

1 Gegevens project

Projectnummer TEZG113003

Projecttitel: ZoCool

Penvoerder en medeaanvragers:

DNV-GL	Industrie (Penvoerder)
WUR	Onderzoeksorganisatie (inhoudelijke projectleiding)
Van Kempen	MKB
DC BV	MKB
Solar Comfort	MKB
Fruitpact	Overheid / brancheorganisatie

Projectperiode:

1 januari 2015 - 31 juli 2018

Het project ZoCool is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken voor het TKI Urban Energy, uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

2 Inhoudelijk eindrapport

2.1 Samenvatting

De energietransitie betekent een grotere afhankelijkheid van lokale variërende elektriciteitsopwekking door wind en zon. Dit betekent uiteindelijk dat de elektriciteitsvraag zich meer zal gaan richten naar de variaties in duurzame opwekking, er meer opslag nodig is om de vraag en aanbod van elektriciteit in balans te houden. Omdat zowel de vraag als aanbod van elektriciteit een hoge mate van periodiciteit kent (met name dag/nacht en de seizoen cycli), zullen er verschillende vormen van opslag nodig, onder meer afhankelijk van de te overbruggen tijdsperiode.

In het project is gekozen voor energieopslag met behulp van een ijsbuffer, op basis van onderzoek waarin verschillende koelmethodes onderzocht, onder andere op economische en praktische haalbaarheid, en invloed op de productkwaliteit.

Naast deze ijsbuffer, die de extra benodigde energie kan leveren nodig om de koeling te verzorgen gedurende de oogstmaand, bestaat het ZoCool concept verder uit lokale elektriciteitsopwekking met behulp van PV panelen; een DC netwerk die de verbinding vormt tussen het PV systeem, de koelinstallatie en het publieke netwerk, en ervoor zorgt dat het systeem efficiënt is en stabiel blijft; en een koelinstallatie gekoppeld aan de koelcel en aan de ijsbuffer, waarin uiteindelijk de energie wordt opgeslagen in de vorm van koude.

Dit systeem wordt bestuurd door een slimme optimalisatie algoritmen voor de voorspelling van de opbrengst van de PV installatie op basis van temperatuur en zonne-instraling, de koude vraag en (onbalans-)marktprijzen. Het optimalisatie algoritme bestaat uit twee delen, één voor de DC vermogensbalans, die zorgt voor de stabiliteit van het systeem, en één voor de optimalisatie van het koelsysteem op basis van de voorspel algoritmen.

In dit project is een demo ZoCool koelinstallatie ontwikkeld en gerealiseerd bij de WFBR in Wageningen. Doel van de bouw van de demo is om de werking, betrouwbaarheid en de eigenschappen van het systeem in praktijk te meten. Het basis systeem (het DC-grid i.s.m. het koelsysteem) heeft meer dan 1 jaar betrouwbaar gefunctioneerd. Daarnaast zijn het opweksysteem (PV-panelen met DC/DC converters) en de koudebuffer (ijsbuffer die via glycolstelsysteem geladen kan worden of koude kan leveren aan condensor-vloeistofonderkoeler) succesvol getest. Binnen het project is het niet gelukt om de optimalisering van de besturing en de ontwikkeling van pieklast buffer (integratie van accupakket) af te ronden en te testen.

De business case van het ZoCool! concept toont aan dat er al niches zijn waarbij het concept economisch kan worden toegepast. Met name voor het voorkomen van een verzwaring van de aansluiting van een fruitteiler, mocht deze van plan zijn uit te breiden. Een fruitteiler met een vermogen van 50kW, zal bij uitbreiding van een LS aansluiting naar een LS/MS aansluiting moeten overstappen. Dit betekent dat er speciaal voor heb een kabel moet worden gelegd van het dichtstbijzijnde verdeelstation naar de koelruimte. Bij een afstand groter dan een kilometer is toepassing van het ZoCool concept rendabel ten opzichte van het vergroten van de aansluiting (en dus het leggen van een extra kabel).

Volgende stap zou het bouwen van een ZoCool koelsysteem zijn in de praktijk voor een specifieke toepassing. Kansrijke toepassingen die onderzocht zijn in dit project zijn koelbewaring hardfruit, koelbewaring tropisch fruit en vriesbewaring. Daarnaast is er nog een kansrijke toepassing gevonden: transkritische CO₂ koelinstallaties. In deze toepassing wil je minimaal draaien in de transkritische condities daarbij helpen het hebben van een smart besturing en een koudebuffer.

