaar' die warmteladen tot 25 ˚C mogelijk maakt niet echt benut.

- Essentieel is de 'degelijkheid' van de bronnen en het kiezen van een betrouwbare en ervaren bronnenboorder.

- Bij een volgend project zou de tuinder zeker weer WKO toepassen.

4 *Interview met fresia/dendrobium–kweker*

Techniek (van ontwerp t/m bedrijfsvoering)

- De tuinder beschikt op zijn areaal van in totaal 4,1 hectare over grondkoeling (buizen in de teeltaarde voor de fresia's (volle grondteelt)), luchtbehandelingskasten (met daarin koelbatterijen voor de dendrobiums) en hoge druk bevochtiging.
- Het belichtingsniveau bedraagt tussen 3.500 en 10.000 lux.
- De WKO-installatie maakt gebruik van 1 warmtepomp met een totale verwarmingscapaciteit van 1444 kW (condensorvermogen en met een kleine 5.000 bedrijfsuren per jaar) en een koelcapaciteit van 912 kW (met 2.025 vollasturen per jaar).
- De WKO-installatie heeft 2 bronparen met een capaciteit van in totaal 120 m^3/hr (koelcapaciteit van de bronnen 837 kW).
- Daarnaast bevat het energetisch concept een WKK van 900 kW elektrisch (circa 1.100 kW thermisch) ten behoeve van de eigen elektriciteitsvraag op het bedrijf (belichting en warmtepomp). Deze WKK werd mede bijgeplaatst wegens de te kleine capaciteit van de bestaande trafo.
- De installatie wordt gecompleteerd met een bovengrondse buffertank voor de opslag van warmte,en een schakelbuffer van 15 m^3 en 2 piekketels van respectievelijk 2 en 2,3 MWth.
- De schakelvolgorde bij verwarmingsbedrijf is eerst de warmtepomp, vervolgens de WKK en tenslotte pas de piekketel(s).
- De teeltcombinatie en systeemconfiguratie stelt de tuinder in staat om de condensorwarmte van de koeling van de fresia's in het voorjaar direct te gebruiken voor de verwarming van de Dendrobiums zelfs zonder tussenkomst warmtewisselaars of WKO-bronnen.
- De bronnen zijn enkele keren gelicht wegens niet goed afsluitende bronkleppen (lijmresten binnenzijde).
- De schroefcompressor is een keer defect geweest en kon goed gerepareerd worden.

Energieprestatie en overige prestaties (teelt, productkwaliteit, opbrengst, sturing productie, e.d.)

- Het bedrijf is in de loop der jaren organisch gegroeid door overnames (Dendrobiums) én nieuwbouw. Vóór de uitbreiding met de Dendrobiums kon worden vastgesteld dat de beoogde besparing in de fresiateelt gehaald is door middel van de WKO. Door de 'verknoping' van de installaties van de beide teelten en het daardoor wegvallen van het

referentieniveau is het voor de tuinder nu niet meer goed vast te stellen of de energiebesparing nog steeds wordt bereikt

- De tuinder zegt niet te kunnen beoordelen of de productkwaliteit door de toepassing van WKO (en de daaraan gekoppelde aangepaste bedrijfsvoering) beter is geworden.
- Verder zegt de tuinder nog niet zo ver te zijn dat hij al productiesturing (van met name de Dendrobiums) kan toepassen.
- Voorheen gebruikte deze tuinder slootwater om de grondkoeling te realiseren. Door de toepassing van WKO-bronnen beschikt hij nu altijd gegarandeerd over schoon water, treedt minder vervuiling op van de warmtewisselaars met als resultaat een beter rendement en lager elektriciteitsgebruik van de koelmachines. Bovendien biedt de WKO-bron van 120 m^3/h in het voor- en naseizoen vaak al voldoende koelcapaciteit (vrije koeling) met als resultaat een lagere bedrijfstijd van de koelmachines.
- De tuinder claimt een hogere bedrijfszekerheid mede als gevolg van de WKO.

