

## **rapportage**

### **Meer energie in aquifers**

#### **korte omschrijving**

De monitoring van een aquifersysteem met een maximum temperatuur van 40 graden.

#### **versie**

V 1.0

#### **datum**

6 september 2017

#### **opdrachtgevers**

Kas als Energiebron  
contact A. Dijkshoorn  
e-mail [adijkshoorn@ltoglaskracht.nl](mailto:adijkshoorn@ltoglaskracht.nl)

Ministerie van EZ-DAK  
Postbus 20401  
2500 EK Den Haag  
Contact Drs. Ing. L. Oprel



project 14896

#### **opdrachtnemers**

DLVge  
Horti House, Violierenweg 3  
2665 MV Bleiswijk  
contact Arjan van Antwerpen  
telefoon 010-4623030  
e-mail [a.vanantwerpen@dlvge.nl](mailto:a.vanantwerpen@dlvge.nl)



project 13-0023

IF Technology bv  
Postbus 605  
6800 AP Arnhem





## inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>SAMENVATTING</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ONDERZOEKSVOORSTEL</b> .....	<b>5</b>
2.1	Probleemstelling .....	5
2.2	Doelstelling .....	6
2.3	Afstemming met ander onderzoek .....	7
2.4	Werkwijze .....	8
<b>3</b>	<b>UITWERKING</b> .....	<b>12</b>
3.1	Algemeen .....	12
3.2	Werkpakket 1: Ontheffing Provincie .....	12
3.3	Werkpakket 2: Monitoringsopzet .....	12
3.4	Werkpakket 3: Debietverhoging bestaande bronnen .....	14
3.5	Werkpakket 4: Temperatuur en opslagrendement .....	15
3.6	Werkpakket 5: Monitoring.....	16
3.7	Werkpakket 7: Kennisoverdracht .....	26
3.8	Planning en doorlooptijd .....	27
<b>4</b>	<b>RESULTATEN</b> .....	<b>28</b>
4.1	Conclusies .....	28
4.2	Aanbevelingen .....	30
<b>BIJLAGE A</b>	<b>BRONRAPPORTEN PER JAAR</b> .....	<b>32</b>
<b>BIJLAGE B</b>	<b>MEETDATA</b> .....	<b>33</b>
<b>BIJLAGE C</b>	<b>MONITORINGSOPZET</b> .....	<b>36</b>
<b>BIJLAGE D</b>	<b>VELDMETINGEN BRONNEN</b> .....	<b>37</b>
<b>BIJLAGE E</b>	<b>KENNISOVERDRACHT</b> .....	<b>60</b>



## 1 Samenvatting

Warmte-koudeopslagsystemen (WKO's) blijken in de praktijk niet altijd aan de verwachting te voldoen. Dit heeft te maken met bijvoorbeeld slechte (ontwerp) afstemming tussen onder- en bovengrond, verkeerde inregeling of gebruik of beperkingen door de grenzen die aan de WKO worden gesteld. Meetgegevens om de systemen doelmatig te kunnen optimaliseren zijn niet altijd beschikbaar.

Door het verhogen van de infiltratietemperatuur van de WKO wordt bij dezelfde verpompte hoeveelheid grondwater een grotere hoeveelheid warmte opgeslagen. Ook is de aansluiting op bovengrondse systemen gemakkelijker te realiseren door het kleinere verschil in temperatuur tussen de waarden in de WKO en de waarden in het bovengrondse systeem. Doordat de koude temperatuur in de WKO ook wat hoger kan zijn (omdat door de toegenomen warme temperatuur er voldoende warmte kan worden opgeslagen) neem ook de COP van de warmtepomp toe. De verdamper hoeft minder koude temperaturen te genereren. Echter, het vergroten van de infiltratietemperatuur heeft effect op de processen in de bodem. Ook kan het rendement van de opslag slechter worden doordat er een hogere temperatuur aanwezig is ten opzichte van de omgevingstemperatuur. Er zijn veel theoretische benaderingen, maar er is nog maar een geringe hoeveelheid praktische meetdata beschikbaar.

De bestaande WKO en bovengrondse installatie bij Gebr. Van Duijn te Steenberghe was zeer geschikt om als pilot te fungeren in het onderzoek naar verhoogde temperatuur. De Provincie Noord-Brabant wilde hieraan meewerken omdat de WKO afgescheiden ligt van gevoelige gebieden (bv waterwinning) in de Provincie. Aangezien het een pilotproject betrof is er een geheel nieuwe vergunning voor afgegeven. De monitoring van de WKO is vooraf met de Provincie doorgesproken en goedgekeurd.

De WKO bij van Duijn is gedurende de jaren 2015 t/m halverwege 2017 gemonitord. De resultaten laten zien dat de temperatuur die in de bodem is geïnfilteerd (35 °C) ook weer onttrokken wordt bij onttrekking, tenzij langdurig wordt onttrokken. Tijdens de monitoringstijd is er echter ruim meer warmte onttrokken dan geïnfilteerd. Daarnaast is er veelal op dezelfde dag geïnfilteerd en onttrokken, waardoor de totale seizoensopslag maar zeer gering was. Door beide situaties is het niet mogelijk gebleken de warme bel te onderzoeken, waardoor er geen uitspraak kan worden gedaan over de ondergrondse efficiëntie van de WKO.

De chemische samenstelling van de WKO is geanalyseerd. Doordat dit water uit de warme bron genomen is, kunnen wel conclusies getrokken worden met betrekking tot de invloed op de samenstelling van de WKO. Uit de metingen komt naar voren dat er door de verhoogde temperatuur sprake is van mobilisatie van organische stof die vervolgens direct wordt verbruikt voor de reductie van sulfaat. Hierdoor is zowel de sulfaatconcentratie als de ijzerconcentratie met enkele mg/l afgenomen. Daarnaast is sprake van een toename in de concentraties calcium en bicarbonaat, wat wordt toegeschreven aan het mengen van grondwater van verschillende dieptes. Deze invloeden treden alleen direct rond de bronnen op. Nadelige effecten op de grondwaterkwaliteit worden niet verwacht. Wel wordt aanbevolen om de monitoring van de temperatuur en grondwaterkwaliteit voort te zetten om te kunnen vaststellen hoe deze effecten zich verder ontwikkelen. Ook is vastgesteld dat er sprake is van opwarming van de ondergrond tussen 10 en 30 m-mv. Deze opwarming wordt waarschijnlijk voor een belangrijk deel veroorzaakt door de effecten van het plaatsen van de kassen en slechts deels door de warmteopslag.

Naast de WKO bij van Duijn is er ook onderzoek verricht naar voorspelbaarheid van de invloed van temperatuur op de processen in de bodem bij andere WKO's. Dit kon maar gering worden aangetoond door het gebrek aan betrouwbare meetdata. Op dit onderwerp

is separaat het rapport "*thermisch rendement hoge & middelhoge temperatuur warmteopslag in de bodem*" opgesteld.

Uit het onderzoek komen de volgende conclusies naar voren:

- ◇ Er is geen nadelige invloed geconstateerd op de chemische samenstelling van het grondwater als gevolg het verhogen van de opslagtemperatuur naar 35 °C.
- ◇ De verbetering van de bovengrondse COP (de bron is geladen met ca. 10 °C in plaats van 6 °C) en het lagere debiet (groter verschil tussen koude en warme temperatuur in de bron) zorgde voor een ander gebruik van de bron waardoor meer sprake was van korte(re) termijn opslag (sneller terugwinnen van de opgeslagen warmte en daardoor kleinere warmtevoorraad) in plaats van seizoensopslag. Voor de analyse van de resultaten van dit project was dit negatief omdat hierdoor minder conclusies konden worden getrokken.
- ◇ Door meer aandacht te geven aan het energieverbruik en meer te sturen in strategie en daarmee de mogelijkheid van een seizoensopslag beter te benutten is het mogelijk om de efficiëntie te verbeteren.
- ◇ De WKO werkt zeer betrouwbaar en zonder continue aandacht (zoals bij een WKK). Hierdoor wordt er al snel echter minder aandacht aan besteed, terwijl het wel van belang is de WKO goed te monitoren.

De aanbeveling uit dit onderzoek is het aantal WKO's met verhoogde temperatuur uit te breiden. Daarnaast is het eenvoudig de WKO bij van Duijn langer te monitoren om meer data te kunnen genereren.

## 2 Onderzoeksvoorstel

### 2.1 Probleemstelling

De glastuinbouwsector is innovatief en steeds op zoek naar nieuwe methoden om de teelt en de klimaatbeheersing in de kas efficiënter te maken. Zo worden er bijvoorbeeld warmte-koudeopslagsystemen (WKO's) toegepast. In de praktijk blijken WKO-systemen niet altijd aan de verwachting te voldoen. Dit heeft vaak te maken met het feit dat het systeem niet goed ingeregeld is, of dat het afgiftesysteem niet geschikt is voor de gehanteerde temperatuurniveaus. Meetgegevens ontbreken echter om de systemen doelmatig te kunnen optimaliseren. Per 1 juli 2013 is met het wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen het bemetere van nieuw aan te leggen WKO's uitgebreid. Oude systemen vallen echter nog onder de oude regels.

Indien een WKO gebruikt wordt voor de verwarming gebeurt dit in combinatie met een warmtepomp. Naast WKO systemen zijn er ook andere systemen die gebruik maken van de ondergrond. Dit zijn MTO (midden temperatuur opslag, ca. 45 °C) en HTO systemen (hoge temperatuur opslag, ca. 90 °C). Bij dergelijke systemen wordt een overschot aan warmte opgeslagen in de ondergrond tot het moment dat deze nuttig gebruikt kan worden. Het voordeel van deze systemen is dat de inzet van de warmtepomp kleiner is, of zelfs geheel vermeden kan worden. Dit maakt de systemen energetisch gezien gunstiger voor warmtelevering dan WKO systemen.

Tot 2013 zijn er slechts enkele MTO en HTO systemen gerealiseerd. Dit is enerzijds te wijten aan de economische haalbaarheid, en anderzijds aan de wetgeving. De economische haalbaarheid kan enorm vergroot worden als het putontwerp dusdanig aangepast kan worden dat grotere debieten toelaatbaar zijn. Ook hiervoor zijn er onvoldoende meetgegevens om het putontwerp adequaat aan te kunnen aanpassen. De benodigde meetgegevens kunnen verkregen kunnen worden door debietsmetingen bij bestaande projecten uit te voeren.

Een ander aspect dat de economische haalbaarheid bepaalt is het opslagrendement. Hoe hoger het opslagrendement, hoe hoger de economische haalbaarheid. Het opslagrendement kan vergroot worden door slimmer te ontwerpen. Hiervoor is meer inzicht in processen in de bodem die het opslagrendement bepalen noodzakelijk. Dit kan inzichtelijk gemaakt worden door temperatuurmetingen in bestaande putten uit te voeren.

De vergunbaarheid van MTO en HTO systemen is lastig omdat vergunningverlenende instanties onvoldoende inzicht hebben in wat er in de bodem gebeurt. Ook hier kunnen de temperatuurmetingen extra inzicht verschaffen, hetgeen de vergunbaarheid eenvoudiger maakt.

De regelgeving stelt beperkingen aan de maximale opslagtemperatuur in de ondergrond tot een diepte van 500 m-mv. Door het verhogen van de opslagtemperatuur kunnen het vermogen van de opslagsystemen en de COP van de bovengrondse installatie worden verbeterd. Een verhoogde opslagtemperatuur heeft niet alleen invloed op de diverse parameters in de bodem (chemische eigenschappen, bodemleven etc.), maar ook op het opslagrendement dat op zijn beurt de thermische balans in de bodem bepaalt. Een verhoogde opslagtemperatuur betekent een groter temperatuurverschil tussen het warme water en het omringende grondwater. Doordat de dichtheid afneemt bij een toename van de temperatuur, neemt door de verhoogde temperatuur ook het dichtheidsverschil tussen het warme water en het omringende grondwater toe. De neiging van het warme water om in opwaartse richting te stromen neemt daardoor toe, wat kan leiden tot een afname van het opslagrendement.

Samenvattend is het imago van de verschillende typen opslagsystemen niet onverdeeld goed door negatieve ervaringen, hoge kosten en geringe inzetbaarheid. De energielevering met de WKO kan worden vergroot door de opslagtemperatuur te verhogen. Dit heeft echter consequenties voor de samenstelling van het grondwater, het opslagrendement en de thermische balans. Er is veel theoretisch werk verzet in de afgelopen jaren maar het ontbreekt nog aan daadwerkelijke praktijkmetingen om de theoretische modellen te valideren en systemen beter te laten presteren. Hierdoor zijn zowel het bevoegd gezag (de Provincie) alsook ondernemers en investeerders terughoudend om MTO of HTO toe te staan/toe te passen.

Er is op dit moment onvoldoende goed gedocumenteerde ervaring, waardoor de ontwikkeling in MTO/HTO stagneert. In de glastuinbouw geldt dit ook voor (lage temperatuur) WKO-systemen.

## 2.2 Doelstelling

Dit project heeft als doelstelling om:

- ◇ de toepasbaarheid van WKO/MTO/HTO te bevorderen door:
  - het valideren van de resultaten uit voorgaand met name theoretisch onderzoek (bestaande relaties en modellen);
  - optimaliseren ontwerpnormen MTO/HTO;
  - een standaard monitoringsplan te realiseren om de prestatie van de bronnen te kunnen optimaliseren en vergelijken;
  - praktisch inzicht verschaffen in het effect van een MTO of HTO ten opzichte van een WKO;
  - het vergroten van de acceptatie en toepassing van MTO/HTO;
- ◇ energiebesparing te realiseren door:
  - het kunnen vergroten van de COP van de bovengrondse installatie en daarmee de uitstoot van CO<sub>2</sub> te reduceren;
  - de bovengrondse installatie beter af te stemmen op de WKO/MTO/HTO en vice versa;
  - het vergroten van de efficiëntie en het rendement van de opslag.
- ◇ de verduurzaming te bevorderen door:
  - het vergroten van de toepassing van opslagsystemen voor opslag van duurzame bronnen of zonnewarmte.

### Technische doelstellingen

De technische doelstellingen focussen zich enerzijds op de prestatie van de ondergrondse opslag en anderzijds op de bovengrondse aansluiting op het verwarmingssysteem van de ondernemer.

### Energiedoelstellingen

Dit project is faciliterend aan het behalen van de energiedoelstelling binnen de kas als energiebron. Door de kansen/toepasbaarheid van WKO/MTO/HTO te vergroten is het mogelijk seizoensopslag beter te benutten, waardoor enerzijds zonnewarmte beter kan worden opgeslagen en benut en anderzijds (met fossiele bronnen) als bijproduct opgewekte warmte kan worden bewaard en beter benut zodat nieuwe warmteproductie in de winter wordt vermeden. Een verhoogde en verbeterde toepassing leidt tot de werkelijke besparing en verduurzaming en dit project is hieraan faciliterend.

### Nevendoelstellingen

Een nevendoelestelling is de economische en juridische haalbaarheid van een WKO/MTO/HTO te verbeteren.



## 2.3 Afstemming met ander onderzoek

### Monitoring WKO (Metingen bij de WKO van Gebr. van Duijn)

De WKO van de Gebroeders van Duijn is sinds 2008 in bedrijf. Vanaf de start is een uitgebreide energieregistratie bijgehouden. Bij Gebroeders van Duijn is eerder een kennisoverdrachtsproject uitgevoerd (door DLV glas & energie), waarbij groepen tuinders werden geïnformeerd over het toepassen van een warmtepomp achter een WKK installatie in combinatie met een WKO, waarbij de efficiëntie van het gehele systeem is verbeterd. De nadruk bij deze kennisoverdracht lag op het discussiëren met geïnteresseerde ondernemers om zo de kennisoverdracht beter te laten inzakken bij de doelgroep. Dus een kleinere doelgroep gericht sterk informeren door middel van discussie. Dit format was succesvol.

In 2002 is het project standaard opzet monitoring warmtepompen in de glastuinbouw gerealiseerd. Dit project is uitgevoerd door DLV glas & energie en TNO. In het project is een standaard methode voor het monitoren van warmtepompen beschreven om zodoende rendementen en de energie-efficiëntie te kunnen vergelijken tussen verschillende installaties.

De monitoring bij de bron van Gebroeders van Duijn heeft een aantal voordelen:

- ◇ De bron draait vanaf de start nu ca. 3 jaar zonder problemen.
- ◇ Er is goede data aanwezig.
- ◇ Het is relatief eenvoudig en er zijn geringe middelen nodig om de bovengrondse installatie zo aan te passen dat de bron met een hogere temperatuur geladen kan worden waarbij er ook een beoogd COP voordeel is in die installatie (dus niet alleen voor proefdoeleinden de temperatuur te verhogen).

### Onderzoek HTO/MTO

Voor HTO/MTO is beperkt monitoringsdata beschikbaar, maar wel veel theoretisch onderzoek uitgevoerd. Dit project is onder andere een vervolg op een aantal samenhangende studies die in 2011/2012 zijn uitgevoerd onder begeleiding van de Stichting Kennisontwikkeling Bodem, te weten "Meer met Bodemenergie", "Efficiënt met hogere bodemtemperaturen" en "ondiepe geothermie". Het doel van deze studies was inzicht verschaffen in de problematiek betreffende hogere opslagtemperaturen in de bodem. Dit brede onderzoek was gericht op de ondergrond zelf, maar ook op de bovengrondse aansluiting.

- ◇ *Meer met bodemenergie*: Overkoepelend project waarin alle belanghebbende partijen zijn vertegenwoordigd (Ministerie, Productschap tuinbouw, provincies etc.). In dit project stond kennisontwikkeling over bodemopslag centraal.
- ◇ *Efficiënt met hogere bodemtemperaturen*: Dit project is aanvullend uitgevoerd op "Meer met bodemenergie" door o.a. DLV glas & energie en IF Technology, met als nadruk het verkrijgen van inzicht in de effecten van hogere opslagtemperaturen op de energie efficiëntie van de gehele installatie, ook bovengronds.
- ◇ *Ondiepe geothermie*: Dit project is aanvullend uitgevoerd op "Meer met bodemenergie" door o.a. DLV glas & energie en IF Technology waarbij de nadruk is gelegd op het toepassen van geothermie op diepten minder dan 1.000 meter en de toepassing van deze warmte op glastuinbouwbedrijven.
- ◇ *Ontwerpnormen voor Bronnen voor koude-/warmteopslag*: Een onderzoek uitgevoerd in opdracht van NOVEM, project nr. 149.508-105.0, N. Buik, IF Technology, Arnhem.
- ◇ *Analysis of the Recovery Efficiency of High Temperature Aquifer Thermal Energy Storage*, Een afstudeeronderzoek van G. Schout, IF Technology. 2012.
- ◇ *Optimalisatie van het temperatuurniveau bij warmteopslag*. van Elswijk, R. C., & Willemsen, A., IF Technology, 2002.

Uit de voornoemde onderzoeksprojecten zijn de knel- en onderzoekspunten geformuleerd waar in de praktijk rekening mee moet worden gehouden als hogere opslagtemperaturen

in de bodem worden toegepast. Deze punten moeten meegenomen worden in breed gedragen pilotprojecten. Van belang daarbij is het gehele systeem te beoordelen, dus niet alleen de bodem of de efficiëntieverbetering bovengronds, maar de gehele interactie.

## **2.4 Werkwijze**

De werkzaamheden zijn in een aantal werkpakketten opgedeeld om een duidelijke afbakening te krijgen tussen de werkzaamheden. De werkzaamheden hebben betrekking op:

- ◇ Het beoordelen van het functioneren van de WKO en de bovengrondse installatie bij van Duijn met een verhoogde temperatuuropslag in de bron.
- ◇ Het testen van de debietmogelijkheden van een aantal bestaande opslagsystemen.
- ◇ Het opstellen van een temperatuurprofiel bij een aantal bestaande opslagsystemen.
- ◇ Kennisoverdracht.

### **Fase I: voorbereiding**

De hoofdlijn is de monitoring aan het systeem bij van Duijn. Hierop zijn de fases verdeeld. In de voorbereiding moet aan de voorwaarden van de provincie Noord-Brabant worden voldaan zodat de pilot kan worden gestart. Daarnaast moet de monitoring worden uitgewerkt.

#### **Werkpakket 1: Ontheffing Provincie Noord-Brabant**

Dit werkpakket bestaat uit het verzamelen van gegevens om ontheffing te verkrijgen van het bevoegd gezag om de pilot bij van Duijn te kunnen starten. De provincie Noord-Brabant staat positief tegenover deze pilot, vooral omdat de watervoerende laag op de rand tussen zoet en zoutwater ligt. Het aanwezige hydrologische rapport zal gebruikt en aangepast worden daar waar dat voor de ontheffing nodig is. Ook zullen er gesprekken gevoerd worden met het hoogheemraadschap. Het resultaat uit dit werkpakket is een ontheffing om de opslagtemperatuur van de bestaande WKO bij van Duijn aan te passen zodat een MTO ontstaat.

#### **Werkpakket 2: Monitoringsopzet**

In dit werkpakket wordt de monitoring uitgewerkt op basis van wat praktisch haalbaar is tegen redelijke kosten, bestaande registratiesystemen en reeds op het bedrijf aanwezige mogelijkheden. Het monitoringsplan wordt opgesteld, zowel voor de WKO als de MTO en voor de bovengrondse installatie. Uiteraard wordt de monitoring zodanig opgezet dat deze nauw aansluit bij de te maken analyse in de andere fasen van dit project. De monitoring wordt tevens aangepast op basis van de ervaring uit metingen van bestaande systemen in werkpakket 3 en werkpakket 4.