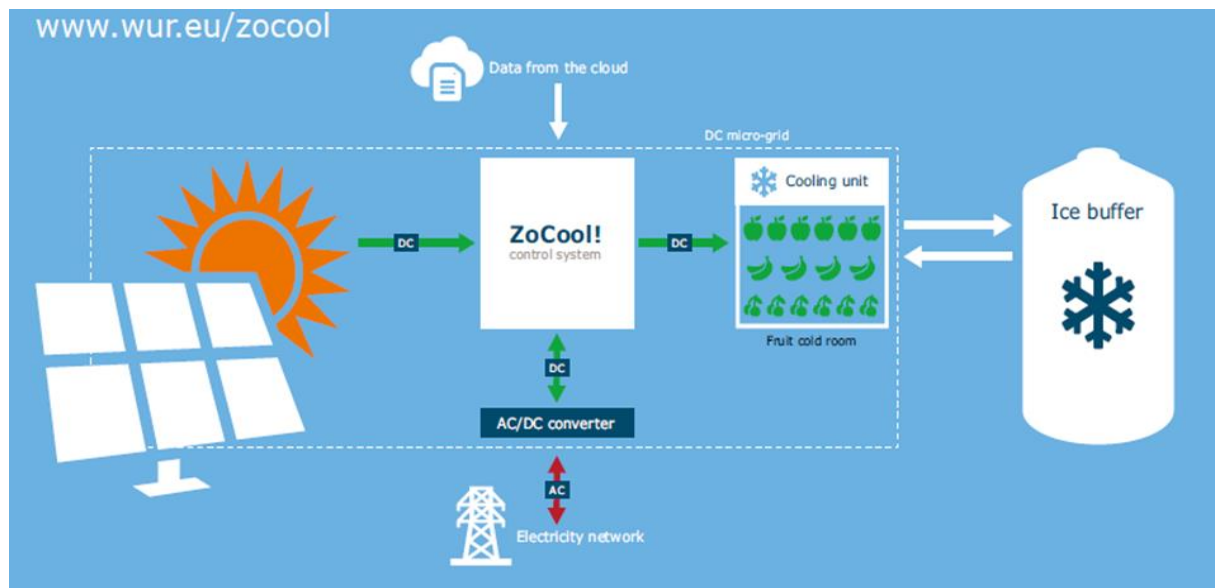
2.2 Inleiding

De transitie van een fossiele naar een duurzame energievoorziening betekent meer afhankelijkheid van variabele bronnen, met name zon en wind. Dit betekent dat er perioden zullen zijn er minder energie wordt geproduceerd dan dat er nodig is en perioden dat er meer wordt geproduceerd. Het huidige systeem dat de productie van elektriciteit continu wordt aangepast aan de vraag (balanceren) wordt steeds lastiger te handhaven als er steeds minder aanstuurbare opwek aanwezig is.

Het aansturen van de elektriciteitsvraag (vraagsturing) en energieopslag zullen hierdoor een steeds belangrijkere rol krijgen in dit balanceren van vraag en aanbod. Echter, afhankelijk van de duur van opslag (en het aantal cycli per jaar) zullen verschillende oplossingen een verschillende rol krijgen. Zo zijn batterijen bijvoorbeeld geschikt voor relatief korte opslagperioden. Ze zijn erg flexibel, hebben een hoge efficiëntie, maar zijn per energie-eenheid (kWh) relatief duur. Haardoor ze op dit moment al economisch rendabel voor het leveren van balanceringsdiensten om korte periodes te kunnen overbruggen (met name FCR: Frequency Containment Reserve). Hierdoor en daardoor veel vermogen kunnen leveren met weinig energie.

Voor langdurige opslag zijn batterijen minder geschikt, omdat de kosten voor het opslaan van meer energie nodig, om een langere periode te overbruggen hoog zijn. Voor de opslag van energie voor langere perioden is opslag in de vorm van warmte/koude, 'pumped-hydro' (internationaal gezien) en op termijn eventueel met behulp van waterstof geschikt.

In ZoCool! wordt gekeken naar opslag van energie in de vorm van koude (een ijsbuffer) ten behoeve van opslag van fruit. Het elektriciteitsverbruik kan door buffering in ijs grotendeels worden losgekoppeld van de afname van elektriciteit uit het netwerk. Hoewel de efficiëntie aanzienlijk lager is dan die van batterijen, is de hoeveelheid energie die (economisch) kan worden opgeslagen veel groter, waardoor de ijsbuffer kan worden gebruikt voor opslag op maandniveau.



figuur 1. Overzicht van het ZoCool concept

Grootschalig koelen en vriezen in Nederland is een grote energieslurper. Van oudsher kwam koelen al voor in Nederland bij kastelen en bv bierbrouwers (Grolsch) in de zogenaamde ijskelders. In de winter werden grote brokken ijs gezaagd uit de stad- en slotgrachten, welke in koele kelders werd opgeslagen om in de zomer te gebruiken om bier te koelen of voor het ijs maken. Een deel van de

huidige koel- en vriescapaciteit is voor continu gebruik, in de havens en voor medische toepassingen, en een deel wordt ingezet over een langere periode van het jaar, in de fruitteelt. Vooral in de fruitteelt staan de grote fruitgebouwen op het platteland. Hierdoor is de fruit sector een interessante markt voor opslag in koude.

2.3 Doelstelling

Het doel van het ZoCool! project was om een ZoCool! systeem te ontwikkelen dat op een slimme manier de energiehuishouding voor koeling in de fruitsector kan regelen. Het systeem bestaat uit een gelijkspanningsnet met daaraan gekoppeld: zonnepanelen, een (DC) koelmachine, een DC regelsysteem en een AC/DC omzetter voor de integratie naar het elektriciteitsnet. Het gebruik van een gelijkspanningsnet heeft als voordeel dat de componenten goedkoper en eenvoudiger zijn en dat er aanzienlijke energie besparingen te realiseren zijn. Bovendien kunnen duurzame energiebronnen zoals zonnepanelen toegepast kunnen worden zonder extra conversie stap om de opgewekte gelijkstroom om te zetten naar wisselstroom. Het bovenstaande systeem is ontwikkeld en getest op het terrein van de WUR en wordt beschreven in paragraaf 2.5.1.

In dit project zijn verschillende koelmethodes bestudeerd en vergeleken: initieel waren dit cryogene koeling en invriezen van het product. In het geval van cryogene koeling wordt koude opgeslagen in een cryogeen medium, dat op het moment van een grote koude vraag vrijgelaten wordt in een ruimte om daarmee binnen korte tijd de temperatuur van de ruimte snel te laten dalen naar de gewenste waarde. In het geval van invriezen wordt koude opgeslagen in ingevroren producten.

Een belangrijke randvoorwaarde bij deze methodes is dat de kwaliteit van het uiteindelijke product (het fruit) dient te worden gegarandeerd. Het cryogeen koelen viel als optie al vrij snel af, doordat het zowel praktisch als economisch niet haalbaar bleek. Als alternatief is gekozen voor opslag van koude in een ijsbuffer, welke kan gevuld en gebruikt door de koelmachine.

In het ZoCool! Systeem wordt gebruik gemaakt van een DC-micro-grid om de vertaling te maken tussen het PV systeem, opslag systeem en koelsysteem. Een DC-powergrid heeft als voordeel dat het direct elektriciteit van PV panelen kan gebruiken voor de zonnige koelmachine zonder conversiestap. Daarnaast zijn DC-motoren en DC-elektronica goedkoper en eenvoudiger dan AC-equivalenten en hebben minder verliezen.