Organisatorisch

- De installateur had verregaand onvoldoende aandacht voor het goed inregelen, afwerken en nazorg ten aanzien van de WKO-installatie en lijkt "*prioriteit te geven aan grotere klanten*".
- De installateur/WKO-leverancier moet nu, ruim 4 jaar na oplevering, nog steeds een en ander aan de installatie optimaliseren en/of repareren (energiemeter). De tuinder vindt zijn leverancier ook te duur.
- De software van de WKO-leverancier werkt niet voldoende samen met de software van de klimaatcomputer en van de energiebemetering.

Financieel

- Het achterwege blijven van warmtelozingen op het oppervlaktewater bespaart de tuinder geld en is bovendien niet meer toegestaan door het Hoogheemraadschap (bij dit laatste bedoelt de tuinder het spuien bij het spoelen van de bronnen).

Regelgeving (en aanpassing daarvan)

- De tuinder meldt dat het papierwerk richting Provincie, Gemeente en Waterschap hem veel hoofdbrekens bezorgt. Vooral de Provincie noemt hij een 'moeilijke instantie'.

Lessons Learned & succesfactoren

- De tuinder heeft behoefte aan meer koeling (mede om het huidige koude-overschot in de bodem op te heffen) maar heeft onvoldoende koelcapaciteit en vooral onvoldoende ruimte voor een grotere koudebuffer.
- Bij een volgende project zou deze tuinder in ieder geval kiezen voor grotere buffertanks voor warmte en koude en grotere schakelbuffer(s).
- De tuinder zou dan ook streven naar een evenwichtiger vermogensverhouding tussen WKO, WKK en buffers.
- Verder adviseert de tuinder een zo direct mogelijke koppeling tussen de regeling van de WKO-installatie en de klimaatcomputer, bij voorkeur door middel van 1 software-pakket.
- De tuinder is “meer dan tevreden” en zou een volgende keer weer een WKO-installatie overwegen voor zijn bedrijf.

5 *Interview met Alstroemeria–kweker*

Vooraf ter info: Alstroemeria (een vaste plant behorende tot de leliefamilie, ook wel Inca-lelie genoemd) is een 'winterbloeiend' en koude-minnend gewas dat gekoeld MOET worden indien een jaarrondproductie wordt nagestreefd.

Techniek (van ontwerp t/m bedrijfsvoering)

- De tuinder beschikt op zijn areaal van in totaal ruim 4,7 hectare over grondkoeling (buizen in de teeltaarde voor de Alstroemeria's (semi-volle grondteelt/goten in aarde)) en hoge druk bevochtiging. De tuinder past belichting toe (circa 5.000 lux).
- De gehele kas van de tuinder is 'koelbaar' (én verwarmbaar) met een dubbel grondnet in separaat te schakelen secties, waardoor zelfs simultaan koelen en verwarmen in verschillende kasgedeelten tegelijk mogelijk is. Dit geeft de tuinder veel controle over de bodemtemperatuur.
- Via het dubbele grondnet is het ook mogelijk om de condensorwarmte van de warmtepomp rechtstreeks toe te passen voor verwarming terwijl in een ander gedeelte van het bedrijf moet worden gekoeld. Vanwege dit voordeel draait de koeltoren steeds minder bedrijfsuren.
- Deze tuinder was in 2007 een van de allereerste die WKO toepaste en moest –mede daarom- de Carrier-warmtepomp (schroefcompressor met koudemiddel R134a, maximale productietemperatuur 42 ˚C) vanuit de Verenigde Staten naar Nederland laten komen wegens de hogere COP (5,5) dan de Europese versie.
- De warmtepomp wordt 's zomers toegepast als koelmachine, maar heeft een te krappe koelcapaciteit.
- De bron heeft een technische capaciteit van 120 m^3/hr, maar de vergunde broncapaciteit bedraagt slechts 100 m^3/hr. Dit is een beperkende factor, waardoor de warmtepomp maar op ongeveer maximaal 70% van zijn capaciteit kan draaien om te voorkomen dat de vergunningseis wordt overschreden.
- De installatie beschikt verder over 1 grote buffertank van 800 m^3 en 2 schakelbuffers van circa 10 m^3 elk (1x verdamperzijdig en 1x condensorzijdig) voor de warmtepomp.
- Na de inbedrijfstelling werd er teveel warmte de bodem in geladen, hetgeen leidde tot een reactie van de Provincie. Daarbij werd ook een kortsluiting geconstateerd tussen de warme en de koude 'bel'. Nu de stroom vaak goedkoop is, wordt de warmtepomp meer gebruikt voor verwarming en wordt er daardoor meer koude de bodem in geladen. De thermische balans wordt gaandeweg hersteld.