De combinatie tussen ondergrond en bovengrond moet worden gemaakt, omdat het van belang is dat (bijvoorbeeld) de voordelen van een hogere COP van de bovengrondse installatie niet ten koste gaan van het opslagrendement ondergronds, zodanig dat het totaal gelijk of negatief is.

De energie-efficiëntie van de totale bovengrondse installatie wordt in duidelijke onderscheidende parameters beschreven. In glastuinbouwbedrijven zijn veelal geen warmtemeters aanwezig en is het aantal aanwezige temperatuuropnamers beperkt. Op basis van een energieplan wordt ingeschat op welke wijze en in welke mate de energie-efficiëntie van het bedrijf verbeterd wordt. De monitoring van de bovengrondse installatie wordt zodanig ingezet dat het energieplan gevalideerd kan worden. Van de bovengrondse installatie bij van Duijn is reeds een energieplan aanwezig.

De monitoringsopzet wordt bij het opslagsysteem bij van Duijn direct toegepast.



### Werkpakket 3: Debietverhoging bestaande bronnen

Het doel van dit werkpakket is het debiet per put te vergroten. Indien het debiet per put vergroot kan worden zijn de projecten veel eerder economisch rendabel. Per put kan bij een groter debiet een groter vermogen geleverd worden, terwijl de investering gelijk blijft. De grootste investering van een MTO en HTO project zit immers in de putten.

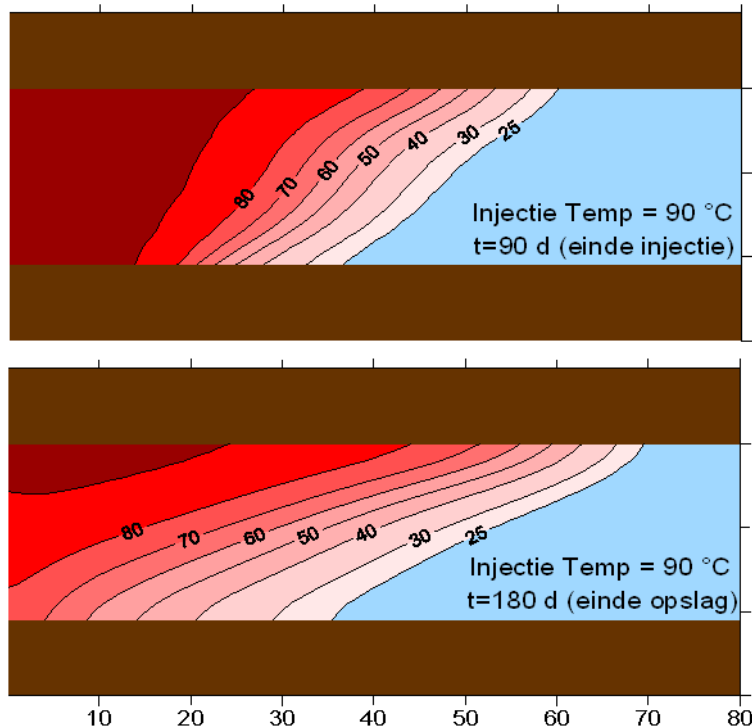
In dit werkpakket worden bij 3 bestaande bronnen debietmetingen uitgevoerd. Het uitgangspunt is om de bron te belasten tot boven de ontwerpcapaciteit. Het doel is om de ruimte in de huidige ontwerpnormen te onderzoeken en hiervan te leren voor toekomstig ontwerp van MTO's en HTO's. Metingen die uitgevoerd moeten worden zijn:

- ◇ Debietsmetingen.
- ◇ Zandhoudendheid.
- ◇ MFI/SDI.
- ◇ Korrelgrootteverdeling geproduceerde zand.

### Werkpakket 4: Temperatuurmetingen en opslagrendement

Hoe meer van de opgeslagen warmte teruggewonnen kan worden, hoe eerder een project rendabel is. Op dit moment is er onvoldoende inzicht in hoe het warmtetransport in de bodem exact plaatsvindt. Hierdoor kunnen de warmteverliezen onvoldoende beperkt worden. De inschatting is dat bij een beter begrip van de processen in de ondergrond het opslagrendement met 10 tot 20% verhoogd kan worden.

Met name dienen meer praktijkgegevens verkregen worden over de mate van vrije convectie. Vrij convectie is het opdrijven van warmte. Dit proces is zeer bepalend voor het opslagrendement.



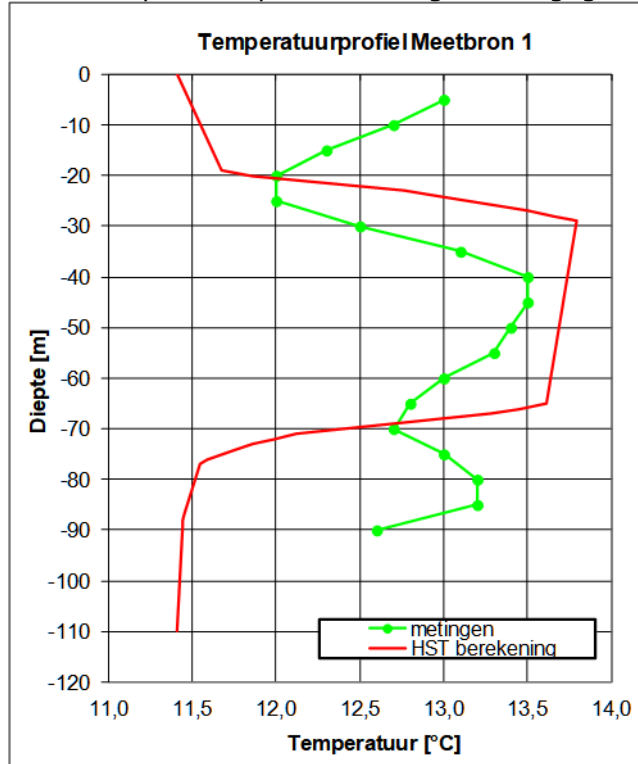
Figuur 1: voorbeeld van vrije convectie van temperatuur.

In dit werkpakket worden bij een drietal bestaande MTO/HTO projecten temperatuurmetingen uitgevoerd. Deze metingen geven meer inzicht in wat er thermisch gezien exact in de ondergrond gebeurt. Dit inzicht kan tevens worden gebruikt bij vergunningaanvragen. Vergunningverleners zijn op dit moment terughoudend met het



verlenen van vergunningen voor deze technieken omdat zij vinden dat er onvoldoende duidelijkheid is over wat er in de bodem gebeurt.

De meetdata bestaan uit temperatuurprofielen gemeten in de bronnen waarin de warmte wordt opgeslagen. Indien mogelijk moeten deze metingen aangevuld worden met temperatuurmetingen in nabijgelegen peilbuizen. Een voorbeeld van het resultaat van een bodemtemperatuurprofiel meting is weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2: voorbeeld bodemtemperatuurprofiel

De gevalideerde modellen kunnen vervolgens gebruikt worden om het ontwerp van de opslag te optimaliseren.

Voorgesteld wordt om de bronnen te nemen in Utrecht, Zwammerdam en Wageningen. Dit zijn weliswaar geen tuinbouwbronnen, maar het zijn wel HTO's/MTO's en zijn al enige tijd productief of juist inactief en voorheen al metingen zijn gedaan, waardoor er waardevolle informatie verkregen kan worden.

## **Fase 2: Monitoring**

### **Werkpakket 5: Monitoren bron van Duijn**

In dit werkpakket wordt gedurende ca. een jaar het opslagsysteem en de bovengrondse installatie gemonitord waarbij de opslagtemperatuur verhoogd wordt. De monitoring wordt uitgevoerd op basis van de in werkpakket 2 vastgestelde methode. Om de invloed op de grondwaterkwaliteit te kunnen beoordelen zal een aantal chemische analyses op het bronwater worden uitgevoerd. Deze worden verzorgd door een extern bureau.

In dit projectvoorstel is rekening gehouden diverse eisen vanuit de provincie. Onderzoek en monitoring van de microbiologie is niet meegenomen in dit projectvoorstel, aangezien hierover reeds veel onderzoek bekend is en monitoring van deze parameter kostbaar is. Als in werkpakket 1 blijkt dat de provincie dit toch eist, dan zal voor dat onderdeel externe financiering gezocht moeten worden.



**DLVge**

greenhouse consultancy

De opslag wordt gedurende de zomerperiode gevuld met warm water. Tijdens de teeltwisseling in november/december is het mogelijk de bron gedurende een aantal weken niet te gebruiken; de ondernemer wil daaraan meewerken. Dit biedt de mogelijkheid een temperatuurprofiel van de bron op te stellen zonder dat er geïnfiltreerd wordt om het opdrijven van warmte te kunnen analyseren. Er kan bij aanvang van de rustperiode en bij einde van de rustperiode gemeten worden. Hiervoor zijn peilbuizen in de bron noodzakelijk. Deze zijn aanwezig.

### **Fase 3: Rapportage en kennisoverdracht**

#### **Werkpakket 6: Analyse en rapportage**

In dit werkpakket worden de resultaten van voorgaande werkpakketten samengevoegd en wordt een analyse op de bron en de efficiëntie uitgevoerd (**het voorliggende verslag**)

#### **Werkpakket 7: Kennisoverdracht**

In dit werkpakket wordt zorggedragen voor kennisoverdracht. Gedurende de looptijd van het project vindt via de digitale media (bv energiek2020) kennisoverdracht plaats. Aan het einde van het project, als de meeste gegevens bekend zijn, wordt er gericht kennisoverdracht gerealiseerd naar ondernemers door middel van kennistrips. Daarnaast wordt er minimaal één artikel in een door glastuinders gelezen tijdschrift aangeboden.

#### **Kennistrips**

Bij een viertal kennistrip worden per keer maximaal 6 bedrijven uitgenodigd voor een excursie bij Van Duijn. Dit zijn voorlopers of snelle volgers die een ontwikkelde visie op energiemangement en een WKO hebben. Tijdens de excursie worden de resultaten gepresenteerd. Daarna volgt een discussie over de toepasbaarheid van het idee op hun eigen bedrijf of elders in de glastuinbouw en de voordelen en nadelen die de bezoekers zien. DLV glas & energie maakt van iedere kennistrip een verslag, dat beschikbaar is voor alle geïnteresseerden.

## **3 Uitwerking**

### **3.1 Algemeen**

In de onderstaande uiteenzetting van de uitwerking is de opzet in werkpakketten uit het onderzoeksvoorstel gevolgd. Werkpakket 6: analyse en verslag betreft uiteraard dit gehele verslag en is daarom niet als apart onderdeel opgenomen.

De uitvoering van het project heeft langer geduurd dan de originele planning. In de originele planning zou dit project in 1,5 jaar worden uitgevoerd, van 2013 tot en met 2014. De redenen van uitstel komen in de bespreking van de werkpakketten terug. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk wordt de planning en doorlooptijd nog separaat besproken.

### **3.2 Werkpakket 1: Ontheffing Provincie**

Bij het vooroverleg met de provincie Noord-Brabant was reeds besproken dat de provincie positief stond ten opzichte van dit project. Bij het aanvragen van de daadwerkelijke ontheffing gaf de provincie aan dit project als een pilot te willen afhandelen. Vanwege procedurele zaken kon hierdoor de vergunning niet gewijzigd worden, maar diende een geheel nieuwe vergunning te worden aangevraagd die daarmee de oude vergunning zou gaan vervangen. Dit betekende echter wel een langere doorlooptermijn en hogere kosten.

Een nieuwe vergunningsaanvraag op zich is geen onderdeel van het project, aangezien een aanvraag specifiek voor één bedrijf wordt gedaan. Gebroeders van Duijn hebben hier dan ook zelf de kosten voor gedragen. Aangezien hier een offertetraject voor doorlopen diende te worden, kon eind april 2013 werkelijk gestart worden met de vergunningsaanvraag. De doorlooptijd van de vergunning was ca. 6 maanden.

In het vergunningstraject is zeer veel aandacht besteed aan de concept beschikking. Normaal is er geen externe inspraak in de concept beschikking, maar de provincie wilde in verband met de pilotstatus ervoor zorg dragen dat de beschikking tot zo min mogelijk vragen zou leiden en zo compleet mogelijk zou zijn. De beschikking is begin oktober 2013 afgegeven, waarna de beschikking nog wel 6 weken ter inzage diende te liggen. In deze periode zijn geen bezwaren ingebracht.

De vergunning, afgegeven door de provincie Noord-Brabant stelt de Gebroeders van Duijn in staat om temperaturen tot maximaal 40 °C in de bodem te brengen in plaats van de standaard maximale temperatuur van 25 °C.

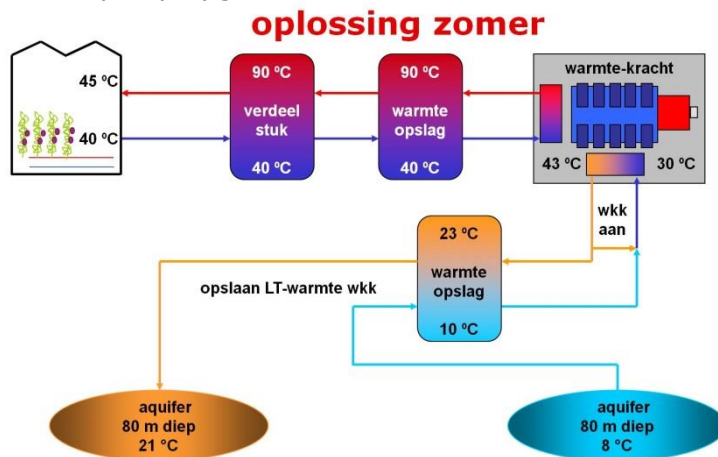
### **3.3 Werkpakket 2: Monitoringsopzet**

Het WKO-systeem bij Gebroeders van Duijn is sinds 2007 naar tevredenheid in gebruik. Het WKO-systeem bestaat uit 2 bronnen (een koude en een warme bron). Tevens is er een meetput op locatie aanwezig (zie Figuur 3). Dit is een als meetput afgewerkte proefboring.

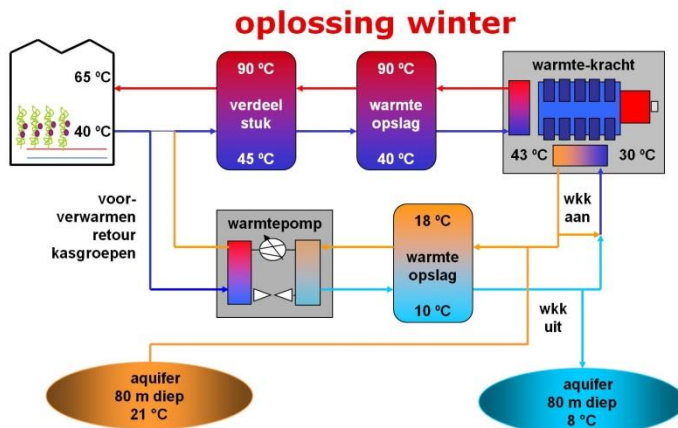


Figuur 3: bronnen Gebr. van Duijn

De kas bij Gebroeders van Duijn wordt in hoofdzaak verwarmd door een WKK met additioneel de ketel. In de zomerperiode wordt de condensor van de WKK gekoeld met behulp van de WKO. De temperatuur van het water uit de WKO is veel lager dan de temperatuur van het retourwater uit het verwarmingssysteem. De rookgassen van de WKK kunnen daardoor veel beter worden afgekoeld waardoor het rendement van de WKK fors toeneemt. In de winter wordt de opgeslagen warmte door middel van een warmtepomp opgewerkt tot bruikbare warmte in de kas.



Figuur 4: Zomersituatie energiesysteem Gebr. van Duijn



Figuur 5: Wintersituatie energiesysteem Gebr. van Duijn

Het energiesysteem kan zodanig aanpast worden dat het hogere temperaturen kan genereren om op te slaan in de warme bron. Hiertoe zal de pomp die het water over de condensor van de WKK heen pompt langzamer moeten stromen. Daarbij is het van belang dat de rookgastemperatuur van de WKK niet hoger wordt om het rendement van de installatie te behouden. Hiervoor is een aanpassing in de regeling noodzakelijk.

De warmte (middelhoge temperatuur tot max. 40°C) wordt in de warme bron opgeslagen en in de winter weer onttrokken. De warmte zal zich in de bodem als een warme bel verspreiden, zowel horizontaal als verticaal. Het rendement van de warmteopslag zal met name worden bepaald door de grootte en de vorm van deze warme bel en de beïnvloeding van de bel door de grondwaterstroming. De ontwikkeling van de warme bel kan gemonitord worden door periodiek het temperatuurprofiel te meten in de meetput op circa 45 meter afstand van de warme bron. De grootte van de bel is afhankelijk van de hoeveelheid warm water die is opgeslagen. Dit wordt gemonitord met behulp van de meetgegevens van de debietmeters in de installatie.

Het werkelijke rendement is direct afhankelijk van de hoeveelheid grondwater die is geïnfiltreerd en onttrokken en de bijbehorende gemiddelde infiltratietemperatuur en onttrekkingstemperatuur. De temperatuur van het onttrokken en geïnfiltreerde water kan continu worden gemeten met de sensoren in de installatie.

De temperatuur van het grondwater is van invloed op de viscositeit en kan daarmee ook invloed hebben op de verstoppingspotentie van het te infiltreren water. Dit kan gemeten worden met de MFI. De MFI wordt gemeten in de installatieruimte.

Verder kan de chemische samenstelling van het grondwater veranderen. Dit wordt echter op basis van eerdere onderzoeken niet echt verwacht, zeker gezien de nog steeds relatief lage temperaturen (<40 °C). De chemie wordt gecontroleerd op basis van wateranalyses. Naast de standaard macroparameters (Ca ; K ; Mg ; Mn ; Na ; Fe ; NH<sub>4</sub> ; HCO<sub>3</sub> ; Cl ; NO<sub>3</sub> ; SO<sub>4</sub>), wordt ook Arseen (As) en opgelost organisch koolstof (DOC) geanalyseerd. Deze laatste parameters zijn het gevoeligst voor temperatuurveranderingen (Bonte, 2013 ; Brons et al., 1991 ; Jesußeck et al., 2012).

In bijlage C is de periodieke monitoringsopzet weergegeven. Het is noodzakelijk (ook voor de vergunning) om minimaal over twee seizoenen te kunnen meten. Tevens worden een aantal parameters continu gemeten en opgeslagen in het klimaat regelsysteem:

- ◇ Geïnfiltreerde en onttrokken hoeveelheid grondwater [m<sup>3</sup>]
- ◇ Debiet [m<sup>3</sup>/uur]
- ◇ Temperatuur van het geïnfiltreerde water [°C]
- ◇ Temperatuur van het onttrokken water [°C]
- ◇ Aan het grondwater onttrokken en toegevoegde hoeveelheid energie [GJ]
- ◇ Drukken in het systeem [bar] en in de bronnen [mbar]

### **3.4 Werkpakket 3: Debietverhoging bestaande bronnen**

Het is gedurende het project niet mogelijk gebleken om bestaande bronnen daadwerkelijk in te zetten voor deze proefneming (debietverhoging). De redenen zijn als volgt:

- ◇ IF heeft getracht geschikte bestaande bronnen te vinden. Hierbij heeft het geen meerwaarde om bronnen te gebruiken die in een grove reservoirs geboord zijn. We zijn juist op zoek naar enig kritischere bronnen in fijner zand, zodat de invloed op de parameter MFI (een parameter die iets zegt over de verstoppingspotentie van het infiltratiewater en afhankelijk is van de temperatuur) gemeten kan worden. Dit is niet gelukt in combinatie met:
- ◇ De toestemming van het gebruiken van een proefboring of bestaande bron. Er zijn wel oude proefboringen die mogelijk gebruikt zouden kunnen worden, maar daarbij dient een tijdelijke pompinstallatie geplaatst te worden, hetgeen kostentechnisch niet

binnen het werkpakket past. Voor bestaande bronnen is het lastig om toestemming bij eigenaren te krijgen om die bronnen te mogen testen bij hogere debieten dan normaal/ontwerptechnisch gewenst is.

Helaas is het niet mogelijk gebleken om het beschreven onderzoek daadwerkelijk door te zetten.

### **3.5 Werkpakket 4: Temperatuur en opslagrendement**

Het uitgangspunt was het gebruiken van nieuwe putten die gemaakt worden als proefboring. In de geldende marktomstandigheden kwam dit zeer beperkt voor. Gekozen is de insteek aan te passen en te wijzigen in gebruik van bestaande putten via booraannemers.

Er is een analyse gemaakt van de rendementen van 4 (voormalige) Middelhoge en Hoge Temperatuur Opslag systemen (MTO of HTO systemen). Deze analyse is gemaakt op basis van bestaande gegevens. De systemen betreffen:

- ◇ Heuvelgalerie (MTO)
- ◇ Zwammerdam (HTO, project gestopt)
- ◇ Dolfinarium (MTO)
- ◇ Universiteit Utrecht (HTO, project gestopt)

De achtergrond voor deze analyse is de constatering dat veel projecten een laag rendement rapporteren (monitoringsrapportages). De reden is echter vaak een slecht functionerend systeem (te weinig water/warmte verpompt en/of onttrokken tijdens bedrijfsfase). In plaats van het concluderen dat deze projecten een laag rendement hebben (hetgeen logisch is, omdat de bedrijfsvoering niet goed was), is nagegaan of de methode om het rendement te voorspellen wel correct is. Indien blijkt dat een dergelijke voorspellende methode werkt, kan ook voorspeld worden of een wel functionerend systeem rendement kan behalen.