Het slimme ZoCool! systeem wordt bestuurd door een DC-regelsysteem, dat verschillende processen monitort en besluit over de energiestromen. Het DC-regelsysteem gebruikt voorspellingen over de toestand van de opgeslagen producten, over het weer (weersverwachtingen voor temperatuur en zon instraling) en over het elektriciteitsnet (met name elektriciteitsprijzen, maar kan ook reageren op eventuele congestiemanagement prikkels van de netbeheerder). Het ZoCool! regelsysteem bepaalt hoeveel elektriciteit nodig is voor het koel-proces of hoeveel extra elektriciteit opgeslagen kan worden in het koelmedium.

Het regelsysteem van het ZoCool! systeem bestaat uit een aantal algoritmes. Ten eerste is een algoritme ontwikkeld voor slimme netintegratie, dat afhankelijk van voorspelde (onbalans-)electriciteitsprijzen bepaalt of het rendabel is om elektriciteit aan het net terug te leveren of om elektriciteit van het net te gebruiken voor het koelproces. Dit hangt uiteraard af van de verwachte opwek door de zonnepanelen. Hiervoor is dan ook een tweede algoritme ontwikkeld, dat met behulp van de weersvoorspellingen en voor de voorspelling van de opbrengst van de zonnepanelen voorspelt. Deze weersvoorspelling wordt ook gebruikt voor het voorspellen van de koelvraag. Al deze algoritmes leveren input voor het uiteindelijke controle algoritme dat bestaat uit twee delen: een systeem voor de energiebalans, dat met behulp van de voorspellende algoritmes

het energieverbruik optimaliseert, en een controle algoritme voor de DC-vermogensbalans, dat, samen met een batterij, ervoor zorgt dat het systeem technisch niet wordt overbelast bij snelle vermogenswisselingen, en dat de koelinstallatie langzaam kan afschakelen indien nodig.

Het ZoCool! project heeft geleid tot een demo van het ZoCool! systeem bij de WUR. Deze demo wordt in hoofdstuk 2.5 geëvalueerd.

Uit de economische evaluatie is gebleken dat de combinatie van PV panelen., een ijsbuffer en DC installatie economisch competitief kan zijn onder specifieke omstandigheden: Door toepassing van het ZoCool! concept kan een kleine fruit teler, die wil uitbreiden, de kosten voor een verzwaring van zijn aansluiting vermijden. Indien deze kosten groot zijn, in het geval dat hij enkele kilometers van een distributiestation is gelegen, wegen de kosten van de DC installatie, Zonnepanelen en ijsbuffer op tegen de kosten van een verzwaring.

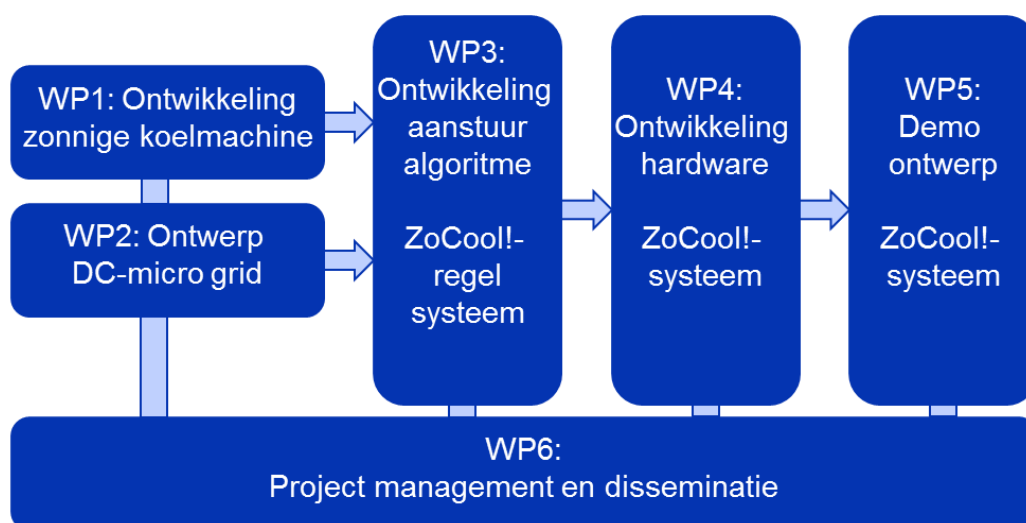
2.4 Werkwijze

Het project is functioneel ingedeeld. De ontwikkeling van het concept en onderzoek naar de randvoorwaarden (zoals de gevolgen voor de productkwaliteit, business case etc.) zijn gedaan in WP 1.

Aangezien een belangrijk deel van het concept gebaseerd is op een DC-micro-grid is dit ontwikkeld in WP2. Een DC-powergrid heeft als voordeel dat het direct elektriciteit van PV panelen kan gebruiken voor de zonnige koelmachine zonder conversiestap. Daarnaast zijn DC-motoren en DC-elektronica goedkoper en eenvoudiger dan AC-equivalenten en hebben minder verliezen. Dit systeem is in WP4 verder ontwikkeld in hardware, welke in WP5 in de demo op de WUR is geïmplementeerd.

Het slimme ZoCool! systeem wordt bestuurd door een regelsysteem, bestaande uit verschillende algoritmen, dat verschillende processen monitort en besluit over de energiestromen. Dit is in WP3 ontwikkeld, en bevat verschillende voorspellingsalgoritmen over de toestand van de opgeslagen producten, over het weer (weersverwachtingen voor temperatuur en zon instraling) en over het elektriciteitsnet (elektriciteitsprijzen en voorspelling van congestie). Het ZoCool! regelsysteem bepaalt hoeveel elektriciteit nodig is voor het koel-proces of hoeveel extra elektriciteit opgeslagen kan worden in het koelmedium.

In de figuur hieronder worden de wekpakketten schematisch weergegeven.



figuur 2. Schematische weergave van werkpakketten

2.5 Werkwijze

2.5.1 Bouw en uitvoering van ZoCool-demo

Het ZoCool Demo bestaat uit de volgende deelsystemen:

- a) Koelinstallatie met DC aangestuurde koelcompressor



figuur 3. Koelinstallatie van testfaciliteiten Phenomea van de WFBR uitgevoerd met ZoCool.