- Als back up voorzieningen beschikt de tuinder over WKK (Jenbach) en een koeltoren. De aanwezige ketels worden niet gebruikt.
- De installaties heeft nauwelijks 'kinderziektes' gekend volgens de tuinder.

Energieprestatie en overige prestaties (teelt, productkwaliteit, opbrengst, sturing productie, e.d.)

- Nu de stroom vaak goedkoop is, maakt de warmtepomp meer bedrijfsuren voor verwarming en wordt er meer koude de bodem in geladen en daarmee de thermische balans hersteld.
- De betreffende tuinder paste sinds de 80-er jaren ook al koeling toe vóórdat hij met WKO en de warmtepomp aan de slag ging. Vanwege dit referentiekader ziet hij WKO in combinatie met warmtepompen niet als een optie die hem teeltvoordelen heeft opgeleverd.

Organisatorisch

- De tuinder heeft nagenoeg alles uitbesteed aan zijn installateur/leverancier (Certhon), die ook de vergunningaanvraag voor hem heeft geregeld en aan zijn adviseur (Flynth), die de subsidieaanvraag en energierapportages heeft verzorgd. Dit is uiteindelijk zijns inziens slimmer en goedkoper dan alles zelf te doen.
- Onnodig vallen en opstaan had voorkomen kunnen worden indien de begeleiding door de installateur iets uitgebreider was geweest.

Financieel

- Ook bij deze tuinder is de haalbaarheidsstudie en IRR-berekening uitgevoerd door de installateur / leverancier.
- De tuinder heeft –mede daarom- geen inzicht in de specifieke rentabiliteit van de installatie in termen van IRR.
- De tuinder zegt nadrukkelijk dat de WKO met warmtepomp en buffers hem fors geld heeft bespaard vanwege de veel grotere flexibiliteit in zijn reacties op de energiemarkt: nu de stroom vaak goedkoop is, maakt de warmtepomp meer bedrijfsuren voor verwarming en wordt er meer koude de bodem in geladen en daarmee de thermische balans hersteld.

Regelgeving (en aanpassing daarvan)

- In de zomer van 2013 ging een druksensor van een van de bronnen kapot. De pompen vielen uit, het systeem werd drukloos en ook de flowmeter kwam droog te vallen. Gevolg was dat er uit de monitoring 'onzinresultaten' kwamen zwalkend tussen 0 en volle schaal, waarbij er geen enkel verband meer bestond met de werkelijkheid. De tuinder had dit incident abusievelijk niet gemeld bij de Provincie en kreeg daar later problemen mee . De tuinder was zich niet bewust geweest van de meldingsplicht hiervan in het kader van de vergunning. Sinds de 'waarschuwing' van de Provincie houdt de tuinder een logboek bij waarin alles dagelijks wordt bijgehouden.

Lessons Learned & succesfactoren

- Na inbedrijfsstelling van de installatie bleek de besturing en regeling meer op fresia's te zijn gebaseerd dan op de Alstroemeria's. Deze hebben een geheel andere klimaatbesturing nodig en dat heeft de tuinder proefondervindelijk geheel zelf moeten leren.

- In 2008 -na de bouw en oplevering- was er geen 'handleiding' beschikbaar en heeft het ook ontbroken aan instructies door de leverancier: "Voordat je auto gaat rijden, krijg je ook eerst les". Instructies en/of een handleiding hadden onnodig "vallen en opstaan" kunnen voorkomen danwel deze fase sterk kunnen verkorten. Daarbij beseft de tuinder dat dit soort installaties in hoge mate 'maatwerk' is. Hij noemt dit een van de belangrijkste aandachtspunten qua nazorg door de installateurs/leveranciers.