De rendementen zijn op basis van de Rayleigh methode voorspeld en vergeleken met de rendementen die volgen uit de werkelijke metingen die ooit eerder zijn uitgevoerd voor het betreffende project.

Hieruit blijkt:

- ◇ Dat voor één project (Heuvelgalerie) de rendement berekeningen met de Rayleigh methode overeenkomt met de werkelijk gemeten rendementen (ca. 34%);
- ◇ Dat Zwammerdam niet normaal heeft gefunctioneerd en derhalve niet goed is terug te rekenen;
- ◇ Dat de resultaten uit de Rayleigh rekenmethode voor de projecten Dolfinarium en Universiteit Utrecht sterk afwijken van de rendementen op basis van de gemeten waarden (gemeten rendement is 50%-30% van berekende rendement).
- ◇ De kanttkening voor die laatste twee is echter dat de bestaande gegevens erg minimaal zijn waardoor de betrouwbaarheid van de berekende rendementen niet al te groot is.

Conclusie: alleen het project Heuvelgalerie geeft aan dat de voorspellende waarde van het rekenmodel correct is. Met de overige projecten kan dit vooralsnog niet aangetoond worden.

In het werkpakket is omschreven dat er nog veldmetingen zouden worden uitgevoerd bij de te onderzoeken bronnen. Echter (naast Heuvelgalerie) is alleen Dolfinarium nog in bedrijf en daarmee de meest kansrijke. Daarnaast dient het project zeker 2 seizoenen (zomer en winterseizoen) te doorlopen om de metingen te kunnen evalueren. Besloten is

om geen veldmetingen uit te voeren omdat door de onzekerheid van de data de toegevoegde waarde hiervan niet opweegt tegen de inzet en de tijdsduur.

In dit werkpakket is het rapport "*thermisch rendement hoge & middelhoge temperatuur warmteopslag in de bodem*" opgesteld met een gedeelte van het beschikbare budget. Niet alle onderzoeksvragen uit dit werkpakket konden beantwoord worden. Het rapport is gepubliceerd op de website <https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/ondergrondse-warmteopslag-met-hogere-temperaturen/>.

### **3.6 Werkpakket 5: Monitoring**

De monitoring van de bron bestaat uit twee delen. De continue monitoring van de data geregistreerd door de klimaatcomputer en de data aan de hand van periodieke bemonstering van de bron.

#### **Metingen aan de hand van klimaatcomputer gegevens**

##### Start van de monitoring

Om een hogere opslagtemperatuur te kunnen realiseren diende de aansturing van de pompen te worden aangepast. Daarbij is door de ondernemer meteen van de mogelijkheid gebruik gemaakt een tweede warmtepomp te installeren, gezien de zeer positieve ervaringen met de warmtepomp die zijn opgedaan in de periode vanaf 2007 dat het WKO-systeem operationeel is. Daarnaast was het door de veranderingen in de energiemarkt voor het bedrijf interessant om het warmtepompvermogen uit te breiden.

Voor dit project was het nadeel hiervan, dat met het bestellen, plaatsen en inregelen van de warmtepomp een groot deel van het laadseizoen van 2014 is verspeeld. Pas aan het einde van de zomer van 2014 was de installatie gereed en kon deze goed ingeregeld worden. Het heeft tot het einde van het laadseizoen van 2014 geduurd voordat de gehele installatie weer functioneerde als voorheen.

Dit betekent dat effectief pas kon worden begonnen met de monitoring aan het begin van 2015. De monitoring is daarom doorgezet tot in 2017.

##### Juistheid van gegevens

Uit de klimaatcomputer is de onderstaande data onttrokken (5 minuten gegevens):

- ◇ Koude bron: Gemeten pompflow (m<sup>3</sup>/uur)
- ◇ Koude bron: Gemeten temperatuur (°C)
- ◇ Warme bron: Gemeten pompflow (m<sup>3</sup>/uur)
- ◇ Warme bron: Gemeten temperatuur (°C)
- ◇ Aardbronregeling: Gemeten systemflow (m<sup>3</sup>/uur)

Tijdens de controle van de gemonitorde informatie met de rapportage bodemwarmte, (een module in dezelfde Priva klimaatcomputer) viel op dat er een verschil aanwezig was bij de resultaten van het debiet van de pomp van de koude bron. In Tabel 1 is te zien dat de afwijking van de warme bron beperkt is, maar dat de koude bron continu afwijkt. De meting van het debiet van de koude bron is consequent hoger dan gerapporteerd in het bronrapport. Ook wijken de warmtemetingen af. Dit komt onder andere omdat de berekening uit de meetwaarden is gebaseerd op 5 minuten gegevens en niet op momentane waarden. Ook is te zien dat de afwijking tussen warmte onttrekken en warmte laden met dezelfde verhouding afwijkt als dat de debieten afwijken. Dit is te verwachten aangezien het vermogen onder andere een vermenigvuldiging is van het debiet met het temperatuurverschil.



Tabel 1: Brongegevens 2015 - vergelijking bronrapportage en ongefilterde meetgegevens

2015	Warmte onttrekken				Warmte laden				Warmte onttrekken				Warmte laden			
	Data	Priva			Data	Priva			Data	Priva			Data	Priva		
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>			m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>			GJ	GJ			GJ	GJ		
januari	1	13.680	12.930	106%	10.169	7.938	128%		965	679	142%		716	478	150%	
februari	2	11.136	10.727	104%	13.277	10.337	128%		828	565	147%		998	665	150%	
maart	3	9.796	9.560	102%	16.853	12.988	130%		750	644	116%		1.291	924	140%	
april	4	11.375	11.058	103%	17.278	13.374	129%		919	731	126%		1.403	971	144%	
mei	5	9.773	9.533	103%	13.518	9.066	149%		1.032	800	129%		1.479	802	185%	
juni	6	6.131	5.893	104%	12.362	7.810	158%		631	537	118%		1.319	713	185%	
juli	7	1.709	3.718	46%	8.863	7.373	120%		175	336	52%		938	680	138%	
augustus	8	2.969	3.720	80%	12.363	8.576	144%		309	339	91%		1.231	752	164%	
september	9	9.913	9.673	102%	12.540	8.375	150%		1.034	884	117%		1.341	784	171%	
oktober	10	12.641	12.024	105%	9.678	6.520	148%		1.221	1.109	110%		1.042	618	169%	
november	11	0	0	0%	2.472	1.619	153%		0	0	0%		234	159	147%	
december	12	6.659	6.282	106%	2.978	2.007	148%		537	287	187%		274	129	213%	
Totaal		95.781	95.118	101%	132.350	95.983	138%		8.401	6.912	122%		12.266	7.674	160%	
kwartaal	1	34.612	33.217	104%	40.299	31.263	129%		2.543	1.887	135%		3.004	2.067	145%	
	2	27.279	26.484	103%	43.157	30.250	143%		2.581	2.069	125%		4.201	2.485	169%	
	3	14.591	17.111	85%	33.766	24.324	139%		1.519	1.560	97%		3.510	2.216	158%	
	4	19.300	18.306	105%	15.128	10.146	149%		1.758	1.397	126%		1.550	906	171%	

Wat opviel was dat het systeemdebiet gelijk was aan de waarde van het debiet van de warme bron, maar afweek bij de koude bron. Om het verschil te kunnen verklaren is vervolgens in plaats van het debiet van de koude bron het systeemdebiet gebruikt als te gebruiken waarde bij bepaling van het debiet van de koude bron. Als de gegevens zo worden gebruikt, komen de gegevens over 2015 wel overeen met het bronrapport, zoals in Tabel 2 is weergegeven.

Tabel 2: Brongegevens 2015 - vergelijking bronrapportage en gefilterde meetgegevens

2015	Warmte onttrekken				Warmte laden				Warmte onttrekken				Warmte laden			
	Data	Priva			Data	Priva			Data	Priva			Data	Priva		
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>			m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>			GJ	GJ			GJ	GJ		
januari	1	13.695	12.930	106%	7.936	7.938	100%		965	679	142%		563	478	118%	
februari	2	11.157	10.727	104%	10.364	10.337	100%		830	565	147%		784	665	118%	
maart	3	9.813	9.560	103%	13.115	12.988	101%		751	644	117%		1.010	924	109%	
april	4	11.395	11.058	103%	13.400	13.374	100%		920	731	126%		1.093	971	113%	
mei	5	9.783	9.533	103%	9.025	9.066	100%		1.032	800	129%		991	802	124%	
juni	6	6.135	5.893	104%	7.811	7.810	100%		632	537	118%		836	713	117%	
juli	7	1.709	3.718	46%	5.427	7.373	74%		175	336	52%		579	680	85%	
augustus	8	2.972	3.720	80%	8.008	8.576	93%		309	339	91%		794	752	106%	
september	9	9.915	9.673	102%	8.335	8.375	100%		1.035	884	117%		893	784	114%	
oktober	10	12.660	12.024	105%	6.471	6.520	99%		1.223	1.109	110%		698	618	113%	
november	11	0	0	0%	1.635	1.619	101%		0	0	0%		157	159	99%	
december	12	6.667	6.282	106%	1.998	2.007	100%		537	287	187%		188	129	147%	
Totaal		95.900	95.118	101%	93.524	95.983	97%		8.408	6.912	122%		8.586	7.674	112%	
kwartaal	1	34.665	33.217	104%	31.415	31.263	100%		2.546	1.887	135%		2.356	2.067	114%	
	2	27.313	26.484	103%	30.236	30.250	100%		2.584	2.069	125%		2.920	2.485	117%	
	3	14.595	17.111	85%	21.771	24.324	90%		1.519	1.560	97%		2.266	2.216	102%	
	4	19.327	18.306	106%	10.103	10.146	100%		1.760	1.397	126%		1.044	906	115%	

De reden waarom deze debieten niet overeenkomen is niet precies bekend geworden; ook contact met de helpdesk van Priva gaf geen duidelijkheid. Er (b)leek geen duidelijke informatie te zijn welke gegevens op welke wijze weergegeven/gebruikt werden in de rapportage dan wel zichtbaar gemaakt in de klimaatcomputer. Degene die het systeem had aangesloten bij Gebr. Van Duijn was niet meer werkzaam bij Priva. De verwachting is dat het weergegeven pompdebiet van de koude bron op basis van aansturing wordt berekend.

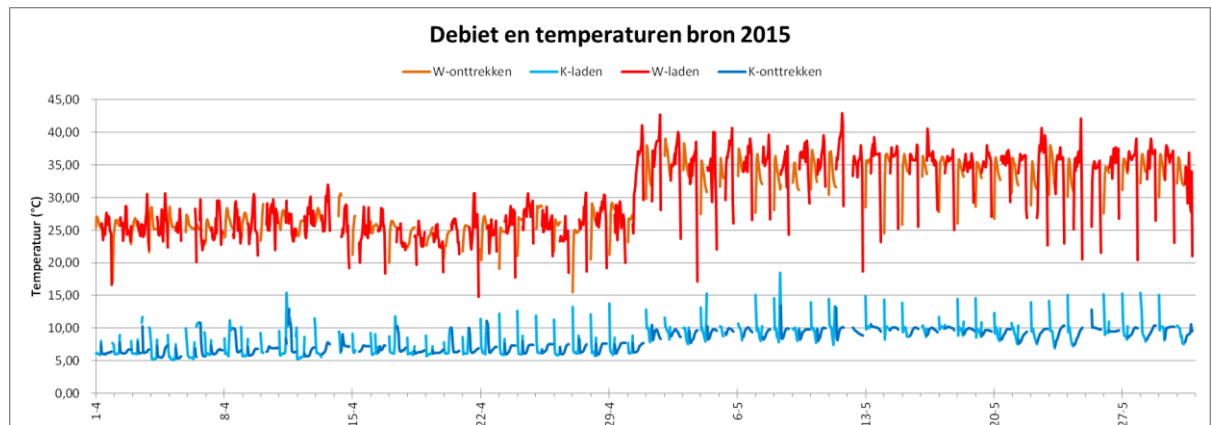
De verdere data-analyse ondersteunt het gebruik van de aangepaste debietinformatie. Met name in 2016, bij het legen van de bron komen de temperatuurgegevens en de warmte-inhoud van de bron met deze werkwijze goed overeen. Bij een hoger laaddebiet zou veel langduriger een hoge onttrekkingstemperatuur verwacht worden. Op basis van deze analyse wordt de bronrapportage als juist aangemerkt en wordt daarom de systeemflow in de verdere analyse gebruikt voor het debiet van de koude bron.

### Hogere laadtemperaturen dan 40 °C

In de temperatuur monitoring is te zien dat de vultemperatuur gemiddeld rond de 35 °C ligt. Er zijn uitschieters te zien naar boven 40 °C, echter als ingezoomd wordt op deze situaties, is te zien dat dit of start/stop situaties zijn (met een laag debiet) of een situatie waarbij te zien is dat de regeling direct wordt aangepast. Let op dat deze voelers zich bovengronds bevinden en niet in de aquifer onder de grond. Ook kunnen de voelers iets doorwarmen bij stilstand.

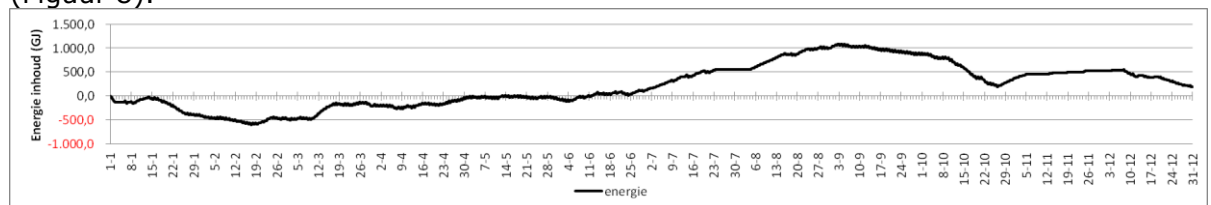
### Gebruik van de bron

Het eerste monitoringsjaar is 2015. In april bleek dat de laad temperatuur van de bron maar net boven 25 °C was ingesteld. Dit was onvoldoende voor dit project. Eind april is deze temperatuur aangepast naar ca 35 °C (Figuur 6). Ook is te zien dat de temperatuur aan de koude zijde van de bron is aangepast (van 6 naar 10 °C).

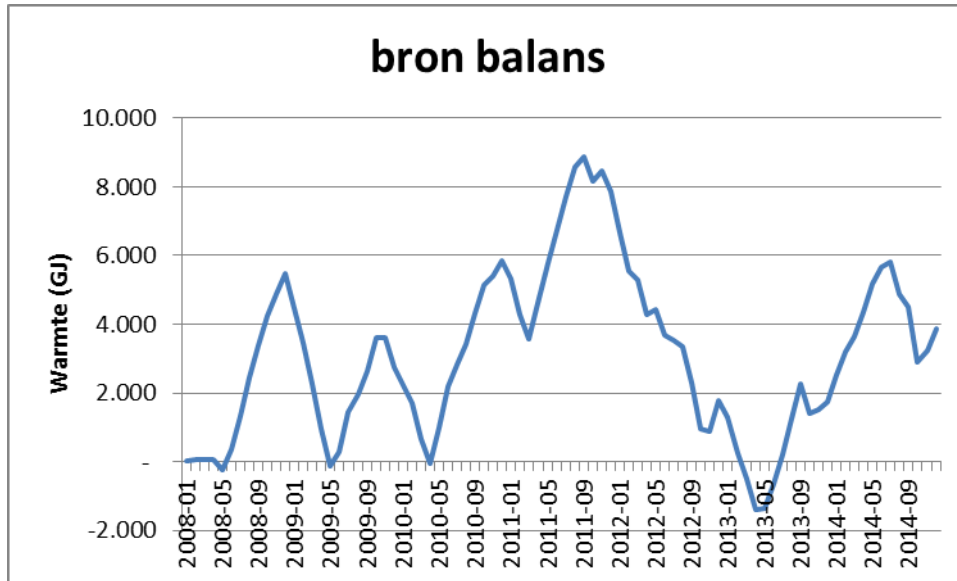


Figuur 6: Brontemperaturen voorjaar 2015

In 2015 is de bron afwisselend gevuld en geleegd. Rond november is er ieder jaar een teeltwisseling waarbij er nagenoeg geen warmte wordt opgeslagen of teruggewonnen. Op 1 januari 2015 is voor de warmte grafiek de hoeveelheid opgeslagen warmte in de bron op 0 GJ gesteld (Figuur 7). Hiermee is op het moment van start vullen met 35 °C (eind april) de weergave van de inhoud van de bron ook ca. 0 GJ en daarmee een fictief nulpunt voor de analyse. Vanuit voorgaande jaren was er echter wel warmte in de bron aanwezig (Figuur 8).

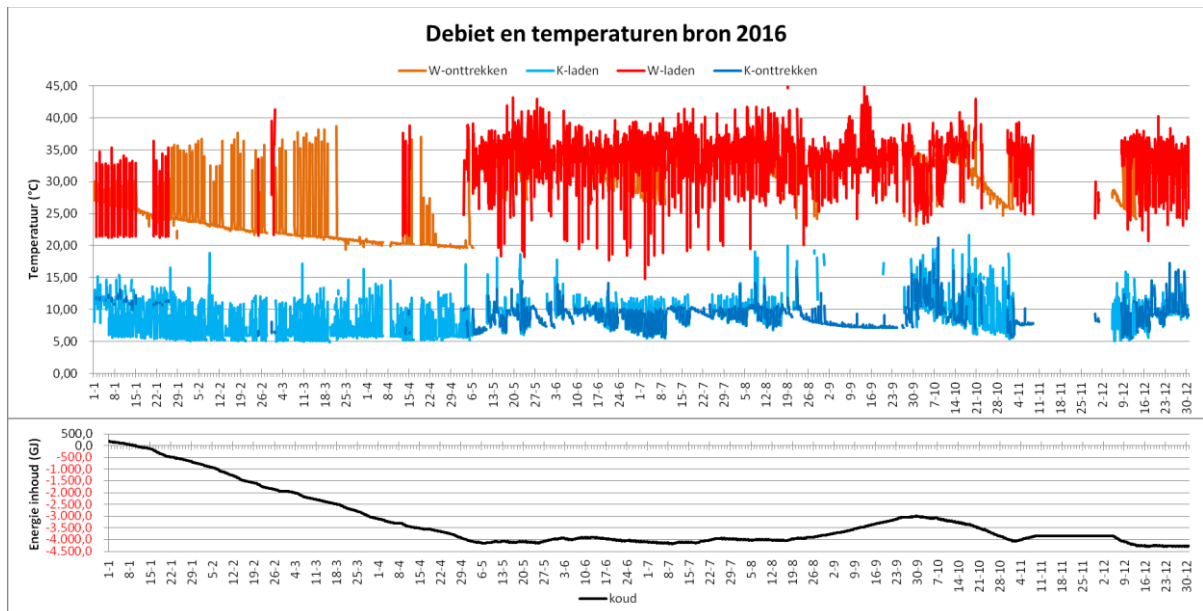


Figuur 7: Bronwarmtevoorraad 2015 (opgeslagen warmte – teruggewonnen warmte)



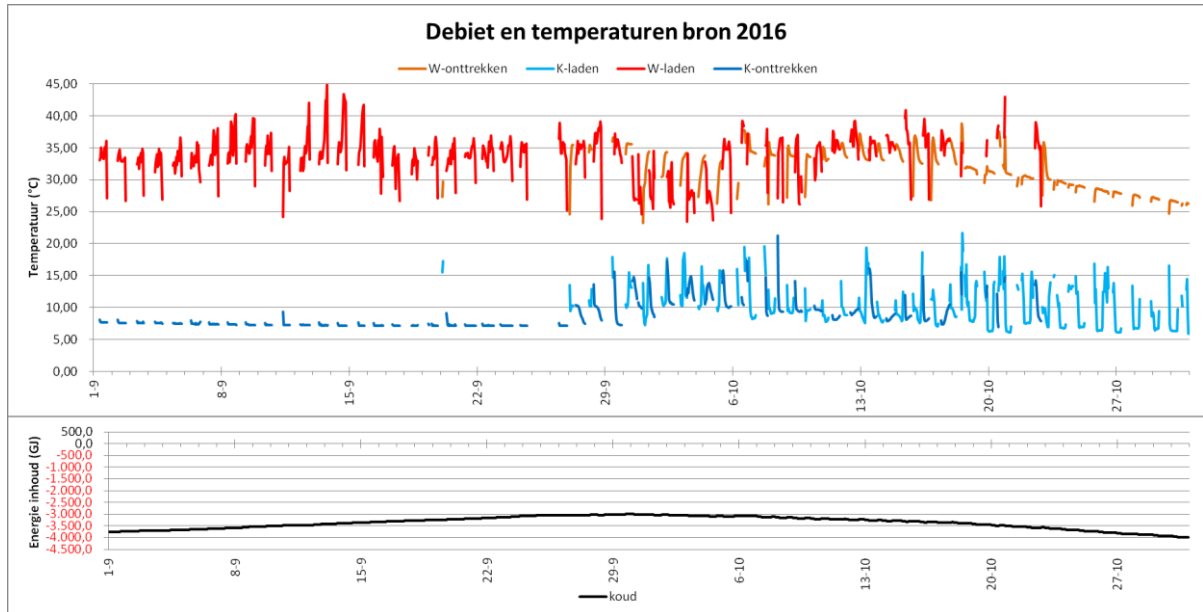
Figuur 8: Bronbalans vanaf start tot 2015

In 2016 is te zien dat de bron in het voorjaar sterk leeg wordt getrokken (Figuur 9). De onttrokken brontemperatuur daalt uiteindelijk naar ca. 20 °C, een temperatuur die de eerste jaren van de bron is geladen. Ook is te zien dat na verloop van tijd zelfs de eerste aanzet bij het legen van de bron geen hoge temperatuur meer wordt gerealiseerd; alle warmer geladen energie is uit de bron verdwenen. De inhoud daalt tot ca. -4.000 GJ vanaf het fictieve nulpunt. Deze energiewaarde komt overeen met de warmte die eind 2014 in de WKO aanwezig was (Figuur 8). De WKO is zo goed als leeg.