De koelinstallatie van de testfaciliteiten Phenomea is uitgevoerd met ZoCool. De koelinstallatie zelf is een propaan chiller uitgevoerd met drie Bitzer 6FEP-50P 40P Ecoline compressoren. Eén van deze drie compressoren is gekoppeld aan het DC-powergrid van ZoCool. Dit is gerealiseerd door de standaard frequentie regelaar te vervangen door een speciale Emerson frequentieregelaar die DC gevoed kan worden.

- b) Decentraal DC-powergrid (60kW)



figuur 4. Kast met daarin de basiscomponenten van het lokale DC-powergrid.

Er is een decentraal DC powergrid ontwikkeld, waarop de alle elektrische deelsystemen zijn aangesloten. Het gaat hierbij om het compressor K12 van het koelsysteem en de zonnepanelen. Ook het accupakket, die dienst doet als piekshaver/noodstroomvoorziening zou er op aangesloten worden. Het batterij pakket moet via een DC/DC converter aangesloten worden, maar de uitvoering die voldoende vermogen aankan om de compressor te voeden (20-30kW) is nog niet uitontwikkeld.

De compressor K12 is in het DC-grid opgenomen door de Vacon frequentieregelaar van compressor K12 te vervangen voor een speciaal uitgevoerde Emerson frequentieregelaar die DC gevoed kan wordt.

De zon-PV panelen zijn uitgevoerd met door DC-BV geleverde DC-DC converters. Omdat er binnen het project niet voldoende budget was om de PV-panelen op de gewenste schaal neer te leggen, is er voor gekozen om een beperkt aantal panelen (6 stuks) neer te leggen en de aansluiting met het vaste netwerk groter uit te voeren.

De koppeling van het DC-grid aan het elektranet gaat via een speciaal door DC-gebouwde omvormer kast. Deze heeft een vermogen van 60 kW. In de figuur hieronder is de uitvoering weergegeven.

Het lokale DC-powergrid meet de energie stromen en wordt door zijn eigen regeling stabiel gehouden door energie vraag en aanbod te balanceren. Het DC-powergrid is gekoppeld met het standaard elektra netwerk. Omdat er bij de demo slechts een gering aantal panelen liggen wordt (helaas) het merendeel van de stroom opgenomen uit het standaard netwerk. Vergroot je het aantal panelen, dat wordt dit minder of kan er ook terug geleverd worden als alle koude buffers vol zijn.

c) Zon PV-panelen



figuur 5. Dak van testfaciliteiten Phenomea voorzien van 6 stuks PV-panelen met DC-DC converters.

De PV-panelen zijn uitgevoerd met een door DC BV ontwikkelde DC-DC-converter, zodat de stroom gelijk aan het lokale DC-netwerk geleverd kan worden. Doordat de gemeten opbrengst vergeleken wordt met de verwachte opbrengst kan in de toekomst de voorspelling van de energie opwekking nauwkeuriger vastgesteld worden.

d) Ijsbuffer met laad en ontlaadsysteem



figuur 6. Geïsoleerde ijsbuffer met een capaciteit van 9 m³.

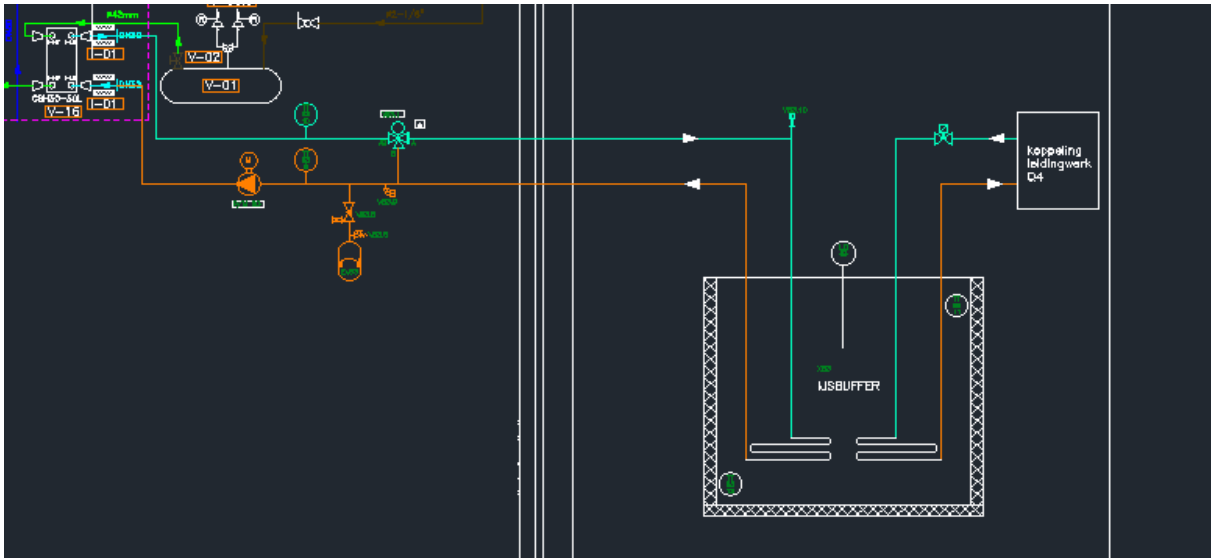
Binnen de ijsbuffer zijn er twee circuits, namelijk: het laden en het ontladen van de ijsbuffer. De werking van de deze twee circuits worden hieronder beschreven.

Laden ijsbuffer

Vanuit de ZoCool algoritme komt er een advies met hoeveel kW de ijsbuffer geladen mag worden. Het aantal kW is om te rekenen in het aantal cm ijs in de ijsbuffer. Dit aantal centimeters wordt geregistreerd door de ijsvolumemeter in de ijsbuffer. Wanneer het advies komt om de ijsbuffer te laden wordt, mits een compressor draait, de magneetklep geopend en komt de koude de ijsbuffer in. De glycol van -13 gaat dan pas door de 'ringleiding' wanneer er een koudevraag is vanuit Phenomea. Wat het debiet is van glycol die door de aftakking van de ringleiding gaat wordt niet gemeten. De diameter van de leiding naar de ijsbuffer is zo gekozen dat de hoofdpomp maar beperkt belast wordt. Door het meten van de snelheid van de aangroei van het ijs kan het debiet eventueel worden verminderd door het inregelen van het glycoldebiet.