- De tuinder moet op 'dealer-niveau' in het besturings-/WKO-systeem kunnen inloggen om voldoende gebruik te kunnen maken van alle besturingsmogelijkheden die het systeem en de regeling te bieden hebben.

BIJLAGE 4: Verslagen van de interviews met de 2 installateurs

In het kader van dit onderzoek zijn naast de tuinders ook een aantal installateurs/ leveranciers geïnterviewd. Uit deze gesprekken zijn een aantal generieke trends, conclusies en 'lessons learned' afgeleid en is een opvallend verschil aan het licht gekomen tussen de WKO-toepassing in de glastuinbouw en die in de markt van de utiliteitsbouw (kantoren e.d.), zie paragraaf 5.3 in de hoofdrapportage.

1 Visie van een installateur/leverancier, nr. 1 (LekHabo)

Rol van de tuinder bij toepassing en functioneren van WKO

Bij de installateurs/leveranciers heerst sterk de indruk dat investeringen door tuinders in WKO sterk worden gedreven door de directe 'cash flow' van de relatief hoge MEI-subsidies. Veel tuinders beseffen (zeker in de eerste jaren van de MEI-regeling) vaak onvoldoende 'waarom' ze een investering doen in een WKO-installatie en welke impact een dergelijke innovatie heeft op hun bedrijf-kritische processen en welke aanpassingen in hun teeltwijze en bedrijfsfilosofie dit met zich meebrengt. Ze benaderen een WKO-installatie nog teveel als een gangbare energievoorziening zoals een ketel of een WKK: een energievoorziening 'aan de buitenkant' ("add on") van het bedrijf. Het besef dat bij WKO-installaties de regelstrategie van het integrale energieconcept én sturing van de bron (bodembalans!) een afstemming en optimalisatie vereist op de teeltomstandigheden ontbreekt veelal. Deze tuinders selecteren hun installaties meestal op de goedkoopste componenten en redeneren te weinig in termen van het 'maatwerk' dat elke WKO-installatie in feite weer is, vooral ook in relatie tot de (extra mogelijkheden van) 'finetuning'/optimalisatie van de teeltomstandigheden in de kas (vochtbeheersing, koeling, verwarming).

Op het moment dat een WKO-installatie eenmaal in bedrijf is gesteld en draait, verliezen de tuinders vaak hun interesse in het systeem. "Als het eenmaal draait, dan draait het" en hebben tuinder geen grote belangstelling in de werkelijke (energetische) 'performance' van de WKO-installatie. Indien zich dan –op termijn- eventueel (technische) problemen voordoen, wordt elke 'kleinigheid' bij de installateur/ leverancier neergelegd om te komen tot oplossingen, zonder erbij stil te staan welk aandeel zij zelf (qua bedrijfsvoering) eventueel hebben gehad in het ontstaan van het probleem.

Er zijn enkele tuinders die zich wél bewust zijn van de impact van een WKO op hun bedrijf-kritische processen en bedrijfsvoering. Deze tuinders redeneren vaker vanuit productkwaliteit, integrale bedrijfsvoering, de beste teeltomstandigheden voor het gewas en zij besteden wel veel aandacht en tijd om een innovatie als WKO goed uit te testen, te optimaliseren en te integreren in hun productieproces. Zij treden veel meer op als sparringpartner van de leverancier/installateur. Bij deze bedrijven zie je in het algemeen de best presterende WKO-installatie en ook herhalingsinvesteringen in WKO (bij uitbreiding of andere locaties).