Figuur 9: Brongegevens 2016, temperaturen en warmteinhoud

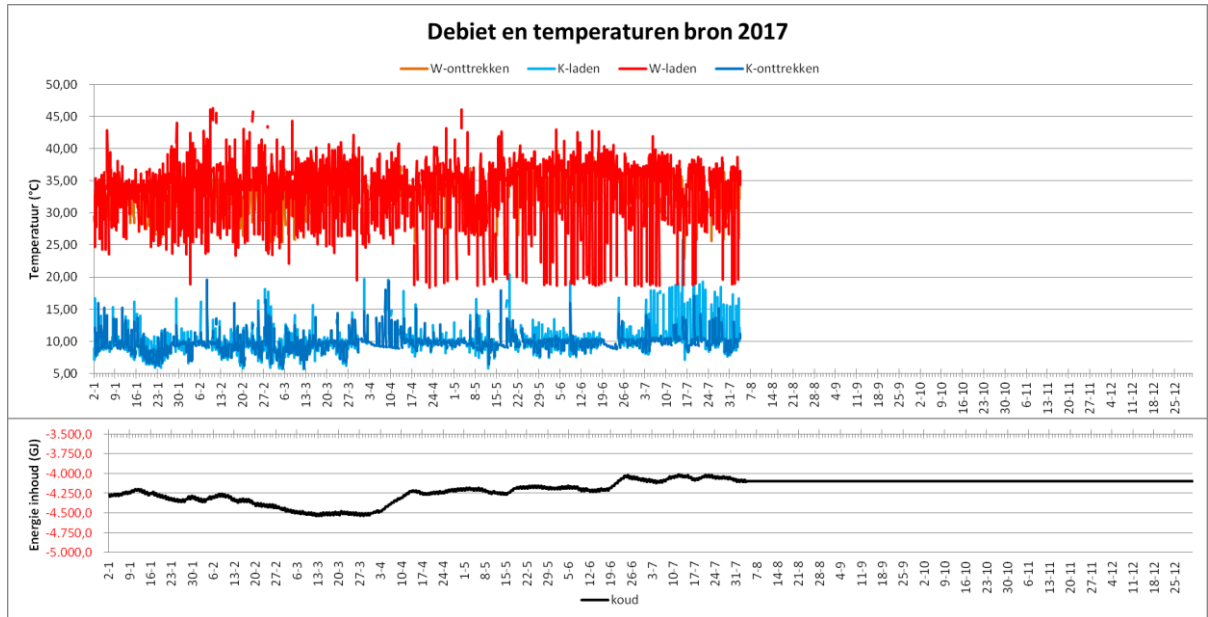
Wat daarnaast opvalt, is dat bij de periode vóór de teeltwisseling, in oktober, de ontladingstemperatuur weer in één maand terugzakt van 35 naar 25 °C. Uit de vermogensweergave is te zien dat ook hier de opgeslagen hoeveelheid warmte in de bron in de zomer gering was en snel terugloopt naar de waarde aan het einde van het ontladingsseizoen. In Figuur 10 is een detail weergegeven van september en oktober 2016 waarin de vul en onttrekkingstemperaturen duidelijker zijn weergegeven.



Figuur 10: Detail brongegevens 2016 - september en oktober

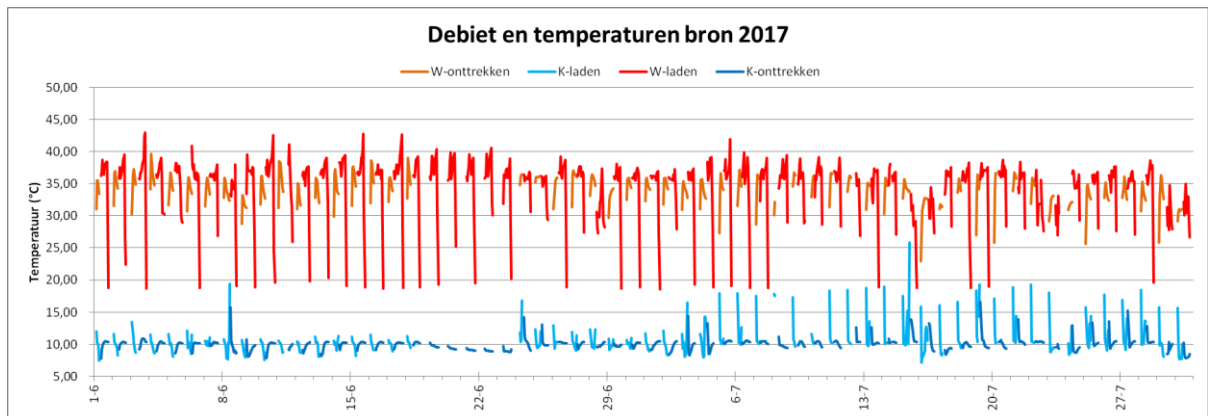
Te zien is dat in de zomerperiode met ca. 35 °C gevuld is, waarna bij het omschakelen naar terugwinnen de temperatuur terugzakt naar 25 °C. De geïnfiltreerde temperatuur lijkt daarmee op het eerste gezicht slecht te worden teruggevonden in de bron. Echter, de hoeveelheid opgeslagen warmere energie in de bron is ook maar zeer gering. De relatief snelle daling van de onttrekkingstemperatuur is dus een logisch gevolg van het nagenoeg volledig terugwinnen van alle opgeslagen warmte. Een ander punt is dat bij het dalen van de onttrekkingstemperatuur de koude laadtemperatuur ook daalt. Dit is een logisch gevolg van de combinatie tussen vermogen warmtepomp, debiet en onttrekkingstemperatuur. Door de dalende koude infiltratietemperatuur loopt het COP van de bovengrondse installatie ook weer terug.

Omdat in 2016 de bron nagenoeg leeg is gebleven was interessant te bezien wat er in 2017 met de bron gebeurt. In Figuur 11 zijn de temperaturen en de broninhoud weergegeven, voor zover mogelijk. In de periode tot eind maart is overwegend warmte teruggewonnen en daarna is overwegend warmte opgeslagen. De periode waarin het terugwinnen van de opgeslagen warmte wordt verwacht is pas later in het jaar. Daardoor is nog niet bekend hoe de temperatuur zich zal ontwikkelen tijdens het (langdurig) terugwinnen van de opgeslagen warmte.



Figuur 11: Brongegevens 2017 - temperaturen en warmteinhoud

In 2017 wordt de bron dagelijks gewisseld tussen "laden en lossen". In een detail van de maanden juni en juli 2017 (Figuur 12) is dit ook duidelijk terug te zien. Te zien is dat hierbij de onttrekkingstemperatuur de laadtemperatuur volgt. Vanwege de korte wisselingen tussen laden en lossen is er geen goede uitspraak te doen over het lange termijn effect op de onttrekkingstemperatuur. Daarvoor moet, zoals in 2016, gedurende langere tijd de ontladen worden en zou de bron ook gedurende langere tijd alleen geladen moeten worden. Dit is waarschijnlijk pas eind van het jaar aan de orde.



Figuur 12: Brongegevens 2017 - detail temperaturen juni en juli

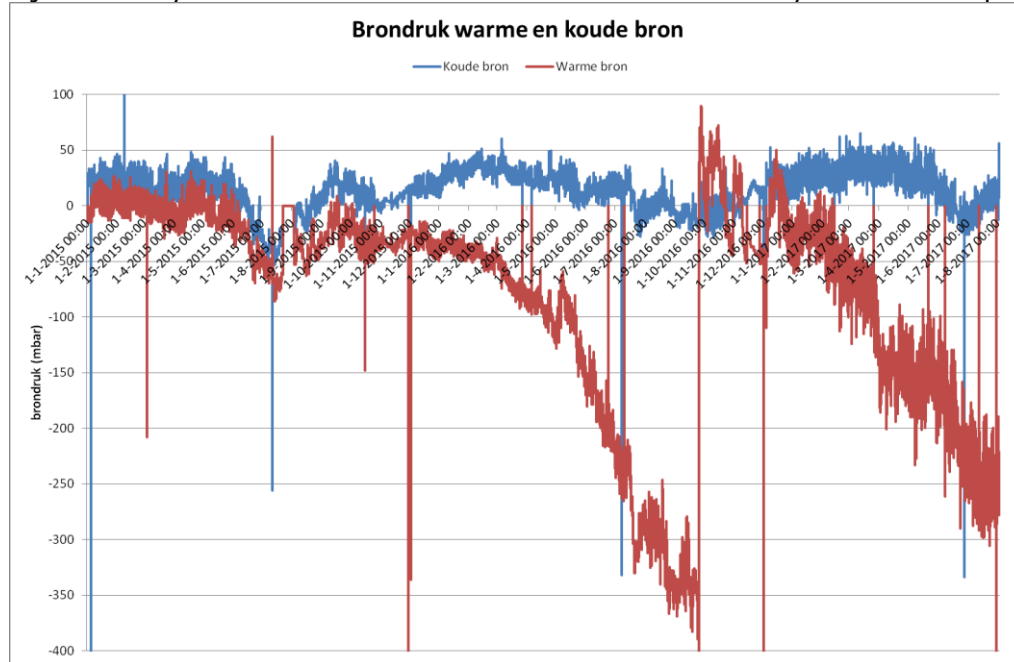
In de monitoring over de jaren 2015, 2016 en half 2017 is te zien dat de bron in 2015 wel met hogere temperaturen is gevuld, maar aan het einde van het jaar reeds weer geleegd was van hogere temperaturen. In 2016 is de bron vervolgens ver leeg getrokken en daarna is in 2016 en 2017 maar heel gering geladen met hogere temperaturen en voornamelijk dagelijks zowel geladen als geleegd. Hierdoor zijn er over de opslag van hogere temperaturen in de bron over langere tijd helaas geen conclusies te trekken.

In bijlage B zijn alle meetgrafieken weergegeven.

### Brondruk

Data die ook uit de klimaatcomputer is overgehaald, is de berekende brondruk (Figuur 13). Deze nam voor de warme bron gestaag af. Dit is gerapporteerd aan de ondernemer en hij heeft hier onderzoek naar laten verrichten. Eind 2016 is de meting van de brondruk

gekalibreerd en aanpast. Er zijn geen signalen dat de brondruk zelf veranderd is. Na kalibratie is echter te zien dat de waarde wederom afneemt. Aangezien er geen signalen zijn dat de fysieke brondruk ook verandert is verdere analyse buiten dit project gelaten.



Figuur 13: Verloop van de berekende brondruk over de meetperiode 2015 - 2017

### Metingen bodemtemperatuur en grondwaterkwaliteit

De metingen van de bodemtemperatuur en de grondwaterkwaliteit zijn verzorgd door IF Technology. In bijlage D is het rapport over de situatie in 2015 opgenomen en de aanvulling daarvan over 2016.

#### *Bodemtemperatuurmetingen*

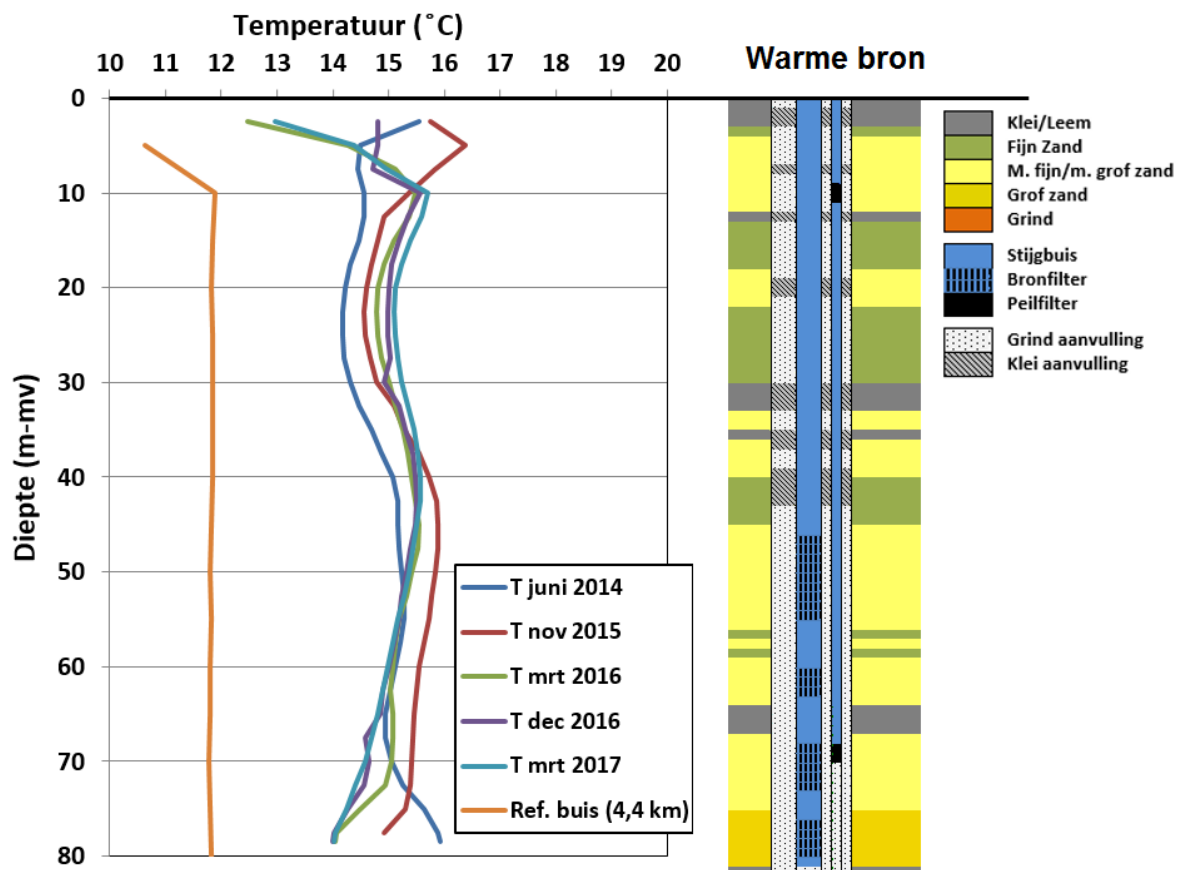
Figuur 14 toont de gemeten temperaturen in de meetput met daarnaast de bodemopbouw en de filterstelling bij de warme bron. De afstand tussen de meetput en de warme bron is ongeveer 45 m. In de bodemtemperatuurprofielen zijn (gezien de opslagtemperatuur) slechts kleine variaties waarneembaar. De hoogste temperaturen op de diepte van de bronfilters zijn gemeten in november 2015. Dit wordt verklaard doordat in de zomer van 2015 warmte is opgeslagen in de warme bron. Het verschil ten opzichte van de referentiemeting is echter slechts 0,5 °C. De metingen in 2016 en 2017 zijn nagenoeg gelijk aan de referentiemeting. Op de diepte van de bronfilters is bij de monitoringsput dus niet of nauwelijks thermische invloed van de hogere opslagtemperatuur waargenomen.

Er is te weinig warmte van hoge temperatuur geladen om een duidelijk thermisch effect te kunnen vaststellen bij de meetput. Het thermisch invloedsgebied rond de warme bron van het warmteopslagsysteem is daardoor veel kleiner dan vooraf verwacht.

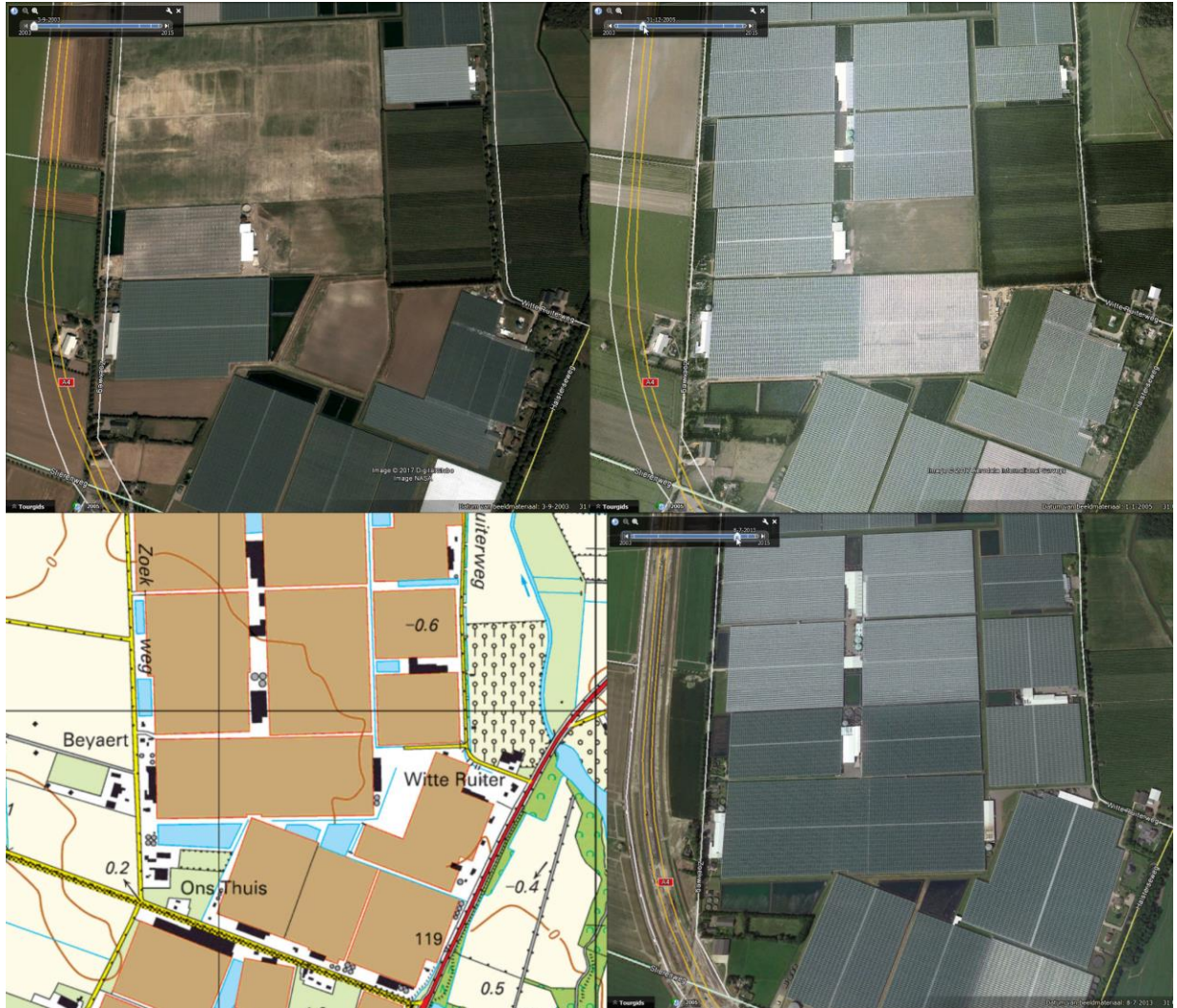
Opvallend is dat de temperatuur in het ondiepere deel van de ondergrond (tussen 10 en 30 m-mv) in de opeenvolgende metingen steeds weer iets verder is opgelopen. Ten opzichte van de referentiemeting in 2014 is de temperatuur in dit dieptetraject inmiddels met ongeveer 1,0 °C gestegen (naar 15,0 à 15,5 °C). Daarbij is van belang, dat de temperatuur in de referentiemeting op deze diepte (14,0 à 14,5 °C) ook al aanzienlijk hoger is dan de verwachting op basis van temperatuurmetingen in peilbuizen op enkele kilometers afstand (11,5 à 12,0 °C). Er is dus duidelijk sprake van opwarming, maar het grootste deel van deze opwarming was bij de referentiemeting al opgetreden.

De meetput staat direct naast het kassencomplex, waar sprake is van een verhoogde jaargemiddelde van de temperatuur aan het maaiveld. Figuur 15 toont de ontwikkeling van het glastuinbouwgebied op basis van luchtfoto's van verschillende momenten in Google Earth en een kaarten op de website Topotijdreis. Voor de locaties van de bronnen en de proefboring (=meetput) wordt verwezen naar Figuur 3. Hieruit volgt dat de kas aan de Zoekweg, waar de koude en warme bron naast liggen, in 2003 al aanwezig was. Ergens tussen 2005 en 2009 is de kas gebouwd die direct naast de meetput ligt. Uit foto's van een bemonstering van de proefboring die in 2007 is uitgevoerd, blijkt dat de kas er op dat moment al stond zodat de kas tussen 2005 en 2007 gebouwd moet zijn. Door het plaatsen van een kas zal de jaargemiddelde temperatuur aan maaiveld aanzienlijk zijn toegenomen. Het is bekend dat na een toename van de jaargemiddelde temperatuur aan maaiveld, ter plaatse ook de temperatuur in de ondergrond gaat oplopen. Het plaatsen van de kassen wordt dan ook gezien als belangrijkste verklaring voor de waargenomen opwarming tussen 10 en 30 m-mv. Daarnaast kan als gevolg van geleiding warmte vanuit het ondergelegen opslagpakket naar boven worden "getransporteerd".

De variaties in het traject tussen 0 en 10 m-mv zijn voornamelijk het gevolg van de seizoensinvloeden die met enige vertraging "doorwerken in de ondergrond". Dit verklaart de relatief lage temperaturen bij de metingen in maart (einde winter) en de relatief hoge temperatuur in november (na de zomerperiode).