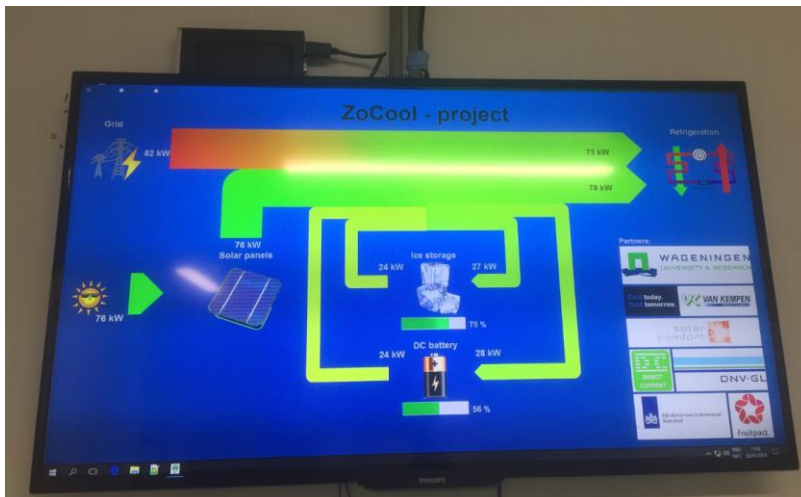
Ontladen ijsbuffer

De energie uit de ijsbuffer kan toegepast worden om de gecondenseerde vloeistof (Propaan) te onderkoelen. Dit zorgt voor een hogere COP en dus een beter rendement van de installatie. Wanneer er een advies vanuit de ZoCool algoritme wordt gegeven om energie van de ijsbuffer de benutten voor onderkoeling zal de pomp voor het ontladen van de ijsbuffer aan gaan. Het advies wordt ook hier gegeven in het aantal centimeters wat gebruikt mag worden. Met de ijsvolumemeter in de ijsbuffer kunnen we zien hoeveel centimeter er al afgesmolten is als we de juiste hoeveelheid hebben gebruikt kunnen we de pomp weer stoppen. Echter voor het onderkoelen van de condensatievloeistof zit ook een risico dat de vloeistof te ver onderkoeld wordt, hierdoor wordt het zuiggas (propaan) niet genoeg oververhit en is dit nadelig voor de compressoren. Om dit te bewaken wordt de voeler(s) waarmee de zuiggasoververhitting mee bewaakt worden, de zuigtemp (Z-12) voor koelgedeelte en zuigtemp (Z-11) voor het vriesgedeelte. Het zuiggas dient minimaal 20K oververhit te worden voor het naar de Bitzer compressoren gaat. Dit betekent dat de hoogste verdampingstemperatuur bepalend is voor het maximale onderkoelen van de condensatietemperatuur. Met een instelling kan aangegeven worden hoeveel de vloeistof maximaal mag onderkoelen. Het setpoint voor de modulerende klep is de condensatietemperatuur - de differentie van het onderkoelen. Met voel V-17 kan dit geregeld worden en dus is V-17 (onderkoelde propaan) de regelende voeler van de modulerende klep voor het ontladen van de ijsbuffer.



figuur 7. Schematische weergave van hoe de vloestofonderkoeler van de ijsbuffer is opgenomen in de propaan koelinstallatie.

e) ZoCool besturing



figuur 8. Weergave van de energiestromen van het ZoCool systeem.

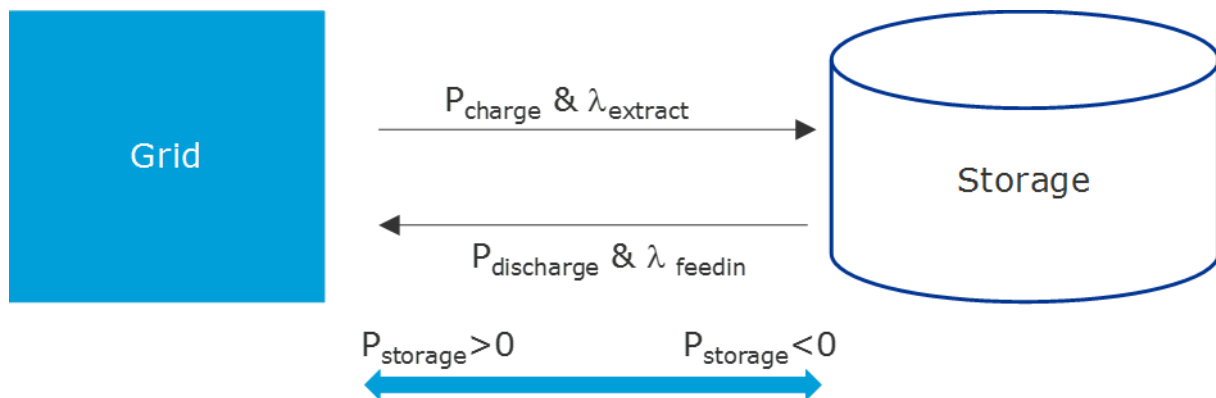
De regeling van het ZoCool systeem is verbonden met het internet zodat deze actuele informatie (o.a. weersvoorspelling) kan ophalen voor smart voorspellingen. Op basis van deze informatie, de actuele informatie van de deelsystemen (opgewekte vermogen PV-panelen, de vermogens uit de DC kast en de benodigde vermogens van de koelinstallatie) en de database met recente waarden.

Het ZoCool algoritme geeft advies of er veel of minimaal gekoeld moet worden en of de ijsbuffer gevuld of juist ontladen moet worden.

2.5.2 Onbalansprijvoorspelling

Een van de aspecten waarop het ZoCool systeem zich kan optimaliseren is de passieve bijdrage aan de FRR (Frequency Restoration Reserve), ofwel de onbalansmarkt. Alle huidige algoritmen worden gebruikt voor het op en afschakelen van opwekking (WKKs, maar ook bijvoorbeeld voor het afschakelen van windenergie indien de prijzen onder nul raken). Bij deze toepassingen is het voorspellen van de uiteindelijke prijs aan het einde van de periode voldoende. Als de prijs te laag wordt zal de opwekking afschakelen, als de prijs hoog genoeg wordt zal de opwekking inschakelen.