Lessons learned

De risico's van WKO-installaties in de glastuinbouw kunnen fors zijn, maar veelal zijn de voordelen voor de teelt (productkwaliteit) in combinatie met de bereikte energie- en geldbesparing (bij gezamenlijk door teler en installateur geoptimaliseerde installaties) ruimschoots groter dan de risico's

Belangrijke leerpunten voor deze installateur waren:

- De bodemopbouw is grillig zowel in verticale als horizontale zin en lokaal erg inhomogeen: laat dus **altijd een proefboring uitvoeren** en wel zo dicht mogelijk bij de uiteindelijke locatie van de WKO-bron(nen)
- Let op bij heien: de bodemopbouw kan veranderen als gevolg van heiwerkzaamheden hetgeen impact heeft op de broncapaciteit
- Let op de ontgassingsdruk bij onttrekking (voldoend voordruk aanbrengen teneinde ontgassing te vermijden) en de injectiedruk
- Ontwikkel de bronnen zorgvuldig: WKO is meer dan een 'gat in een zandlaag'
- Kortom: "koop een prestatie in m^3/hr in plaats van bronnen sec" en leg die prestaties contractueel vast met de bronnenboorder
- Maak een zorgvuldige afweging bij het kiezen van de bronnenboorder
- Spreek met de 'totaal-installateur' prestatiegaranties af voor de gehele WKO-installatie
- Exploitatie: zorg voor een regelmatig, professioneel onderhoud van de bronnen alsmede de gehele WKO-installatie
- Maak als tuinder keuzes qua (bedrijfsvoering van de) WKO-installatie in samenspraak met de (vakbekwame) leverancier/installateur.

2 *Visie van een installateur/leverancier, nr. 2 (CERTHON)*

Rol van de tuinder bij toepassing van WKO

- Tuinders hadden/hebben vanuit kostenoptiek nog wel eens de neiging om een WKO in delen op de markt te zetten, bijvoorbeeld door zélf de bronnen aan te besteden aan een bronnenboorder. Dan is een WKO-project niet meer in 1 hand en kan een installateur van de rest van de WKO-installatie vaak niet meer (zonder problemen) de integrale verantwoordelijkheid hiervoor op zich nemen.

Techniek (van ontwerp t/m bedrijfsvoering)

- Een veelvoorkomende oorzaak van problemen bij WKO's zit in de broncapaciteit (te grote bronnen geven te kleine DeltaT's; te kleine bronnen leiden tot slechtere prestaties van de warmtepomp). Een **op zichzelf staande monitoring én regeling per individuele bron** zorgt ervoor dat bronnen elkaar niet onderling beïnvloeden en maakt een optimale, 100% bronbenutting mogelijk. Monitoring behelst onder meer het meten van de individuele flows (wat gaat erin, wat komt eruit) en de kopdrukken van de bronnen. Bovendien zijn met een dergelijke individuele monitoring/regeling alle bronnen constant voor 100% onder controle. Door deze aanpak is het ook mogelijk om in de glastuinbouw relatief 'krap gedimensioneerde bronnen' te realiseren. Dit leidt tot een behoorlijk kostenvoordeel bijvoorbeeld in vergelijking met WKO's in de utiliteitsbouw.

- Kleppen zijn vaak een bron van storingen geweest bij WKO's en dan vooral bij de oudere bronnen. Dit komt ook uit de enquêtes bij de verschillende tuinders regelmatig naar voren. Daarom heeft deze installateur in samenwerking met een klepleverancier zelf speciale, goed werkende kleppen ontwikkeld. Deze kleppen zijn volledig modulerend tussen 10 en 100%.

- Voor maximale flexibiliteit van een WKO-installatie is het verstandig om onder meer voor koude 2 koudwatercircuits aan te leggen: 1 circuit met echt koud water (voor bijvoorbeeld ontvochtiging) dat rechtstreeks door de warmtepomp wordt geproduceerd en 1 circuit met minder koud water dat direct (via de TSA) uit de bodem wordt gevoed.

- In zijn algemeenheid zijn warmte- en koude-buffers voor een optimale bedrijfsvoering en flexibiliteit onontbeerlijk.

Energieprestatie en overige prestaties (teelt, productkwaliteit, opbrengst, sturing productie, e.d.)