Figuur 14: Warmteopbouw in het meetpunt (referentie en meetjaren)



Figuur 15: Overzicht van de ontwikkeling van het glastuinbouwgebied op basis van luchtfoto's uit Google Earth (linksboven 2003, rechtsboven 2005 en rechtsonder 2013) en een topografische kaart van de website [www.topotijdreis.nl](http://www.topotijdreis.nl) (2009).

### *Grondwaterkwaliteitsgegevens*

Uit de bemonsteringswaarden uit de bron (bijlage D) blijkt er sprake te zijn van een aantal veranderingen ten opzichte van de referentiemeting.

Het meest opvallende verschil in de veldmetingen is het zuurstofgehalte, dat volgens de veldmeting 0,4 mg/l zou zijn ten opzichte van 0,1 mg/l ten tijde van de referentiemeting. Het is echter bekend dat lage concentraties zuurstof ( $< 0,5$  mg/l) bij zuurstofmetingen in het veld niet goed gemeten kunnen worden. Bij zuurstofconcentraties kleiner of gelijk aan 0,5 mg/l wordt daarom ook naar de overige analyseresultaten gekeken om te beoordelen of er zuurstof in het verpompte grondwater kan zitten. In dit geval blijkt uit de grondwateranalyse dat het grondwater 20 mg/l opgelost ijzer bevat. Aangezien ijzer en zuurstof niet in hetzelfde grondwater kunnen voorkomen (ze reageren namelijk met elkaar totdat één van beide "op is"), wordt geconcludeerd dat het verpompte grondwater geen zuurstof bevatte.

In de analyseresultaten van de grondwatermonsters zijn veranderingen waargenomen in een aantal parameters. De belangrijkste veranderingen zijn:

- Toename calcium concentratie van 68 naar 77 mg/l;
- Toename bicarbonaat concentratie van 200 naar 270 mg/l;

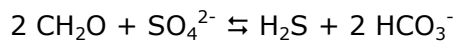




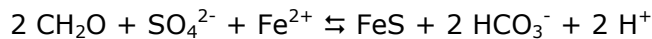
- Afname sulfaat concentratie van 6,5 naar < 0,1 mg/l;
- Afname concentratie ijzer van 22 naar 18 mg/l.

Opvallend is dat er geen noemenswaardige wijzigingen zijn waargenomen in de parameters in de concentratie arseen (alle metingen < 5 µg/l) en opgelost organisch koolstof (afname van 7,1 naar 7,0 mg/l), die vooraf als meest temperatuurgevoelig werden beschouwd.

De afname van de sulfaatconcentratie is waarschijnlijk het gevolg van sulfaatreductie. Hieronder is de reactievergelijking weergegeven voor sulfaatreductie door organische stof:



Het sulfaat wordt omgezet naar H<sub>2</sub>S, wat bij aanwezigheid van ijzer in het grondwater direct zal neerslaan als ijzersulfide. De overall reactie wordt dan:

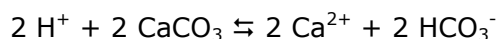


De geconstateerde daling van het sulfaatgehalte is 6,5 mg/l. Op basis van bovenstaande reactievergelijking volgt, dat bij sulfaatreductie tevens veranderingen in andere parameters te verwachten zijn:

- daling van het gehalte opgelost organische koolstof met 4,1 mg/l (metingen geven daling met 0,1 mg/l aan);
- daling ijzergehalte met 3,8 mg/l (metingen geven daling met 4 mg/l aan).

De daling van het ijzergehalte klopt vrijwel exact met de verwachting die hoort bij sulfaatreductie. Uit de metingen volgt een veel kleinere daling van de concentratie opgelost organisch koolstof dan bij alleen sulfaatreductie te verwachten is. Uit eerder uitgevoerd onderzoek is echter bekend dat bij een verhoging van de temperatuur organische stof gemobiliseerd kan worden (Jesußeck et al., 2013; Bonte et al., 2011; Brons et al., 1991 en Brons, 1992). Bij lage temperaturen is de afbraaksnelheid van het vrijgekomen organisch koolstof vermoedelijk hoger dan de mobilisatie snelheid van het organisch koolstof (Bonte et al., 2013). Het vrijgekomen organisch koolstof wordt dus sneller verbruikt dan het vrijkomt. Daardoor is er geen toename van de concentratie opgelost organisch koolstof waargenomen. Dit verklaart waarom de concentratie opgelost organisch koolstof nauwelijks is veranderd, terwijl er wel sulfaatreductie is opgetreden (waar organisch koolstof voor nodig is). Geconcludeerd wordt, dat de toename van de temperatuur heeft geleid tot mobilisatie van organische stof, die vervolgens weer is verbruikt voor sulfaatreductie. De daling van de sulfaatconcentratie kan tevens leiden tot een verschuiving naar methanogene omstandigheden: methaanvorming is namelijk pas mogelijk als alle belangrijke oxidatoren (zuurstof, nitraat, sulfaat) zijn verbruikt en dat is op basis van de analyseresultaten nu het geval. Hierbij is van belang dat in de meetput in 2007 een gasbemonstering is uitgevoerd, waarbij een methaangehalte van 14,4 mg/l is gemeten. Blijkbaar is er ook voor de inbedrijfname van de WKO ook al methaanvorming opgetreden. Methaanvormende omstandigheden komen blijkbaar ook al van nature voor op (of nabij) de locatie.

Bij de reductie van sulfaat ontstaat ook zuur (H<sup>+</sup>). Dit zuur wordt bij aanwezigheid van kalk verbruikt voor het oplossen van kalk:



De sulfaatreductie kan dan dus ook leiden tot een stijging van de concentraties calcium en bicarbonaat. De bij sulfaatreductie te verwachten veranderingen in de concentraties calcium en bicarbonaat zijn echter veel kleiner dan de waargenomen veranderingen. Dat betekent dat er een andere verklaring moet zijn.



Volgens REGIS bevinden de bronfilters zich in een watervoerend pakket, dat uit twee formaties is opgebouwd. Het gaat om de Peize/Waalre Formatie in het bovenste deel van het watervoerende pakket (kalkarme/kalkloze rivierafzettingen) en de Formatie van Maassluis daaronder (kalkrijke zee afzettingen). Volgens de boorbeschrijvingen van de proefboring en de warme bron zijn rond 40 en 80 m diepte schelpen/schelpgruis aangetroffen en bij de koude bron alleen rond 80 m-mv. De schelpen rond 40 m diepte bij de proefboring en de warme bron geven aan dat ook ondieper in het watervoerende pakket zee afzettingen voorkomen (REGIS klopt op deze locatie dus niet). Het gebruikte watervoerende pakket bestaat dus deels uit kalkrijke zee-afzettingen en deels uit kalkarme/kalkloze rivier-afzettingen.

Uit de interpretatie van de analyses volgt dat het bemonsterde grondwater licht onderverzadigd is ten aanzien van kalk. Dat is te verklaren als een deel van het onttrokken grondwater onderverzadigd is ten aanzien van kalk (is mogelijk als het grondwater afkomstig is uit de kalkarme/kalkloze rivierafzettingen) en deels kalkverzadigd (grondwater afkomstig uit kalkhoudende zee-afzettingen). Na het mengen van het kalkverzadigde en het kalk-onderverzadigde water is het mengwater licht onderverzadigd. Als dit water vervolgens in een kalkhoudende laag wordt gebracht, dan zal er kalk oplossen en neemt de concentratie calcium en bicarbonaat in het grondwater toe. Deze toename in de calcium- en bicarbonaatconcentratie is dan dus geen gevolg van de verhoogde temperatuur, maar van het mengen van kalkverzadigd water met kalk onderverzadigde water. Opgemerkt moet worden, dat eventuele dichtheidsgedreven grondwaterstroming dit proces nog wat kan versterken: door de versterkte verticale grondwaterstroming in een horizontaal gelaagde ondergrond kan er meer grondwater vanuit kalkloze lagen naar kalkrijke lagen stromen.

De variatie in de concentratie bicarbonaat is (gezien de waargenomen afname in de sulfaat concentratie en de toename in calciumconcentratie) veel groter dan verwacht op basis van de combinatie van zowel sulfaatreductie als het oplossen van kalk. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de gevoeligheid van de concentratie bicarbonaat voor de pH in combinatie met mogelijke veranderingen in de pH die optreden tussen het moment van monsternamen en het moment van analyse in het laboratorium. Door een verandering in de pH kan het carbonaat evenwicht namelijk verschuiven en kan de concentratie bicarbonaat sterk wijzigen.

Geconcludeerd wordt dat de verhoogde concentraties calcium en bicarbonaat waarschijnlijk veroorzaakt zijn door het mengen van kalkverzadigd en het kalk-onderverzadigd water.

### **3.7 Werkpakket 7: Kennisoverdracht**

Gedurende het project is de volgende kennisoverdracht gerealiseerd:

- ◇ *Warmteopslag bij middenhoge temperatuur biedt perspectief*; Onder Glas nr 12, december 2014. (bijlage E)
- ◇ *Presentatie "meer energie in de aquifer"*; 31-3-2015. 11 ondernemers
- ◇ *"thermisch rendement hoge & middelhoge temperatuur warmteopslag in de bodem"*; website kas als energiebron, 22-4-2015  
<https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/ondergrondse-warmteopslag-met-hogere-temperaturen/>.

Op basis van de resultaten zouden kennistrips worden georganiseerd. Het gebruik van de installatie wordt door de ondernemer als positief gezien aangezien de warmtepompen op een verbeterd rendement draaien. Echter, door de geringe vulling van de opslag met hogere temperaturen konden op het gebied van ondergrondse efficiëntie, effect en gebruik geen goede conclusies gedeeld worden.



**DLVge**

greenhouse consultancy

### **3.8 Planning en doorlooptijd**

Bij het normaal gebruik van een WKO, wordt in de zomer warmte geladen in de aquifer en in de winter teruggewonnen. Dit betekent ook dat in het voorjaar gestart kan worden met het laden van hoge temperaturen. Het is van belang om in een laadseizoen zo lang mogelijk met hoge temperaturen te laden om zo veel mogelijk warmte op te slaan voor het winterseizoen en het effect zo duidelijk mogelijk zichtbaar te kunnen maken.

In de oorspronkelijk planning was het eerste laadseizoen gepland voor de zomer van 2013. Doordat een nieuwe vergunningsaanvraag nodig was, is de start van de monitoring één jaar uitgesteld (2013 naar 2014).

Het plaatsen van een extra warmtepomp werd door de ondernemer vanwege subsidieaanvraag uitgesteld. De beschikking werd aangehouden en in die tijd kon geen warmtepomp worden aangeschaft. Nadat er duidelijkheid was over de beschikking, is de warmtepomp besteld, gefabriceerd en geïnstalleerd. Daarmee is ook het regelsysteem van de installatie aangepast om met de verhoogde brontemperaturen om te gaan. Dit heeft geleid tot wederom een jaar uitstel voordat werkelijk met het laden van de bron met verhoogde temperatuur kon worden gestart (2014 naar 2015).

Aangezien een monitoringstermijn van 2 jaar als minimum moest worden aangehouden is 2015 en 2016 gemonitord. Dit kon binnen dit project worden gerealiseerd, omdat werkpakket 3 is komen te vervallen. Omdat het laden van de bron tegenviel is nog zoveel mogelijk gebruik gemaakt van data uit 2017 om een analyse te kunnen maken.

## 4 Resultaten

Het project had als doelstelling om:

- ◇ de toepasbaarheid van WKO/MTO/HTO te bevorderen door:
  - het valideren van de resultaten uit voorgaand met name theoretisch onderzoek (bestaande relaties en modellen);
  - optimaliseren ontwerpnormen MTO/HTO;
  - een standaard monitoringsplan te realiseren om de prestatie van de bronnen te kunnen optimaliseren en vergelijken;
  - praktisch inzicht verschaffen in het effect van een MTO of HTO ten opzichte van een WKO;
  - het vergroten van de acceptatie en toepassing van MTO/HTO;
- ◇ energiebesparing te realiseren door:
  - het kunnen vergroten van de COP van de bovengrondse installatie en daarmee de uitstoot van CO<sub>2</sub> te reduceren;
  - de bovengrondse installatie beter af te stemmen op de WKO/MTO/HTO en vice versa;
  - het vergroten van de efficiëntie en het rendement van de opslag.
- ◇ de verduurzaming te bevorderen door:
  - het vergroten van de toepassing van opslagsystemen voor opslag van duurzame bronnen of zonnewarmte.

Met de instelling van diverse werkpakketten is getracht invulling te geven aan de doelstellingen van het project. Het valideren van de theoretische berekeningen liep in de praktijk echter tegen een aantal beperkingen aan:

- ◇ Er is maar een beperkt aantal geschikte goed werkende bronnen die voldoen aan de voorwaarden.
- ◇ Ondernemers met bronnen willen niet dat er met hun bronnen tests worden uitgevoerd, voor het geval de tests tot blijvende negatieve gevolgen leiden.
- ◇ Het laden en legen van de bronnen is seizoensgebonden, dus vertragingen in installatie of organisatie leidt al snel tot een geheel jaar vertraging.
- ◇ Het gebruik van de bronnen wordt door de ondernemer zodanig ingesteld dat het optimaal past in de werking van zijn installatie, niet zodat het optimaal past in het te onderzoeken onderwerp van het project.

Voor een goede praktische evaluatie van het laden met een hogere temperatuur had de bron langduriger gevuld moeten worden met warmte op 35 °C, zodat de thermische bel in de grond veel groter was geworden. Door veranderende bedrijfs- en economische omstandigheden (energieprijzen) is het resultaat echter dat de bron minder als seizoenopslag, maar meer als korte termijn opslag is gebruikt. Dit is een situatie die vooraf niet verwacht was, maar wel een grote invloed heeft op de resultaten van het onderzoek.

### 4.1 Conclusies

De verbetering van de bovengrondse COP (de bron is ontladen met ca 35/10 °C in plaats van 20/6 °C) is positief geweest voor de ondernemer, maar had een negatieve invloed op dit onderzoeksproject. Doordat de COP van de installatie is toegenomen en bronnen zo goed functioneren dat de warmte eenvoudig en met een lager debiet geladen en ontladen kan worden, is de bron steeds meer ingezet op een kortere termijn. Hierdoor wordt de warmte die met de WKK is gemaakt en in de bodem is opgeslagen, bij voorkeur vrij snel weer gebruikt. Daardoor is de installatie minder ingezet als seizoenopslag en leidde daarmee tot minder aansprekende resultaten voor de doelstellingen van het onderzoeksproject. De MTO zelf heeft voor de ondernemer echter naar volle tevredenheid gefunctioneerd.



Bij interne bedrijfsvergelijking (geen onderdeel van dit project), blijkt dat de vestiging in Steenberg ten opzichte van de andere vestigingen meer energie verbruikt. Een reden daarvan is dat de energie kosten laag zijn door de goed werkende installatie, waardoor er gemakkelijker energie wordt ingezet om de teelt te optimaliseren. Door meer aandacht te geven aan het energieverbruik en meer te sturen in strategie en daarmee de mogelijkheid van een seizoensopslag beter te benutten is het mogelijk om de efficiëntie te verbeteren. Gezegd zou kunnen worden dat de succesvolle inzet van de WKO-installatie meteen een rem is op een verdere optimalisering; de aandacht wordt verlegd naar andere onderdelen van de bedrijfsvoering.

Een andere conclusie is dat de monitoring van de bron aandacht vraagt. In de klimaatcomputer is een rapportage tool aanwezig die de rapportages voor de WKO per maand genereert. Het bleek in eerste instantie niet mogelijk om deze waarden te benaderen met meetdata uit diezelfde klimaatcomputer. Er is frequent overleg geweest met klimaatcomputer helpdesk om achter de oorzaak van de verschillen te komen. Uiteindelijk is aan de hand van de analyse (§ 3.6) beredeneerd hoe de meetwaarden te interpreteren. Een goede installatietekening met daarop aangegeven de appendages en meetpunten én hun relatie in de gemeten of berekende weergave in de klimaatcomputer kan daarin veel helpen. Van de gebruiker (ondernemer) mag niet verwacht worden dat hij precies op de hoogte is van de finesses van de koppelingen tussen klimaatcomputer en meetwaarde. De installaties bij diverse bedrijven zijn dusdanig specifiek dat algemene informatie over inrichtingen niet voldoende diepgang biedt. Het is van belang dat complexe en bedrijfsspecifieke installatie goed vastgelegd worden van installatie tot aansturing en rapportage.

Doordat het systeem slechts beperkt is ingezet als seizoensopslag is er geen sprake geweest van de opbouw van een grote warme bel in de ondergrond. Het werkelijke thermische invloedsgebied van het systeem is daardoor kleiner geweest dan vooraf werd verwacht. In de bodemtemperatuurmetingen die in de meetput zijn uitgevoerd is daardoor op de diepte van de opslag slechts een zeer geringe verhoging van de temperatuur waargenomen ten opzichte van de referentiemeting in 2014. De grootte van het thermische invloedsgebied is dan ook veel kleiner dan vooraf werd verwacht.

Tussen 10 en 30 meter beneden maaiveld is de temperatuur tussen 2014 (moment van de referentiemeting) en 2017 (laatste meting) met ongeveer 1,0 °C opgelopen. Verder is de temperatuur in de referentiemeting ongeveer 2,5 °C hoger dan de verwachting op basis van bodemtemperatuurmetingen in de omgeving. Hieruit wordt geconcludeerd dat sprake is van opwarming die al optrad voor het in bedrijf stellen van de MTO. Waarschijnlijk is de waargenomen opwarming voor een belangrijk deel het gevolg van het plaatsen van de kas direct naast de meetput, waardoor de jaargemiddelde temperatuur aan maaiveld sterk is verhoogd en ook de temperatuur in het bovenste deel van de ondergrond oploopt. Daarnaast zal er nog sprake zijn van enige opwarming van onderaf, door warmtegeleiding vanuit het opslagpakket.

Omdat de warme bel in de ondergrond niet groot genoeg is geweest om de meetput te bereiken, is de analyse van de metingen aan de grondwaterkwaliteit gebaseerd op de metingen aan grondwater dat is afgetapt in de technische ruimte van het systeem. Opvallend aan de grondwaterkwaliteitsmetingen is dat er nagenoeg geen variatie is waargenomen in de parameters die vooraf als meest temperatuurgevoelig werden beschouwd (arseen en opgelost organisch koolstof) vertonen. De concentratie arseen lag in alle drie de monsters onder de detectiegrens (< 5 µg/l) en de concentratie opgelost organisch koolstof varieerde tussen 6,9 en 7,1 mg/l. Ondanks de geringe variatie in de concentratie opgelost organisch koolstof is er waarschijnlijk wel organische stof gemobiliseerd als gevolg van de verhoogde temperatuur, maar deze organische stof is



vervolgens weer verbruikt voor de reductie van sulfaatreductie. Dit proces verklaart de waargenomen afname van het sulfaatgehalte en het ijzergehalte terwijl het gehalte opgelost organisch koolstof gelijk blijft.

Daarnaast zijn er aanwijzingen voor het oplossen van kalk (toename van de concentraties calcium en bicarbonaat). Dit is te verklaren door menging van kalkverzadigd water en kalk onderverzadigd water. Infiltratie van het gemengde, kalk onverzadigde water geïnfiltreerd wordt in een kalkhoudende laag leidt dan tot het oplossen van kalk. Dit proces zou nog wat versterkt kunnen worden door eventuele versterkte verticale stroming als gevolg van de grotere dichtheidsverschillen bij hogere temperaturen (opdrijven van het warme grondwater in het relatief koude omgevingswater). Voor dit laatste zijn in de bodemtemperatuurmetingen overigens geen duidelijke aanwijzingen gevonden, maar dit is wel te verwachten gezien de verhoogde temperatuur in combinatie met de doorlatendheid van het gebruikte watervoerende pakket.

## 4.2 Aanbevelingen

Op basis van de bevindingen in dit project zijn de volgende aanbevelingen opgesteld:

### **Toestaan dat met een beperkt hogere temperatuur geïnfiltreerd mag worden.**

De bruikbaarheid van de WKO neemt toe met een hogere opslagtemperatuur. Doordat de energie-inhoud minimaal gelijk blijft, kan de koude zijde van de bron warmer worden gehouden waardoor het rendement van de bovengrondse installatie toeneemt. De warmtepomp wordt vaker ingezet. Door toename in temperatuurverschil tussen koude en warme zijde wordt bij hetzelfde vermogen minder water rondgepompt. Dit is ook positief voor het rendement van de installatie.

### **Aandacht voor energiestrategie/inzet WKO voor seizoensopslag**

Doordat de installatie erg betrouwbaar is wordt er veel gebruik van gemaakt. Hierdoor neemt de aandacht voor optimale inzet van de installatie af. Dit is te zien doordat de installatie meer als dagopslag dan als seizoensopslag wordt ingezet. De efficiëntie van de installatie is te verbeteren met meer aandacht voor de energiestrategie. Een WKO is in beginsel niet ontworpen als dagopslag en is hiervoor ook een dure optie. Het voordeel van de WKO ligt in de functie van seizoensopslag.

### **Vastleggen van installatieschema's met appendages en de vertaling naar computerparameters en rapportages.**

In dit project bleek (wederom) dat het vastleggen van details van de installatie vaak niet wordt uitgevoerd. Dit levert aanzienlijke problemen op bij aanpassingen of probleemanalyse.