Echter bij de toepassing van ZoCool gaat het om buffering/opslag. Hierbij het niet zozeer of de elektriciteitsprijs hoger of lager is dan een bepaalde referentieprijs, maar om het relatieve verschil in prijs met de periodes ervoor en erna. Het is dus van belang om meerdere periodes vooruit te voorspellen.



figuur 9. Een opslagsysteem maakt gebruik het prijsverschillen van elektriciteit om te laden en ontladen, en zal dus de prijs van meerdere periodes moeten voorspellen (elke periode heeft in principe één settlement prijs)

Er zijn verschillende methoden gebruikt voor de voorspelling van enkele ISPs (imbalance settlement period) van de onbalansprijzen, uiteenlopend van relatief eenvoudige ARIMA modellen tot neurale (LSTM) netwerken. Vanwege de volatiliteit van de onbalansprijzen bleek dit geen goede resultaten op te leveren. Uiteindelijk is gekozen om—in combinatie met een (experimenteel binnen DNV GL ontwikkeld) algoritme voor de voorspelling van de onbalans binnen een ISP) een algoritme te ontwikkelen dat gebruik maakt van een exponentiële convergentie naar een historisch gemiddelde prijs.

2.5.3 Leerpunten

- Complexiteit van de optimalisatie en de regeling geleidelijk opvoeren
- ZoCool heeft meerdere toepassingen. Behalve kou bufferen met een ijsbuffer, bleken er meerdere technische mogelijkheden te zijn. Bij een bezoek bij een bloementeler bleken we mogelijkheden te zijn om de kou van CO₂ expansie te gebruiken voor de koelcel.

2.6 Economische evaluatie en marktpotentie

In het resultaat van werkpakket 3.1. de economische evaluatie van het ZoCool concept, toegepast op fruittelers kwam naar voren dat ZoCool rendabel is ten opzichte van een traditionele verzwaring van de aansluiting onder bepaalde omstandigheden (zoals de lengte van de aansluiting en het gebruik van de EIA).

Het grootste economische voordeel van het ZoCool concept is, dat door het gebruik van PV en een ijsbuffer een verzwaring van de aansluiting kan worden vermeden. De kosten van zo'n verzwaring hangen af van het soort en de lengte van de aansluiting. Eventuele kosten als gevolg van een noodzakelijke verzwaring dieper in het netwerk kunnen door de huidige regelgeving op dit moment niet worden 'geogst'. Deze kosten zijn voor rekening van de netbeheerder en worden gecollectiviseerd in de algemene nettarieven. Een fruitteler heeft geen toegang tot eventuele besparingen bij de netbeheerder als gevolg van zijn flexibiliteit en zal dit dan ook niet laten meewegen in de business case.

Er zijn ontwikkelingen die het mogelijk kunnen maken dat de netbeheerder in de toekomst flexibiliteit kan inkopen voor capaciteitsmanagement (zoals bijvoorbeeld USEF). Dit maakt het mogelijk dat dit resulteert in baten voor de fruitteler, waar hij rekening mee kan houden in zijn investeringsbeslissing. Echter eventuele vermeden kosten als gevolg van capaciteitsmanagement zullen afhangen van de situatie in het netwerk (en andere aansluitingen). Binnen ZoCool is hier dan ook verder géén rekening mee gehouden.

2.6.1 Flexibiliteit van ZoCool

Door de toename van variabele energiebronnen, met name wind en zonne-energie, is er meer flexibiliteit in het elektriciteitssysteem nodig. Flexibiliteit is het kunnen aanpassen van het gebruik en/of de opwek van elektriciteit aan de specifieke en veranderlijke omstandigheden, zoals bijvoorbeeld variabele elektriciteitsproductie door windenergie, capaciteitsproblemen in het lokale elektriciteitsnetwerk, of veranderende vraag door het laden van elektrisch vervoer).

Flexibiliteit is echter géén homogeen begrip en hangt af van de duur, grootte en inzetsnelheid van zowel de vraag naar flexibiliteit als de mogelijke aanbieders ervan. Zo zullen de oplossingen voor korte termijn fluctuaties in vraag en aanbod (zoals bijvoorbeeld wordt geregeld door de Frequency Containment Reserve, FCR) , anders zijn dan een oplossing voor het opvangen van een tekort van enkele weken in opwek van wind en zonne-energie in de winter, door mistig en windstil weer, de zogenaamde 'kalte Dunkelflaute', dat zich mogelijk eens in de paar jaar zal manifesteren.

Het ZoCool concept levert in principe twee vormen van flexibiliteit, welke zijn uitgewerkt en geëvalueerd in het rapport van werkpakket 1.3 'Economische evaluatie'. Ten eerste is dit de flexibiliteit voor de korte termijn voor de onbalansmarkt (passieve bijdrage aan de frequentie restauratie reserve (aFRR), voor een duur van 15 minuten). En ten tweede is dit het gebruik van de ijsbuffer om de dagelijkse cyclus van de PV installatie op te vangen, met als uiteindelijk doel de energie (koude) op te slaan om te voorkomen dat de aansluiting van het koelhuis zal moeten worden verzwaid om het koelhuis gedurende de oogstmaand (september) van voldoende energie te voorzien ('piekschering' van de aansluitcapaciteit). In de maanden vóór de fruitoogst zal de buffer maximaal worden geladen, en gedurende de oogst zal deze het koelsysteem van genoeg extra energie voorzien, samen met de bestaande netaansluiting en de energie uit de PV panelen).

Bijkomend voordeel van laatste vorm van flexibiliteit is dat een groot deel van de gebruikte zonne-energie die de PV panelen gedurende de dagen in de zomer niet worden teruggevoerd in het net (met mogelijke spanningsproblemen tot gevolg), maar wordt gebruikt om de ijsbuffer te vullen.

Hierdoor is het mogelijk om—zonder investeringen in het netwerk of de aansluiting—meer PV te integreren in het systeem.