- Vrijwel alle tuinders stoppen/stopten 'teveel' koude in de grond omdat vrijwel alle teelten een grotere warmte- dan koude-vraag hebben. Dit koude-overschot wordt door

de vergunningverlener veelal wel geaccepteerd in tegenstelling tot warmteoverschotten.

- Omdat tuinders in de loop der jaren ervaren dat koelen vaak bijdraagt aan een beter product en een beter stuurbare/planbare productie gaan steeds meer tuinders nu meer koelen (zo is o.a. recentelijk 'slootwaterkoeling' in zwang gekomen) en worden de luchtbehandelingskasten (LBK's) uitgebreid om meer zomerwarmte te kunnen oogsten. De bovengenoemde onbalans komt zo meer in evenwicht, mede doordat tuinders ook de warmte van koelcellen in de WKO-bronnen zijn gaan stoppen. Ook de verwarming van hun kantoren koppelen tuinders steeds vaker aan de WKO.

Organisatorisch

- Ook deze installateur heeft een sterke voorkeur voor een bouwteamconstructie boven het aanbesteden (in kavels) van WKO-installaties. Dit levert door de transparantie en openheid bij het functioneren van het bouwteam uiteindelijk de beste installaties voor het minste geld. Het werkt nog beter als partijen bereid zijn om de inkoopvoordelen met elkaar te delen.

- De installateur moet dé organisatorische en communicatieve spil zijn tussen de klant/tuinder enerzijds en eventuele onderaannemers (van de installateur) zoals bronnenboorders.

- Een boormeester moet een vakman en eigenwijs zijn.

- Tuinders laten de rapportages in het kader van de (G)WW-vergunning heel vaak over aan de leverancier/installateur. Het kost de installateur flink wat tijd om deze serieus uit te werken/rapporteren. Dit geldt bijvoorbeeld ook voor de beantwoording van de enquêtes in het kader van dit project, die veelal ook direct zijn doorgeschoven aan de installateur. Als de installateur daarvoor dan zijn personele kosten in rekening wil brengen bij de tuinder, zegt de tuinder 'ik doe het zelf wel'. Dat blijkt vaak niet bevorderlijk voor de kwaliteit van vergunningsrapportages of de beantwoording van deze enquête. Tuinders zouden er verstandig aan doen om voor de technische begeleiding bij (de bedrijfsvoering van) WKO-installaties een klein (kennis) budget te reserveren voor optimalisaties, calamiteiten en/of administratieve 'lasten' zoals de rapportages in het kader van de vergunningen.

Financieel

- WKO in de glastuinbouw is volgens deze installateur inmiddels nu zo betrouwbaar en 'onder controle' dat het ook zonder subsidies een aantrekkelijke businesscase voor vele tuinders is. Dit is weliswaar enigszins teeltafhankelijk, maar geldt zeker voor teelten waarbij koeling noodzakelijk is.

- Deze installateur is –ondanks zijn successen met rendabele WKO-installaties- vooralsnog niet van plan zélf WKO's bij/voor tuinders te exploiteren. Volgens hem zijn tuinders daar nog niet aan toe en past exploitatie door de benodigde langdurige contracten (vaak 15 jaar) niet goed bij deze flexibele sector met frequente teeltwisselingen en een relatief korte tijdhorizon van 5-10 jaar. Bovendien maakt exploitatie door 'derden' WKO's voor tuinders onnodig duurder in verband met verzekeringen, risico-opslagen, e.d.. Dat laat onverlet dat deze installateur wél alle verantwoordelijkheid voor complete WKO-installaties op zich neemt. Tuinders zijn wel bereid om onderhoud uit te besteden.