### **Verdere monitoring WKO**

Door het gebruik van de WKO in dit project zijn er maar beperkte conclusies te trekken op het gebied van de verhoogde infiltratietemperatuur. De historie en gegevens van de WKO zijn nu goed bekend. Het is eenvoudig mogelijk de registratie van de bron langer door te zetten tegen beperkte kosten. Daarbij is het wel van belang dat de WKO meer als seizoenbuffer wordt ingezet. Dit zal separaat met de ondernemer moeten worden onderzocht in een studie naar de energiestrategie en dan zo moeten worden ingezet.

In de bodemtemperatuur en de waterkwaliteit zijn invloeden geconstateerd die gerelateerd kunnen worden aan de verhoogde temperaturen van enerzijds de warmteopslag (optreden sulfaatreductie) en anderzijds het gevolg zijn van het gewijzigde landgebruik (oplopende bodemtemperaturen door enerzijds het plaatsen van de kassen en anderzijds de warmteopslag). Met aanvullende monitoring kan de ontwikkeling van (de effecten op) de bodemtemperatuur en de grondwaterkwaliteit verder gevolgd worden.

Aangezien het verpompte grondwater geen sulfaat meer bevat, kan het vrijgemaakte organisch koolstof andere processen in gang zetten. Hierbij moet worden gedacht aan reduceren van ijzer(hydr)oxiden en/of de vorming van methaan of (als dat niet het geval is) een stijging van de concentratie opgelost organisch koolstof in het grondwater. Aanvullende monitoring van de grondwaterkwaliteit (met metingen aan het methaangehalte) hier meer duidelijkheid over geven. Nadeel is wel dat er voor methaan nog geen referentiemetingen zijn uit het gehele opslagpakket (alleen een monster in de proefboring van één bepaalde diepte en dus geen mengmonster over de gehele diepte van het filtertraject van de bronnen). Voor het vaststellen van eventuele methaanvorming zullen daarom meerdere bemonsteringen nodig zijn.



## bijlage A bronrapporten per jaar

De gegevens vanuit de data waarop de grafieken zijn gebaseerd uitgezet tegen de gegevens uit de bronrapporten van de klimaatcomputer (Priva).

		2015			Warmte onttrekken			Warmte laden			Warmte onttrekken			Warmte laden			
			Data		%	Data		%	Data		%	Data		%	Data		%
			m <sup>3</sup>	Priva		m <sup>3</sup>	Priva		GJ	Priva		GJ	Priva		GJ	Priva	
januari	1	13.695	12.930	106%	7.936	7.938	100%	965	679	142%	563	478	118%				
februari	2	11.157	10.727	104%	10.364	10.337	100%	830	565	147%	784	665	118%				
maart	3	9.813	9.560	103%	13.115	12.988	101%	751	644	117%	1.010	924	109%				
april	4	11.395	11.058	103%	13.400	13.374	100%	920	731	126%	1.093	971	113%				
mei	5	9.783	9.533	103%	9.025	9.066	100%	1.032	800	129%	991	802	124%				
juni	6	6.135	5.893	104%	7.811	7.810	100%	632	537	118%	836	713	117%				
juli	7	1.709	3.718	46%	5.427	7.373	74%	175	336	52%	579	680	85%				
augustus	8	2.972	3.720	80%	8.008	8.576	93%	309	339	91%	794	752	106%				
september	9	9.915	9.673	102%	8.335	8.375	100%	1.035	884	117%	893	784	114%				
oktober	10	12.660	12.024	105%	6.471	6.520	99%	1.223	1.109	110%	698	618	113%				
november	11	0	0	0%	1.635	1.619	101%	0	0	0%	157	159	99%				
december	12	6.667	6.282	106%	1.998	2.007	100%	537	287	187%	188	129	147%				
Totaal		95.900	95.118	101%	93.524	95.983	97%	8.408	6.912	122%	8.586	7.674	112%				
kwartaal	1	34.665	33.217	104%	31.415	31.263	100%	2.546	1.887	135%	2.356	2.067	114%				
	2	27.313	26.484	103%	30.236	30.250	100%	2.584	2.069	125%	2.920	2.485	117%				
	3	14.595	17.111	85%	21.771	24.324	90%	1.519	1.560	97%	2.266	2.216	102%				
	4	19.327	18.306	106%	10.103	10.146	100%	1.760	1.397	126%	1.044	906	115%				

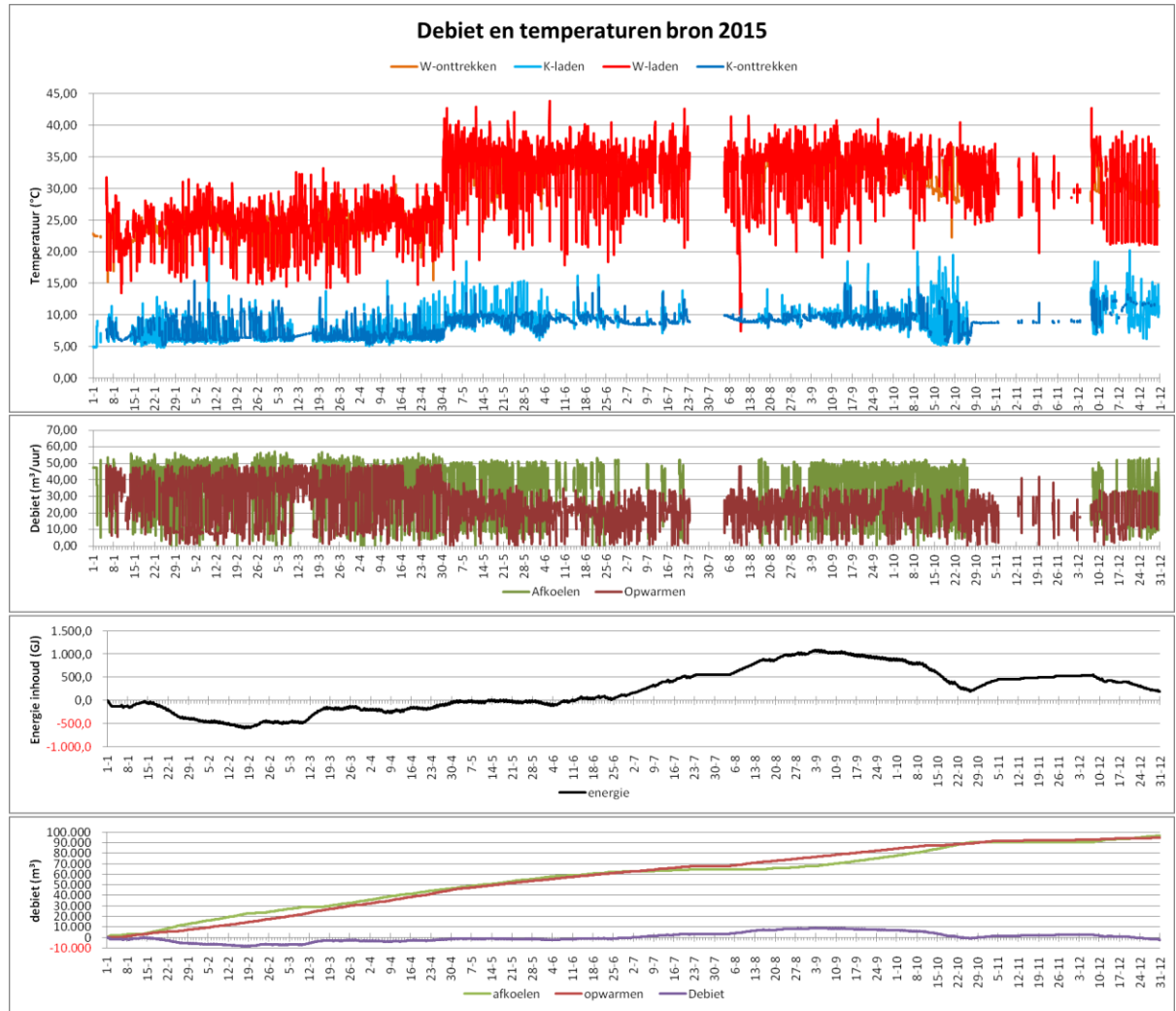
		2016			Warmte onttrekken			Warmte laden			Warmte onttrekken			Warmte laden			
			Data		%	Data		%	Data		%	Data		%	Data		%
			m <sup>3</sup>	Priva		m <sup>3</sup>	Priva		GJ	Priva		GJ	Priva		GJ	Priva	
januari	1	13.754	13.223	104%	844	936	90%	1.025	644	159%	70	62	113%				
februari	2	16.890	16.585	102%	210	472	45%	1.175	828	142%	20	44	46%				
maart	3	18.563	18.242	102%	147	363	41%	1.182	907	130%	15	36	41%				
april	4	15.621	15.177	103%	131	211	62%	916	906	101%	14	20	71%				
mei	5	8.150	7.820	104%	6.537	6.596	99%	686	512	134%	724	542	134%				
juni	6	8.929	8.686	103%	7.077	7.265	97%	907	589	154%	785	584	134%				
juli	7	7.371	7.023	105%	7.839	7.931	99%	763	496	154%	872	635	137%				
augustus	8	5.783	5.481	106%	7.515	7.574	99%	597	378	158%	810	578	140%				
september	9	817	775	105%	7.455	7.499	99%	81	166	49%	832	617	135%				
oktober	10	14.980	14.013	107%	3.781	3.858	98%	1.395	1.369	102%	381	357	106%				
november	11	841	772	109%	2.442	2.456	99%	74	87	84%	266	271	98%				
december	12	11.561	10.874	106%	5.485	5.583	98%	1.011	319	317%	579	313	185%				
Totaal		123.263	118.671	104%	49.463	50.744	97%	9.813	7.201	136%	5.367	4.059	132%				
kwartaal	1	49.207	48.050	102%	1.202	1.771	68%	3.382	2.379	142%	104	141	74%				
	2	32.701	31.683	103%	13.745	14.072	98%	2.509	2.007	125%	1.523	1.147	133%				
	3	13.972	13.279	105%	22.809	23.004	99%	1.442	1.040	139%	2.514	1.830	137%				
	4	27.383	25.659	107%	11.707	11.897	98%	2.479	1.775	140%	1.226	941	130%				

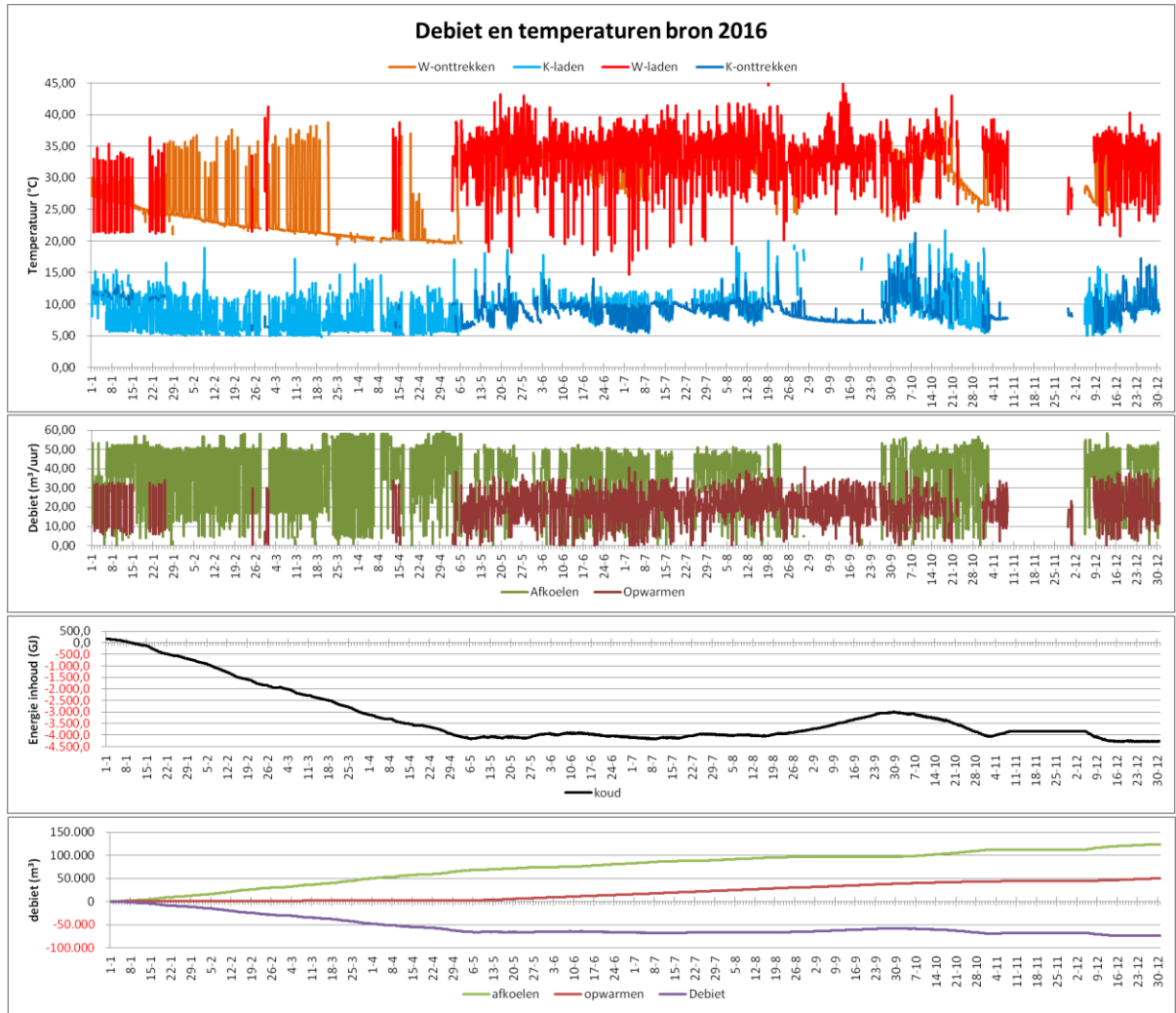
		2017			Warmte onttrekken			Warmte laden			Warmte onttrekken			Warmte laden			
			Data		%	Data		%	Data		%	Data		%	Data		%
			m <sup>3</sup>	Priva		m <sup>3</sup>	Priva		GJ	Priva		GJ	Priva		GJ	Priva	
januari	1	9.257	9.127	101%	8.066	8.198	98%	889	253	351%	849	466	182%				
februari	2	9.327	8.846	105%	7.314	7.304	100%	927	548	169%	800	603	133%				
maart	3	9.625	9.108	106%	8.230	8.188	101%	953	875	109%	903	843	107%				
april	4	4.678	4.423	106%	7.391	7.378	100%	465	533	87%	756	817	93%				
mei	5	7.102	6.702	106%	6.924	6.892	100%	723	796	91%	737	754	98%				
juni	6	6.658	5.907	113%	7.275	7.192	101%	699	532	131%	806	673	120%				
Totaal		54.580	50.712	108%	52.521	51.979	101%	5.449	4.060	134%	5.620	4.731	119%				
kwartaal	1	28.209	27.081	104%	23.610	23.690	100%	2.769	1.677	165%	2.552	1.912	133%				
	2	18.438	17.032	108%	21.590	21.462	101%	1.887	1.861	101%	2.299	2.244	102%				

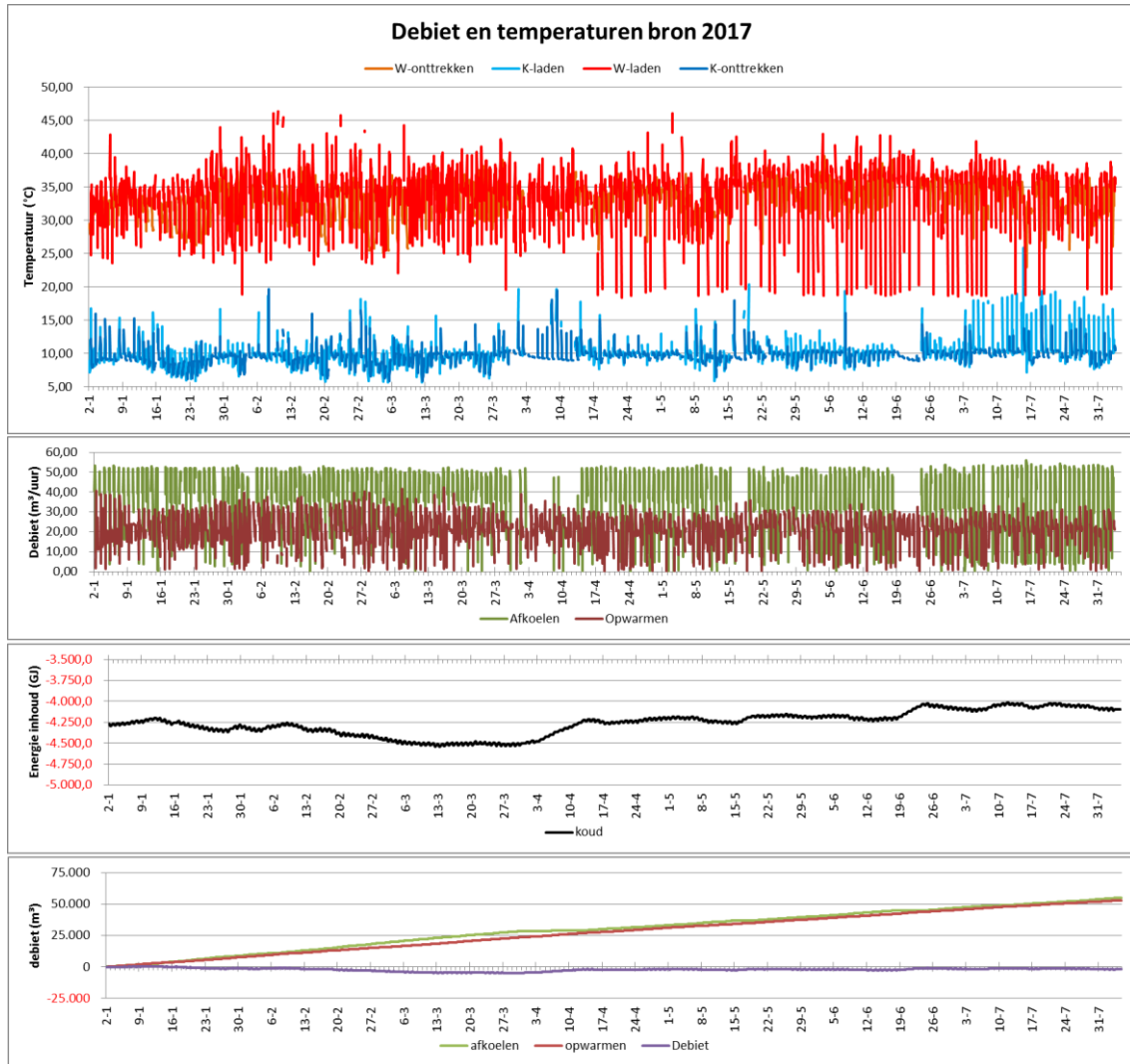




## bijlage B Meetdata







## bijlage C Monitoringsopzet

	Planning	Systeem situatie	systeem richting	Locatie	grondwater-analyse	T-profiel in meetput	MFI	Waarom meten?
1	voorjaar	start laden	K->W	aftappunt TR (water uit K) in diepe pb meetput	x	x	x	Referentie. Wat wordt gefiltreerd in W? Referentie temperatuur
2	midden zomer	T bereikt meetput	K->W	in diepe pb meetput		x		Berekenen wanneer T meetput bereikt.
3	eind zomer	Einde laden	uit	in diepe pb meetput		x		Is T-profiel gewijzigd tijdens laden (T-verdeling over diepte en T absoluut)
4	herfst	Start ontladen	W->K					geen wijzigingen t.o.v. eind zomer
5	midden winter	1/2 ontladen	W->K	in diepe pb meetput		x		berekenen wanneer 0,5x van het warme water t.h.v. meetput is onttrokken.
6	eind winter	Einde ontladen	W->K	aftappunt TR (water uit W) in diepe pb meetput	x		x	Hoe is chem. situatie in W-bel na periode opwarming? Alleen als er nog warmte in W zit? --> kleine kans! Bepalen tijdens ontladen met Temp.Transm. in TR
<b>Volgende jaar</b>								
7	voorjaar	Start laden	K->W					geen wijzigingen t.o.v. eind winter
8	midden zomer	T bereikt meetput	K->W	in diepe pb meetput		x		berekenen wanneer T meetput bereikt, en anticiperen op ervaring het jaar daarvoor.
9	eind zomer	Einde laden	uit	aftappunt TR (water uit K) in diepe pb meetput	x		x	Vergelijk met referentie na periode in K-bel.
10	herfst	Start ontladen	W->K	in diepe pb meetput		x		Is T-profiel gewijzigd tijdens laden (T-verdeling over diepte en hoogte T)
11	midden winter	1/2 ontladen	W->K	in diepe pb meetput		x		geen wijzigingen t.o.v. eind zomer
12	eind winter	Einde ontladen	W->K	aftappunt TR (water uit W) in diepe pb meetput	x		x	berekenen wanneer 0,5x van het warme water uit meetput is onttrokken. Hoe is chem. situatie in W-bel na periode opwarming? Is er nog restwarmte? --> kleine kans! Bepalen tijdens ontladen met Temp.Transm. in TR

## **bijlage D Veldmetingen bronnen**

De bijlagen betreft de rapporten van de metingen die IF-Technology heeft verricht tijdens de monitoring. Deze zijn als pdf bijgevoegd.

# Notitie

---

Project: MTO Van Duijn in Steenberg  
Onderwerp: Referentiemetingen in het veld  
Datum: 8 juli 2014  
Referentie: 63112/BP/20140708  
Auteur: BP  
Gecontroleerd door: BD

---

## 1 Inleiding

Voor het energieopslagsysteem van Van Duijn in Steenberg is besloten om het systeem te wijzigen van een lage temperatuur opslag (huidige WKO-systeem) naar een MTO-systeem (middelhoge temperatuur opslag).