2.6.2 De waarde van het ZoCool concept

In begin 2016 is binnen het werkpakket 1.3 de business case voor het ZoCool concept uitgewerkt (1). In onderstaande tabel zijn de kosten voor de aanpassingen van de energievoorziening van een uitbreidende fruitteler weergegeven. (de verzwaring van de aansluiting is gebaseerd op een verzwaring van een 3*80 A laagspanningsaansluiting naar een MS/LS aansluiting met een afstand van 1km tot het dichtstbijzijnde middenspanningsstation).

<i>Gemiddelde extra Jaar inkomsten (t.o.v. niet uitbreiden)</i>	<i>Verzwaring aansluiting</i>	<i>Verzwaring +PV</i>	<i>ZoCool</i>
<i>Resultaat (opbrengst- kosten)</i>	€ -20.597	€ -12.445	€ -8.713
<i>Jaarlijkse kosten investering</i>	€ -5.223	€ -15.766	€ -21.471
Totaal per jaar	€ -25.820	€ -28.212	€ -30.184

tabel 1, overzicht kosten ZoCool gemaakt in maart 2016 (1). Gebruikte kentallen: rentevoet=6% (WACC); looptijd=15 jaar.

Gedurende de looptijd van het project zijn nieuwe inschattingen gemaakt voor de kosten van ZoCool. Met name het inzicht in de investeringen voor het PV systeem, de ijsbuffer en het DC systeem zijn verbeterd.

<i>Gemiddelde extra Jaar inkomsten (t.o.v. niet uitbreiden)</i>	<i>Verzwaring aansluiting</i>	<i>Verzwaring +PV</i>	<i>ZoCool</i>
<i>Resultaat (opbrengst- kosten)</i>	€ -20.995	€ -13.295	€ -10.406
<i>Jaarlijkse kosten investering</i>	€ -5.058	€ -13.809	€ -17.425
Totaal per jaar	€ -26.053	€ -27.105	€ -27.831

tabel 2, Ge-update overzicht van de kosten ZoCool. Gebruikte kentallen: rentevoet=6%; looptijd=15 jaar.

Op basis van deze gegevens blijft een traditionele verzwaring van de aansluiting de goedkoopste oplossing voor een uitbreidende fruitteler. Zowel het PV systeem (dat zowel de case 'Verzwaring + PV' als in het ZoCool concept wordt gebruikt) als de ijsbuffer zijn goedkoper dan in 2016 is aangenomen. De kosten voor elk van de opties liggen dan ook erg dicht bij elkaar. Het verschil tussen de opties ligt vooral in de balans tussen de investering (het hoogste voor ZoCool) en periodieke kosten/opbrengsten (het hoogste voor een traditionele verzwaring van de aansluiting). Elementen die de kosten voor de investering lager maken (lagere rente, langere looptijd) zijn voordelig voor ZoCool en nadelig voor een traditionele verzwaring. Uitgaande van een looptijd van 15 jaar, zal ZoCool even rendabel zijn als een verzwaring bij een rente van 3,7%. Bij een rentevoet van 2,75 is ZoCool even rendabel als een verzwaring + PV installatie.

In de economische evaluatie (1) is daarnaast rekening gehouden met het belastingvoordeel van de energie investeringsaftrek (EIA). EIA is een regeling waarbij de (kosten voor) extra investeringen van energiezuinige aanpassingen afgetrokken worden van de belasting. Hierdoor wordt ZoCool rendabeler dan de andere opties.

Buiten deze puur economische beschouwing is géén rekening gehouden met andere aspecten, zoals extra risico's als gevolg van het gebruik van nieuwe technologie en de beperkte uitbreidingsmogelijkheden (met het ZoCool concept kan een fruitteler maximaal 20% meer fruit opslaan. Bij een verdere uitbereiding zal hij alsnog een verzwaring van zijn aansluiting moeten aanvragen). Aan de andere kant is ook geen rekening gehouden met de eventuele mogelijkheden

van kostenbesparing voor de netbeheerder hoger in het netwerk en andere toepassingen van de flexibiliteit die de ijsbuffer biedt.

2.6.3 Discussie (Marktpotentie van het ZoCool concept)

Toepassing van het ZoCool concept bij fruittelers is een specifieke toepassing van het gebruik van lokale opwek met behulp van PV panelen en opslag, in dit geval thermische opslag met behulp van een ijsbuffer. Bij het ZoCool concept wordt lokale energie lokaal gebufferd/opgeslagen en lokaal gebruikt, waardoor het netwerk wordt ontlast en de lokaal opgewekte energie optimaal gebruikt.

De decarbonisatie, met name het gas-loos maken, van het bedrijfsleven, waaronder de industrie en de verwarming en koeling van kantoorgebouwen, zal voor een groot deel tot gevolg hebben dat deze wordt geëlektrificeerd. Hiervoor zal lokaal opgewekte energie gebruikt, maar daarnaast zal de energie voor een groot deel door het elektriciteitsnet moeten worden aangevoerd. Om deze wisselende stromen te kunnen faciliteren, zal goedkope lokale opslag, zoals gebruikt in het ZoCool concept, samen met lokaal opgewekte energie moeten worden ingezet.

Elektrochemische opslag (batterijen) is een algemene en flexibele, zij het relatief dure oplossing. Veel goedkoper is het om gebruik te maken van thermische opslag, indien dit mogelijk. Een groot nadeel van 'pure' thermische opslag, is het temperatuurverschil dat nodig is bij zowel het 'laden' als 'ontladen' van het thermische opslagsysteem, wat sterk ten koste gaat van de uiteindelijke efficiëntie. Hoe meer deze thermische opslag kan worden geïntegreerd in het uiteindelijke proces, hoe beter opslag tot zijn recht komt.

Het ZoCool concept is hiervan een goed voorbeeld, omdat de koude niet rechtstreeks wordt toegepast voor het koelen, maar op een meer intelligente wijze wordt gebruikt binnen het koelproces.

2.7 Conclusie en aanbevelingen

Er is een demo gebouwd bij de koelfaciliteiten in Wageningen om het ZoCool concept te ontwikkelen en te testen op praktische uitvoerbaarheid. Dit is succesvol verlopen. Dit wil niet zeggen dat alle ontwikkeling volledig zijn afgerond maar het concept is nu zo ver ontwikkeld dat het in de praktijk op kleine schaal toegepast zou kunnen worden.