Regelgeving (en aanpassing daarvan)

- In de beleving van deze installateur is de regeldruk van de Provincie rondom WKO's de afgelopen 10 jaar drastisch toegenomen.
- Door de steeds lastiger (en soms onrealistisch) geworden regeltjes van de Waterwet en de AMvB Bodemenergie kan bijvoorbeeld een WKO-bron vaak pas als laatste worden gerealiseerd.
- Tuinders en installateur wachten in tegenstelling tot vroeger dan ook met het realiseren van een WKO-installatie tot de vergunning voor de bronnen helemaal rond is. Dat leidt er wel eens toe dat een en ander niet binnen de bouwplanning van de tuinder past en een WKO alsnog niet kan worden gerealiseerd.
- Een van de andere aanscherpingen qua regels is dat het water van de boringen niet meer mag worden geloosd op oppervlaktewater. Alles moet tegenwoordig via het riool worden afgevoerd. Dit kan een knelpunt vormen omdat de gemeente hieromtrent veel meer problemen maakt dan het Hoogheemraadschap (wordt onrealistisch geacht omdat de zoutbelasting in vergelijking met het pekelen in de winter relatief gering is). Bovendien brengt dit hogere kosten met zich mee.
- De Provincie wil eigenlijk altijd bronnen in het 2^{e} of 3^{e} WVP. Realisering van bronnen in het eerste watervoerend pakket (1^{e} WVP) blijkt echter op basis van de praktijkervaringen heel goed mogelijk. De Provincie geeft onnodig weerstand hiertegen zelfs al zijn er in de wijde omtrek geen andere gebruikers van het 1^{e} WVP. De Provincie jaagt hierdoor tuinders onnodig op kosten bij de realisatie van WKO's (soms zit er op 120 meter diep nog geen zand van het 2^{e} WVP en moet er onnodig diep doorgeboord worden).
- Provincie accepteert onbalans eerder als het een koude-overschot in de bodem betreft. Dit geldt niet voor een warmteoverschot.
- Ondanks bovenstaande bestempelt deze leverancier de relatie met de Provincie als "een gezonde spanning" waarbij ook de ontwikkelingen (en kennis) bij het Bevoegd Gezag de goede kant op gaan.

Lessons Learned & succesfactoren

- Eigen ontwikkeling van goede kleppen was een belangrijke succesfactor in de opschaling van probleemloze WKO's.
- Regeling per individuele bron zorgt ervoor dat bronnen altijd optimaal worden benut en elkaar niet beïnvloeden.
- Het is belangrijk dat de regeling van de WKO van de installateur gemakkelijk kan communiceren met de klimaatcomputer van de tuinder. Bovendien is het daarbij belangrijk dat de sterk fluctuerende signalen vanuit de kas worden gedempt, zowel regeltechnisch als hydraulisch o.a. door de inzet van buffers voor warmte en koude. Dit leidt tot een veel minder 'zenuwachtige' en dus veel stabielere regeling, waarbij zo min mogelijk energie wordt opgewekt en/of vernietigd.
- Het nauwkeurig kunnen bepalen van de vullingsgraad van de buffers zit in de regeling van deze installateur standaard ingebouwd. Dit maakt het mogelijk om op basis van de weersverwachting én de prijsontwikkeling op de energiemarkt 'day ahead' een vullings- en of ledigingstrategie vast te stellen voor de verschillende buffers alsmede de inzet van de productiemiddelen (wkk, warmtepomp, hulpketel) precies in te plannen. Dit leidt tot een optimale bedrijfsvoering met zowel goede economische prestaties als een maximale balans, stabiliteit en maximale flexibiliteit.
- De leverancier is bereid zijn kennis te delen via een presentatie op bijvoorbeeld een 'seminar' met als thema "WKO in de glastuinbouw versus WKO in de utiliteitsbouw"
- De installateur suggereert ons om aan het einde van het onderzoek een persbericht uit te brengen met als strekking dat WKO's in de glastuinbouw door de andere marktstructuur en werkwijze rond de realisatie van projecten doorgaans veel beter functioneren en presteren dan de WKO's in de utiliteitsbouw.

BIJLAGE 5: Literatuurlijst

[1] Geelen, C., Primaire Energiebesparing in de MEI-regeling 2007, 6 oktober 2008, BuildDesk-rapport 70116/CG/080180

[2] Geelen, C., Second Opinion SG-kassen met warmtekracht en warmtepompsystemen - Optimaal Installatie Ontwerp, 26 november 2009, Builddesk-rapport 90265/CG/090741