Met subsidie van Productschap Tuinbouw wordt deze wijziging intensief gemonitord. De eerste metingen bestaan uit de onlangs uitgevoerde referentiemetingen welke onderdeel uitmaken van het meetprogramma dat is opgesteld in overleg met de Provincie Noord Brabant.

Op 4 juni 2014 zijn deze referentiemetingen uitgevoerd bij Van Duijn in Steenberg.

In deze notitie zijn de gebruikte methode en de resultaten gerapporteerd.

## 2 Methoden

### 2.1 Grondwateranalyses en veldmetingen

Op 4 juni 2014 is het grondwater bemonsterd via een kogelkraan op de hoofdtransportleiding in de installatie.

De pH, temperatuur en EC zijn in het veld gemeten via een doorstroomcel met de daarvoor geijkte instrumenten.

Het grondwater is bemonsterd volgens de procedures uit de BRL2001 en de analyses zijn uitgevoerd door Alcontrol Laboratoria.

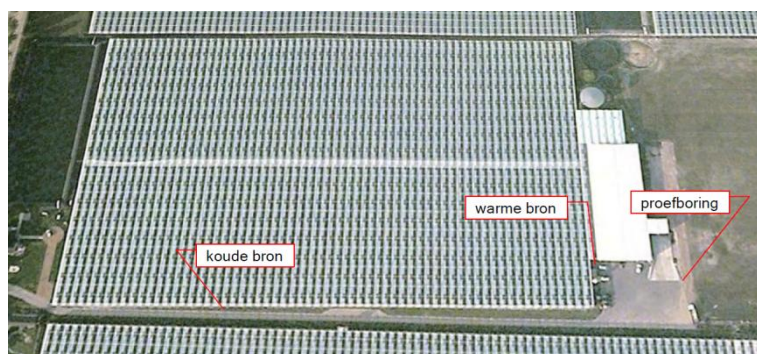
### 2.2 Temperatuurprofiel in meetput

Op het terrein is een proefboring afgewerkt tot meetput op ca. 45m afstand van de warme bron. Deze meetput is afgewerkt met 3 peilbuizen. De diepste peilbuis tot 78 meter is

gebruikt voor het meten van een bodemtemperatuurprofiel. De bovengrondse afwerking was beschadigd en is hersteld door IF.

De meetsonde is geleidelijk in peilbuis 3 van de meetput gebracht. Met een diepte interval van 2,5 m is de temperatuur opgenomen en geregistreerd.

*Figuur 1  
locatie bronnen en  
meetput*



### 3 Resultaten metingen en analyses

De grondwatermetingen zijn uitgevoerd op 4 juni 2014. De metingen zijn uitgevoerd tijdens de bedrijfsfase laden, waarbij water uit de koude bron wordt onttrokken en in de warme bron warm water wordt geïnjecteerd. Op het moment van meten is er nog geen hoge temperatuur (>25 °C) geïnjecteerd.

#### 3.1 Grondwateranalyses en veldmetingen

De resultaten van de metingen in het veld zijn opgenomen in de onderstaande tabel.

Bemonsterd object	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	Temperatuur (°C)	Zuurstof (mg/l)
Water uit de koude bron	457	6,9	10	0,1

*Tabel 1  
Resultaten  
veldmetingen*

De resultaten van de grondwateranalyses bij Alcontrol zijn opgenomen in bijlage 1.

De belangrijkste indicatoren voor de grondwaterkwaliteit zijn het zoutgehalte, de kalkverzadigingsgraad en de redoxtoestand.

---

## Zoutgehalte

Het zoutgehalte wordt meestal beschreven aan de hand van het chloridegehalte. Zoet water heeft een chloridegehalte kleiner dan 150 mg/l, brak water een chloridegehalte tussen 150 en 1.000 mg/l en zout water een chloridegehalte groter dan 1000 mg/l. Beïnvloeding van het zoutgehalte is een aanwijzing zijn voor menging van grondwater met verschillende zoutgehaltes. Hierbij is van belang dat ondiep grondwater, dat meer beïnvloed is door menselijke activiteiten, ook een verhoogd chloridegehalte kan hebben.

Uit de metingen bij van Duijn blijkt dat het verpompte water een zeer laag chloridegehalte heeft (15 mg/l) en dus als zoet kan worden geclassificeerd. Toekomstige metingen moeten uitwijzen of hierin veranderingen optreden.

## Kalkverzadigingsgraad

De kalkverzadigingsgraad van het grondwater geeft aan in hoeverre het grondwater in evenwicht is met kalk. Als in de bodem kalk aanwezig is, dan is het grondwater normaalgesproken kalkverzadigd of licht oververzadigd. Beïnvloeding van de kalkverzadigingsgraad of de daaraan gerelateerde stoffen (Ca, HCO<sub>3</sub>) kan een aanwijzing zijn voor het oplossen of neerslaan van kalk.

Aan de hand van de metingen bij van Duijn is de kalkverzadigingsgraad berekend. Uit deze berekening volgt een waarde van -0,62, wat betekent dat het grondwater onderverzadigd is ten aanzien van kalk. Dit suggereert dat het watervoerende pakket niet of nauwelijks kalk bevat.

## Redoxtoestand

De redoxtoestand van het grondwater is een belangrijke indicator voor de eigenschappen van de bodem en het grondwater en de (bio)chemische processen die zich daarin kunnen afspelen. De redoxtoestand kan variëren van oxidisch (zuurstofhoudend) tot methanogeen (sterk gereduceerd). Uit verschillende onderzoeken naar de invloed van de temperatuur op de grondwaterkwaliteit blijkt dat bij het sterk verhogen van de temperatuur organische stof gemobiliseerd kan worden uit het aquifer materiaal. Aangezien organische stof een belangrijke reducerende stof is, kan dit tot gevolg hebben dat de redoxtoestand verschuift naar meer gereduceerde omstandigheden, met als gevolg dat ook de grondwaterkwaliteit wordt beïnvloed. Daarom is de invloed van een verhoogde temperatuur op het gehalte opgelost organisch koolstof (DOC) in het grondwater van belang om te meten.

Uit kolomexperimenten van Jesuþek (Jesuþek et al., 2012) volgt dat bij 25 °C sprake is van een lichte verhoging van het gehalte organische stof in het grondwater en dat deze invloed bij hogere temperaturen toeneemt. De verschuiving van de redoxtoestand naar meer gereduceerde omstandigheden die daarbij ook optreedt, wordt toegeschreven aan (1) de verhoogde microbiologische activiteit die het gevolg is van de hogere temperatuur en (2) de verhoogde beschikbaarheid van organische stof leidt.



---

Uit kolomexperimenten van Brons (Brons et al., 1991 en Brons, 1992) is gebleken dat temperatuurverhogingen tot boven de 45 °C kunnen leiden tot mobilisatie van organische stof. Bij kolomexperimenten door Brons in het temperatuur bereik 10-30 °C kon extra mobilisatie van organische stof niet worden aangetoond.

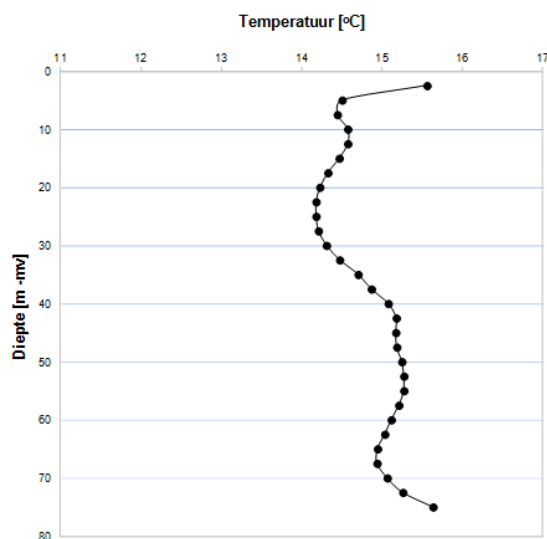
Bij kolomexperimenten door Bonte (Bonte et al., 2013) is bij 25 °C een verhoogd gehalte arseen gemeten en bij 70 °C een verhoogd gehalte arseen en organische stof.

Uit de metingen bij van Duijn volgt dat het grondwater ijzer gereduceerd is en het arseengehalte kleiner is dan de detectiegrens (< 5 µg/l). Toekomstige metingen moeten uitwijzen of bij een verhoging van de temperatuur sprake is van beïnvloeding van de redoxtoestand en/of de gehaltenes DOC en arseen.

### 3.2 Temperatuurprofiel

Het volgende temperatuurprofiel is gemeten in de meetput. In bijlage 2 zijn de meetwaarden opgegeven.

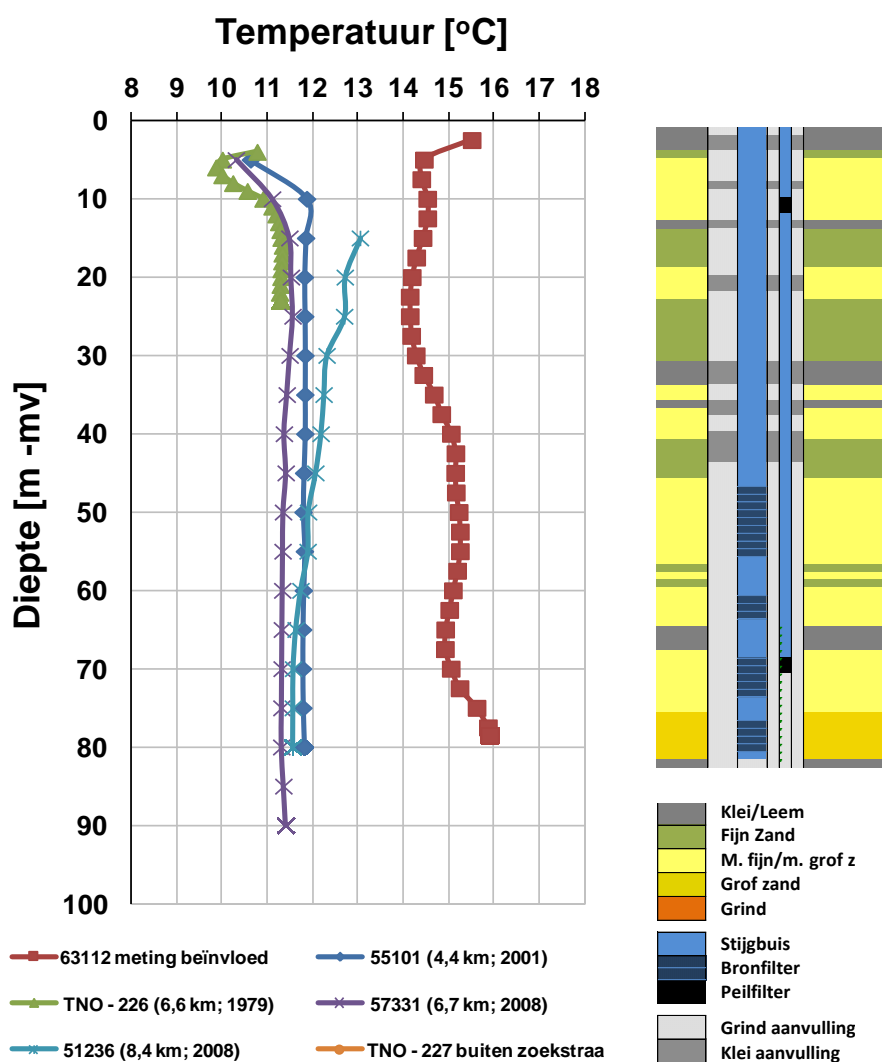
Figuur 2  
Temperatuurprofiel in  
meetput



In de omgeving staan peilbuizen waarin temperaturen zijn gemeten. De temperatuurmetingen van de peilbuizen binnen een straal van 10 km zijn opgenomen in figuur 3.

**Figuur 3**  
Temperatuurprofielen  
in de omgeving (rode  
lijn is het gemeten  
profiel bij Van Duijn)

Naast het  
temperatuurprofiel is  
de bodemopbouw en  
filterstelling van de  
nabijgelegen bron  
W1 weergegeven



De rode lijn in figuur 3 is het gemeten profiel bij Van Duijn. Op het moment van meten werd bij het WKO systeem warmte opgeslagen in de warme bron. De meetput staat op 45 meter van deze bron en lijkt al enige invloed te hebben van het laden aangezien de temperatuur ter hoogte van het opslag pakket waarin het bronfilter is gerealiseerd (45 en 80m-mv) hoger

---

is dan de (niet beïnvloede) metingen in de omgeving. De grootste invloed is gemeten in het onderste deel van het opslagpakket. Dit is te verklaren op basis van de daar aanwezige grove zandlaag. In die zandlaag zal het meeste “warme” water worden geïnjecteerd, omdat die zandlaag de hoogste doorlatendheid heeft.

Echter ook boven het bronfilter (0-30 m-mv) is de temperatuur enkele graden (2-2,5 °C) hoger dan metingen in peilbuizen op enige afstand.

De oorzaak van deze verhoogde temperatuur is niet bekend. Mogelijkheden zijn:


- Verhoogde bodemtemperaturen als gevolg van invloed op maaiveld. Dit is een algemeen bekend fenomeen in stedelijke gebieden, waar de temperatuur in de bovengrond hoger is als gevolg van hogere temperatuur aan het maaiveld. De meetput staat direct nabij het kascomplex, waar ook sprake is van een verhoogde jaargemiddelde maaiveldtemperatuur.
- Invloed van de warme bron op gedeeltes van de bodem boven het bronfilter/opslagpakket. Tijdens het injecteren van het warme WKO water (20-25 °C) wordt de PVC buis in het blinde deel boven het bronfilter ook “opgewarmd”. Mogelijk wordt deze warmte afgegeven naar de omgeving. De meetput staat echter op grote afstand van de warme bron. Daarom is deze oorzaak het minst aannemelijk. Bij het infiltreren van hogere temperaturen tijdens het MTO project kan dit gecontroleerd worden. Indien dit wel de oorzaak is, zal dit effect bij de hogere temperaturen ook sterker worden.

---

**BIJLAGE 1**      Analyseresultaten Alcontrol

---

**BIJLAGE 2** Weerstandswaarden tijdens temperatuurprofielmeting

Bodemtemperaturen			Parameters:	
	<b>Projectnaam:</b>	Van Duijn Steenberg	<b>Beginndiepte:</b>	0 [m -mv]
	<b>Projectnummer:</b>	63112/BP	<b>Einddiepte:</b>	300 [m -mv]
	<b>Veldwerkdatum:</b>	woensdag 4 juni 2014	<b>Interval:</b>	5 [m]
	<b>Rapport:</b>			
	<b>Bijlage:</b>			
	<b>Meettechnicus:</b>	US	<b>Constanten:</b>	
	<b>Kabellengte (m):</b>	300	<b>Correctiecoëfficiënt:</b>	12 [-]
	<b>Opmerkingen:</b>	PB 3 diep 78 m-mv	<b>Aantal intervals:</b>	60 [-]
Diepte	Gemeten weerstand	Temperatuur		
[m -mv]	[Ohm]	[°C]		
2,5	3.463	15,56		
5	3.637	14,50		
7,5	3.647	14,44		
10	3.625	14,57		
12,5	3.625	14,57		
15	3.643	14,46		
17,5	3.667	14,32		
20	3.684	14,22		
22,5	3.692	14,18		
25	3.692	14,18		
27,5	3.687	14,21		
30	3.670	14,31		
32,5	3.642	14,47		
35	3.603	14,70		
37,5	3.575	14,86		
40	3.540	15,08		
42,5	3.524	15,18		
45	3.525	15,17		
47,5	3.523	15,18		
50	3.513	15,24		
52,5	3.509	15,27		
55	3.509	15,27		
57,5	3.519	15,21		
60	3.534	15,11		
62,5	3.547	15,03		
65	3.562	14,94		
67,5	3.563	14,94		
70	3.542	15,06		
72,5	3.511	15,26		
75	3.451	15,63		
77,5	3.411	15,88		
78,5	3.405	15,92		

# Notitie

Project:	MTO Van Duijn in Steenberg
Onderwerp:	Monitoringsrapport metingen in het veld, periode november 2015 - maart 2016
Datum:	18 juli 2016
Referentie:	63112/JJ/20160718
Auteur:	Jimmy Joseph
Gecontroleerd door:	Benno Drijver

## 1 Inleiding

Het bodemenergiesysteem van Kwekerij Van Duijn in Steenberg is enkele jaren geleden van een LTO- (lage temperatuur opslag) naar een MTO-systeem (middelhoge temperatuur opslag) gewijzigd. Het systeem bestaat uit twee bronnen (een koude en een warme bron). Tevens is er een meetput op locatie aanwezig (zie figuur 1). Dit is een als meetput afgewerkte proefboring.

*Figuur 1  
locatie bronnen en  
meetput*



In overleg met Omgevingsdienst Midden- en West-Brabant (OMWB) is een monitoringsplan opgesteld. In dit plan zijn de benodigde metingen nader omschreven. Deze metingen dienen als monitoring van de effecten van het MTO-systeem op de omgeving. De eerste metingen zijn in juni 2014 uitgevoerd; de resultaten van deze metingen zijn opgenomen in de referentierapportage met kenmerk 63112/BP/20140708.

In de periode november 2015 t/m maart 2016 zijn wederom metingen uitgevoerd. In deze notitie zijn de resultaten van deze metingen gerapporteerd. Daarnaast is een vergelijking gemaakt met de resultaten van de referentiemetingen.

## 2 Metingen

### 2.1 Grondwaterkwaliteit

De chemische samenstelling van het grondwater kan veranderen. De grondwaterkwaliteit wordt dan ook gecontroleerd op basis van wateranalyses. Naast de standaard macroparameters (Ca ; K ; Mg ; Mn ; Na ; Fe ; NH<sub>4</sub> ; HCO<sub>3</sub> ; Cl ; NO<sub>3</sub> ; SO<sub>4</sub>), wordt ook Arseen (As) en opgelost organisch koolstof (DOC) geanalyseerd. Deze laatste parameters zijn het gevoeligst voor temperatuurverandering (Bonte, 2013; Brons et al., 1991; Jesußeck et al., 2012).

Via een kogelkraan op de hoofdtransportleiding in de installatie wordt een watermonster genomen van het onttrekkingswater. Het grondwater wordt bemonsterd volgens de procedures uit de BRL2001 en de analyses worden uitgevoerd door Alcontrol Laboratories. Tijdens deze monsternamen wordt tevens de pH, temperatuur en EC van het onttrokken grondwater gemeten via een doorstroomcel met de daarvoor geijkte instrumenten.

### 2.2 Bodemtemperatuurmeting

De ontwikkeling van de warme bel wordt gemonitord door periodiek het verloop van de temperatuur in de diepte (het temperatuurprofiel) te meten in de diepste peilbuis van de meetput. Deze meetput bevindt zich op circa 45 meter afstand van de warme bron.

## 3 Resultaten metingen en analyses

### 3.1 Grondwateranalyses en veldmetingen

De grondwatermetingen zijn uitgevoerd op 20 januari 2016. Omdat de referentiemeting in 2014 bij de koude bron is uitgevoerd, is deze meting eveneens uitgevoerd bij de koude bron.

#### 3.1.1 Resultaten veldmetingen

De resultaten van de veldmetingen (pH, temperatuur en EC) zijn weergegeven in de onderstaande tabel. Tevens zijn de resultaten van de referentiemetingen in dezelfde tabel opgenomen.

Veldmetingen koude bron	4 juni 2014	20 januari 2016
EC (µS/cm)	457	488
Zuurgraad (pH)	6,9	6,9
Temperatuur (°C)	10,0	9,7
Zuurstof (mg/l)	0,1	0,4

Tabel 1  
Resultaten  
veldmetingen



Uit bovenstaande resultaten blijkt er sprake te zijn van een minimale verandering ten opzichte van de referentiemeting. Het meest opvallende verschil is het zuurstofgehalte, dat volgens de veldmeting 0,4 mg/l zou zijn ten opzichte van 0,1 mg/l ten tijde van de referentiemeting. Het is echter bekend dat lage concentraties zuurstof (< 0,5 mg/l) bij zuurstofmetingen in het veld niet goed gemeten kunnen worden. Bij zuurstofconcentraties kleiner of gelijk aan 0,5 mg/l wordt daarom ook naar de overige analyseresultaten gekeken om te beoordelen of er zuurstof in het verpompte grondwater kan zitten. In dit geval blijkt uit de grondwateranalyse dat het grondwater 20 mg/l opgelost ijzer bevat. Aangezien ijzer een zuurstof niet in hetzelfde grondwater kunnen voorkomen (ze reageren namelijk met elkaar totdat één van beide "op is"), wordt geconcludeerd dat het verpompte grondwater geen zuurstof bevatte. Op basis van deze veldmetingen wordt daarom gesteld dat het grondwater in de afgelopen periode niet in kwaliteit is veranderd.

### 3.1.2 Analyse grondwaterkwaliteit

De analyseresultaten van het grondwatermonster zijn opgenomen in bijlage 1.