Economisch gezien kan ZoCool goed toegepast worden wanneer een (fruitteel-)bedrijf wil uitbreiden, maar de kleingebruikersaansluiting een bottleneck vormt. Door ZoCool toe te passen kan er meer koelvermogen opgewekt worden en wordt de koeling duurzamer. Het toepassen van ZoCool met behoud van de kleinverbruikersaansluiting geeft een beperkte groeimogelijkheid in koelcapaciteit (orde +50%). Dit kan voldoende zijn voor een fruitteeler met eigen koelfaciliteiten, maar is niet toereikend voor loonkoelers. Dan is er altijd een grootverbruik aansluiting nodig en dan vervalt een belangrijk financieel voordeel van het niet hoeven vergroten van de verbruikersaansluiting.

2.7.1 Vervolgactiviteiten en mogelijkheden voor spin-off

Op moment dat bedrijven op grotere schaal gebruik gaan maken van zon pv- collectoren en het terug-leveren van stoom op grote schaal niet mogelijk of gewenst is, dan is het ZoCool-concept met zijn energie buffering i.c.m. smart control ook zeer goed toepasbaar. Economisch is dit op moment nog niet direct haalbaar. Echter, soms is het echter ook mogelijk om ZoCool-concept in uitgekleden vorm toe te passen, waardoor het economisch wel weer interessant kan worden. Dit geldt met name voor koelprocessen met sterk schommelende koudevraag en/of transkritische CO₂ koelinstallaties.

Om het ZoCool concept verder uit te ontwikkelen en aan te tonen wat de voordelen zouden praktijk demo gebouwd moeten worden voor deze toepassingen.

3 Uitvoering van het project

3.1 Problemen en wijzigingen tijdens de uitvoering van het project

In deze paragraaf worden de technische en organisatorische problemen besproken die zich tijdens het project hebben voorgedaan, en de wijze waarop deze problemen zijn opgelost

1. Vertraagd start: In de oorspronkelijke aanvraag zou het project lopen van 1 januari 2014 tot 29 februari 2016. De daadwerkelijke start van het project vond plaats in september 2014. Deze vertraagde start had twee voornaamste redenen:
 - a. de subsidiepercentage van de werkzaamheden van DNV-GL
 - b. het vertalen van de activiteiten in de projectaanvraag in een daadwerkelijk technisch en economische haalbaar concept.
2. De haalbaarheid van cryogeen koelen bleek inferieur te zijn aan een ijsbuffer. Cryogeen koelen is binnen het project vervangen door het gebruik van koude-buffering met een hoger temperatuur niveau. Op basis van technische haalbaarheidsevaluatie komt de ijsbuffer als meest interessante optie naar voren. Deze is dan ook gekozen en toegepast in de demo.
3. Projectverlenging 1: Aanvraag voor verlenging van de looptijd tot 1 oktober 2017. Reden voor deze wijziging was dat het project daadwerkelijk begin 2015 van start is gegaan. Het technische ontwerp van het project zou in de eerste helft van het project worden geïmplementeerd, waarna nog een jaar nodig was om tot een goede validatie van de technologie en de business case te komen.
4. Halverwege het project is, deels wegens tekort aan projectmanagement resources (met name vertrek van de projectmanager), en deels door de verschuiving van de werkzaamheden naar de implementatie van het concept in de demonstratie in Wageningen, de inhoudelijke projectleiding van DNVGL overgedragen naar de WUR.
5. Verlening tot 31-7 2018 om alle deelsystemen van het concept in de demo te kunnen implementeren en testen. Hierbij ging het met name om de ijsbuffer, de betrouwbaarheid en het functioneren van het DC systeem en het functioneren van het PV systeem.

Ondanks de uitloop in het project binnen budget gerealiseerd dankzij het centraal stellen van het einddoel en goede samenwerking.

3.2 Toelichting op verschillen tussen de begroting en werkelijk gemaakte kosten

Onderstaande tabel (tabel 3) geeft een overzicht van de begroting en realisatie van ZoCool.

Deelnemers	Subsidiebedrag	Budget	realisatie
DNV GL (DNV KEMA)	€ 85.379		
Van Kempen	€ 88.860		
WUR	€ 266.401		
DCBV	€ 48.480		
Solar Comfort (JC van Kessel)	€ 59.600		
Fruitpact	€ 8.160		
Totaal	€ 556.880		

tabel 3. Overzicht van de gevraagde subsidie, begroting en realisatie per projectpartner

Vrijwel alle projectpartners hebben meer geïnvesteerd van oorspronkelijk begroot. Een belangrijke oorzaak hiervoor is de onderschatting van de moeilijkheden die integratie van complexe elementen tot een nog complexer geheel met zich meebrengen.

3.3 Toelichting wijze van kennisverspreiding en PR

Er zijn veel disseminaties geweest tijdens bijeenkomsten van bestaande branche verenigingen (o.a. KNvVK, Fruitpact, NVKL, Watts Connect). Daarnaast zijn er verscheidene publicaties geweest in relevante media (RCC, Fruit Logistica Berlijn, de website van Fruitpact en van de WUR) en is bij de WUR demonstratie-installatie gebouwd, met een groot informatiescherm. Tijdens het project hebben verschillende (fruit-)bedrijven zich gemeld of ZoCool al beschikbaar was.

De volgende fase in de verdere ontwikkeling van het concept vraagt een grootschalige demonstratie in de praktijk, waarin in een toepassings-specifieke demonstratie de volwassenheid van het concept wordt aangetoond. Met name wat betreft de betrouwbaarheid, aangezien de risico's voor een fruitteler aanzienlijk kunnen zijn.

Bij de aanvragen over informatie van bedrijven blijkt overigens dat niet allen interesse is voor het hele systeem, maar ook voor deelsystemen, zoals het gebruik van een ijsbuffer, vloeistof onderkoeling (het gebruik van grondwater voor het koelen van de condensor).

De projectpartners, die commerciële belangen hebben in het concept, beraden zich nog op verdere stappen voor implementatie, echter de huidige veranderingen in de koeltechniek (het uitfaseren van koudemiddelen, schaalvergroting bij bestaande klanten, etc.) vragen veel aandacht.