De belangrijkste indicatoren (met bijbehorende chemische parameters) bij een veranderende grondwaterkwaliteit zijn het zoutgehalte (Cl), de kalkverzadigingsgraad (pH, Ca, HCO<sub>3</sub>) en de redoxtoestand (NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Fe, As, DOC). De analyseresultaten van deze kenmerkende parameters zijn in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 2  
Resultaten  
chemische para-  
meters

Chemische parameter (mg/l)	4 juni 2014	20 januari 2016
<b>Zoutgehalte</b>		
Chloride (Cl)	15	15
<b>Kalkverzadigingsgraad</b>		
Calcium (Ca)	68	75
Bicarbonaat (HCO <sub>3</sub> )	200	270
Kalkverzadigingsgraad (berekend)	-0,62	-0,45
<b>Redoxtoestand</b>		
Nitraat (NO <sub>3</sub> )	< 0,2	< 0,2
Sulfaat (SO <sub>4</sub> )	6,5	< 50
IJzer (Fe)	22	20
Arseen (As)	< 5 µg/l	< 5 µg/l
Opgelost organisch koolstof (DOC)	7,1	6,9

---

### Zoutgehalte

Uit de metingen van januari 2016 blijkt dat het verpompte water een zeer laag chloridegehalte heeft (15 mg/l); het water wordt hiermee als zoet geclassificeerd. Tijdens de referentiemeting in 2014 is eveneens een chloridegehalte van 15 mg/l gemeten. Het chloridegehalte is daarmee onveranderd gebleven.

### Kalkverzadigingsgraad

De kalkverzadigingsgraad van het grondwater geeft aan in hoeverre het grondwater in evenwicht is met kalk. Als in de bodem kalk aanwezig is, dan is het grondwater normaalgesproken kalkverzadigd of licht oververzadigd.

Aan de hand van de metingen bij Van Duijn is de kalkverzadigingsgraad berekend. Uit deze berekening volgt een waarde van -0,45; het grondwater is licht onderverzadigd ten aanzien van kalk. Dit suggereert dat het watervoerende pakket niet of nauwelijks kalk bevat. Daarnaast wijkt de kalkverzadigingsgraad weinig af van de referentiemeting in 2014; het grondwater is op dit vlak nagenoeg onveranderd gebleven.

### Redoxtoestand

De redoxtoestand van het grondwater is een belangrijke indicator voor de eigenschappen van de bodem en het grondwater en de (bio)chemische processen die zich daarin kunnen afspelen. Uit verschillende onderzoeken naar de invloed van de temperatuur op de grondwaterkwaliteit blijkt dat bij het sterk verhogen van de temperatuur organische stof gemobiliseerd kan worden uit het aquifermateriaal. Organische stof is een belangrijke reducerende stof en kan de redoxtoestand verschuiven naar meer gereduceerde omstandigheden. Het is daarom van belang om de invloed van een verhoogde temperatuur op het gehalte opgelost organisch koolstof (DOC) in het grondwater te meten. Daarnaast kan een verhoogde temperatuur tot een verhoogd gehalte arseen leiden.

Uit de resultaten van de metingen in januari 2016 blijkt dat de redoxtoestand ten opzichte van de metingen in juni 2014 nagenoeg onveranderd is gebleven. Het arseengehalte is nog steeds kleiner dan de detectiegrens ( $< 5 \mu\text{g/l}$ ). Het gehalte ijzer en DOC zijn zelfs iets afgenomen, maar in orde van grootte gelijk gebleven.

De beïnvloeding van de verhoging van de temperatuur van het grondwater op de redoxtoestand is tot op heden verwaarloosbaar klein te noemen.

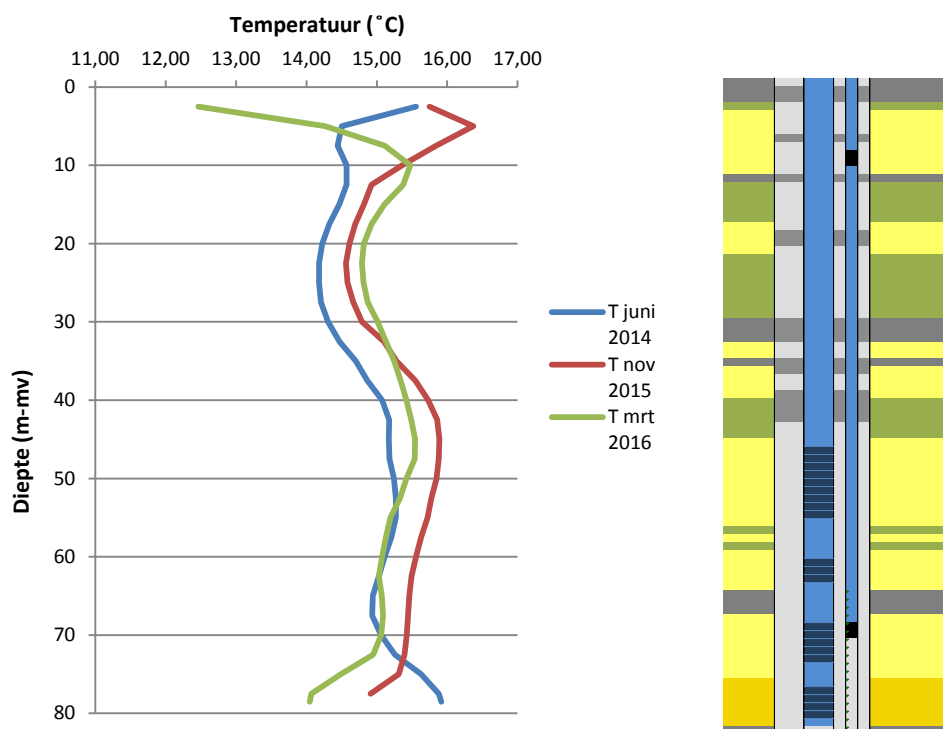
## 3.2 Thermische beïnvloeding op de omgeving

### 3.2.1 Resultaten bodemtemperatuurmetingen

Op 18 november 2015 en 30 maart 2016 zijn bodemtemperatuurmetingen uitgevoerd in de diepste peilbuis van de meetput. De meetput bevindt zich op circa 45 meter van de warme bron. De gemeten temperatuurprofielen zijn, samen met het profiel van de referentiemeting in 2014, weergegeven in de onderstaande figuur 2. In bijlage 2 zijn de meetwaarden opgenomen.

Figuur 2  
Temperatuurprofielen  
in de meetput.

Naast de grafiek is  
de bodemopbouw en  
filterstelling van de  
nabijgelegen warme  
bron weergegeven.



#### Meting 4 juni 2014, begin/midden zomerperiode

De blauwe lijn in figuur 2 is de referentiemeting, uitgevoerd in de zomerperiode. In deze periode werd bij het WKO-systeem warmte opgeslagen in de warme bron. Het temperatuurprofiel is reeds in de referentierapportage nader toegelicht.

#### Meting 18 november 2015, tussenseizoen

De 2<sup>e</sup> meting (rode lijn) is circa 1,5 jaar na de referentiemeting en in de periode tussen de zomer- en winterperiode uitgevoerd. Uit dit profiel blijkt dat ter hoogte van het opslagpakket

---

bij de meetput de temperatuur hoger is dan de referentiemeting. Dit wordt verklaard doordat in de zomer een grote hoeveelheid warm water in de bodem is geïnfiltreerd.

### **Meting 30 maart 2016, einde winterperiode**

Dit temperatuurprofiel (groene lijn) vertoont een lagere temperatuur in het opslagpakket bij de meetput. Dit duidt erop dat de warme bel aan het einde van de winterperiode weer in omvang is afgenomen door het onttrekken van warm water.

### **Overige bevindingen**

De referentiemeting heeft aangetoond dat ook boven het bronfilter (0-30 m-mv) de temperatuur enkele graden (2-2,5 °C) hoger ligt dan (niet beïnvloede) metingen in peilbuizen op grotere afstand. De recente temperatuurprofielen vertonen hetzelfde beeld.

#### *Traject van 0 tot 10 m-mv*

De verhoogde bodemtemperaturen zijn het gevolg van invloed op maaiveld. Dit is een algemeen bekend fenomeen in stedelijke gebieden. Daarnaast wordt de temperatuur in de bovengrond beïnvloed door seizoensinvloeden.

#### *Traject van 10 tot 30 m-mv*

De meetput staat direct nabij het kascomplex, waar ook sprake is van een verhoogde jaargemiddelde van de temperatuur aan het maaiveld. Daarnaast kan als gevolg van geleiding hogere temperaturen vanuit het ondergelegen opslagpakket naar boven worden "getransporteerd". Beide aspecten kunnen op langere termijn leiden tot verhoogde temperaturen.

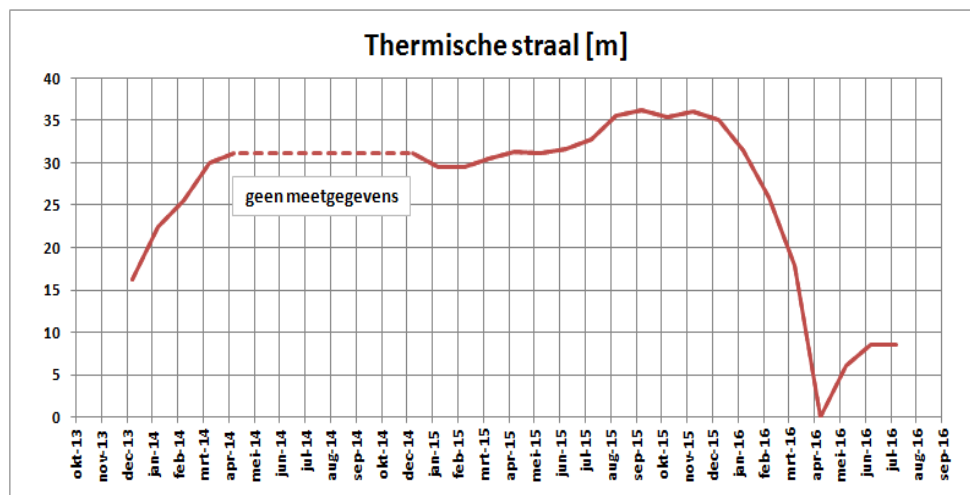
## **3.2.2 Berekening thermische straal**

Uit de data uit het GBS is op te maken dat grondwater met een temperatuur van 20 tot 35 °C in de warme bron wordt geïnfiltreerd. De temperatuurprofielen in de meetput tonen deze hoge temperaturen echter niet aan. De gemeten temperaturen (14 tot 16 °C) zijn waarschijnlijk nog gerelateerd aan achtergebleven warmte van de LTO/WKO-opslag.

De straal van de warme bel met hogere temperaturen is blijkbaar zodanig klein, dat de meetput zich buiten de invloedzone bevindt. De vergunde waterverplaatsing bedraagt namelijk 240.000 m<sup>3</sup> per seizoen en 480.000 m<sup>3</sup> per jaar. In 2015 is de waterverplaatsing ruim binnen de vergunning gebleven, waardoor de ontstane warme bel (en invloed op de nabije omgeving) tot nu toe ook minder groot is geweest.

Op basis van de beschikbare data uit het GBS is de thermische straal van de warme bel berekend en in beeld gebracht. De resultaten zijn in figuur 3 in grafiekvorm weergegeven.

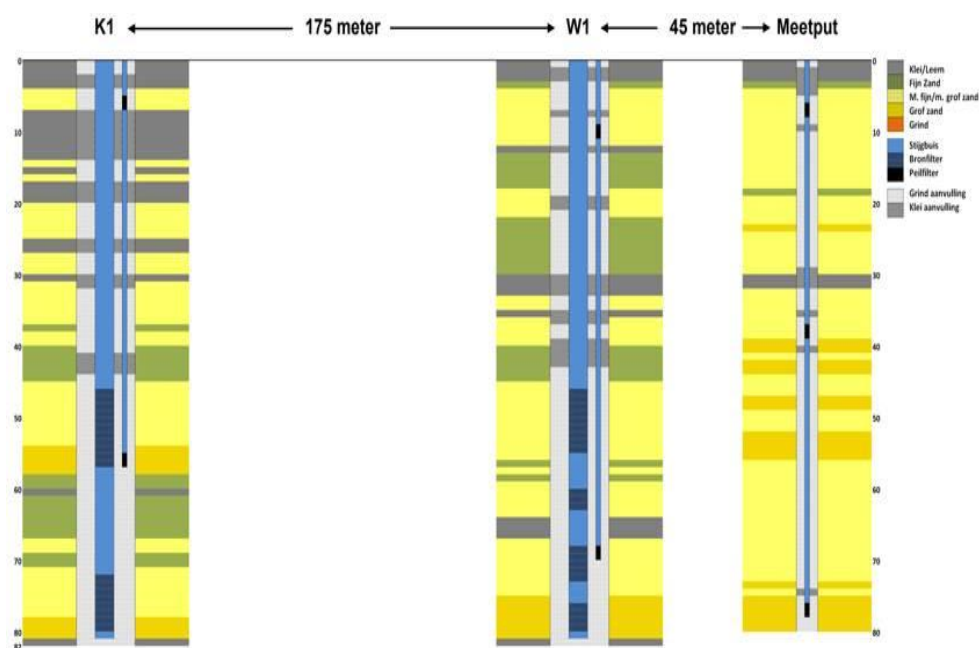
Figuur 3  
Op- en afbouw  
thermische straal  
warme bel



Aanname is dat begin 2014 de (middelhoge temperatuur) warmteopslag van start is gegaan. Verder is de periode “geen meetgegevens” een aanname, omdat in de tabel met data in die maanden op “-” staat. Het kan ook zijn dat de verpompte waterhoeveelheid werkelijk nul was in die maanden. Desondanks lijkt het er sterk op dat de thermische straal nooit groot genoeg is geweest om de afstand tot de meetput (45 m) te halen. De bodemtemperatuurmetingen vormen hiervoor de bevestiging.

Overigens kan de heterogeniteit van de bodemopbouw verschillen in de thermische straal veroorzaken (zie figuur 4). Grote lagen nemen meer water op en ter hoogte van deze lagen wordt een grotere thermische straal verwacht. Echter, dit aspect is blijkbaar ook onvoldoende om iets in de metingen te kunnen terugzien.

Figuur 4  
Bodemopbouw  
bronnen en meetput



## 4 Conclusie

- De resultaten van de veldmetingen en grondwaterkwaliteit wijken niet of nauwelijks af van de referentiemetingen in 2014. Het grondwater is in de periode van juni 2014 t/m januari 2016 nagenoeg onveranderd gebleven.
- Uit de bodemtemperatuurprofielen blijkt dat de meetput op 45 meter afstand tot op heden niet wordt beïnvloed door de hoge temperaturen van de warme bel (20 tot 35 °C). Tot nu toe is de jaarlijkse waterverplaatsing ruim binnen de vergunde waterverplaatsing gebleven, waardoor de warme bel met hogere temperaturen relatief klein is en niet tot aan de meetput reikt. De gemeten temperaturen (14 tot 16 °C) in de meetput zijn waarschijnlijk nog gerelateerd aan de achtergebleven warmte van de LTO/WKO-opslag.
- Uit de berekening van de thermische straal blijkt eveneens dat deze straal nooit groot genoeg is geweest om de afstand tot de meetput (45 m) te halen.

---

## **BIJLAGE 1**

### **Analyseresultaten Alcontrol**



## Analyserapport

IF Technology  
Dhr. U. Sobering  
Postbus 605  
6800 AP ARNHEM

Blad 1 van 4

Uw projectnaam : Van Duijn Steenberg  
Uw projectnummer : 63112/JJ  
ALcontrol rapportnummer : 12236016, versienummer: 1

Rotterdam, 26-01-2016

Geachte heer/mevrouw,

Hierbij ontvangt u de analyse resultaten van het laboratoriumonderzoek ten behoeve van uw project 63112/JJ. Het onderzoek werd uitgevoerd conform uw opdracht. De gerapporteerde resultaten hebben uitsluitend betrekking op de geteste monsters. De door u aangegeven omschrijvingen voor de monsters en het project zijn overgenomen in dit analyserapport.

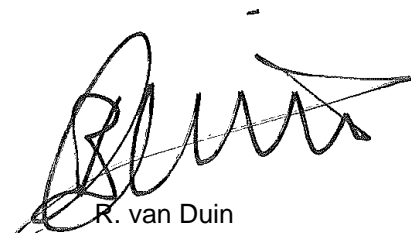
Het onderzoek is, met uitzondering van eventueel door derden uitgevoerd onderzoek, uitgevoerd door ALcontrol B.V., gevestigd aan de Steenhouwerstraat 15 in Rotterdam (NL).

Dit analyserapport bestaat inclusief bijlagen uit 4 pagina's. In geval van een versienummer van '2' of hoger vervallen de voorgaande versies. Alle bijlagen maken onlosmakelijk onderdeel uit van het rapport. Alleen vermenigvuldiging van het hele rapport is toegestaan.

Mocht u vragen en/of opmerkingen hebben naar aanleiding van dit rapport, bijvoorbeeld als u nadere informatie nodig heeft over de meetonzekerheid van de analyseresultaten in dit rapport, dan verzoeken wij u vriendelijk contact op te nemen met de afdeling Customer Support.

Wij vertrouwen er op u met deze informatie van dienst te zijn.

Hoogachtend,



R. van Duin  
Laboratory Manager





IF Technology  
Dhr. U. Sobering

### Analyserapport

Blad 2 van 4

Projectnaam Van Duijn Steenberg  
Projectnummer 63112/JJ  
Rapportnummer 12236016 - 1

Orderdatum 20-01-2016  
Startdatum 20-01-2016  
Rapportagedatum 26-01-2016

Nummer	Monstersoort	Monsterspecificatie
001	Grondwater	Onttrekkingswater

Analyse	Eenheid	Q	001
DOC	mg/l		6.9
<i>METALEN</i>			
arseen	µg/l	Q	<5
calcium	µg/l	Q	75000
kaliüm	µg/l	Q	1800
magnesium	µg/l	Q	2800
Mangaan	µg/l	Q	430
natrium	µg/l	Q	10000
ijzer	µg/l	Q	20000
<i>ANORGANISCHE VERBINDINGEN</i>			
ammonium	mg/l	Q	0.4
fosfaat (tot.)	mgP/l	Q	0.66
bicarbonaat	mg/l	Q	270
<i>DIVERSE NATCHEMISCHE BEPALINGEN</i>			
chloride	mg/l	Q	15
nitraat	mgN/l	Q	<0.05
nitraat	mg/l	Q	<0.2
sulfaat	mg/l	Q	<50 <sup>1)</sup>

De met Q gemerkte analyses zijn geaccrediteerd en vallen onder de AS3000-erkenning.

Paraaf :





IF Technology  
Dhr. U. Sobering

## Analyserapport

Blad 3 van 4

Projectnaam Van Duijn Steenberg  
Projectnummer 63112/JJ  
Rapportnummer 12236016 - 1

Orderdatum 20-01-2016  
Startdatum 20-01-2016  
Rapportagedatum 26-01-2016

---

### Voetnoten

---

1 De rapportagegrens is verhoogd i.v.m. noodzakelijke verdunning.

Paraaf :



Projectnaam Van Duijn Steenberg  
Projectnummer 63112/JJ  
Rapportnummer 12236016 - 1

Orderdatum 20-01-2016  
Startdatum 20-01-2016  
Rapportagedatum 26-01-2016

Analyse	Monstersoort	Relatie tot norm
DOC	Grondwater	Conform NEN-EN 1484
arsen	Grondwater	Conform NEN 6966 en conform NEN-EN-ISO 11885
calcium	Grondwater	Idem
kalium	Grondwater	Idem
magnesium	Grondwater	Idem
Mangaan	Grondwater	Idem
natrium	Grondwater	Idem
ijzer	Grondwater	Idem
ammonium	Grondwater	Conform NEN-ISO 15923-1
fosfaat (tot.)	Grondwater	Eigen methode (destructie eigen methode, analyse destruaat conform NEN-EN-ISO 15681-2)
bicarbonaat	Grondwater	eigen methode, titrimetrische methode
chloride	Grondwater	Conform NEN-ISO 15923-1
nitraat	Grondwater	Conform NEN-EN-ISO 10304-1
nitraat	Grondwater	Idem
sulfaat	Grondwater	Conform NEN-ISO 15923-1


Monster	Barcode	Aanlevering	Monstername	Verpakking
001	H7364612	20-01-2016	20-01-2016	ALC281
001	H0611899	20-01-2016	20-01-2016	ALC208
001	B5760371	20-01-2016	20-01-2016	ALC207
001	Q0206097	20-01-2016	20-01-2016	ALC230
001	Q0206098	20-01-2016	20-01-2016	ALC230
001	G8761986	20-01-2016	20-01-2016	ALC236
001	B5760379	20-01-2016	20-01-2016	ALC207
001	B1480139	20-01-2016	20-01-2016	ALC204
001	B5760343	20-01-2016	20-01-2016	ALC207
001	T0170464	20-01-2016	20-01-2016	ALC244
001	B1480124	20-01-2016	20-01-2016	ALC204

Paraaf :


---

## **BIJLAGE 2**

### **Weerstand bodemtemperatuurmeting**

Bodemtemperaturen		
	<b>Projectnaam:</b>	Van Duijn Steenberg
	<b>Projectnummer:</b>	63112/JJ
	<b>Veldwerkdatum:</b>	woensdag 18 november 2015
	<b>Rapport:</b>	
	<b>Bijlage:</b>	
	<b>Meettechnicus:</b>	US
	<b>Kabellengte (m):</b>	100
<b>Opmerkingen:</b>	PB 3 diep 78 m-mv	
Diepte	Gemeten weerstand	Temperatuur
[m -mv]	[Ohm]	[°C]
2,5	3.420	16,03
5	3.323	16,66
7,5	3.405	16,12
10	3.482	15,64
12,5	3.553	15,19
15	3.571	15,08
17,5	3.592	14,95
20	3.606	14,87
22,5	3.615	14,82
25	3.611	14,84
27,5	3.597	14,92
30	3.576	15,05
32,5	3.524	15,38
35	3.495	15,56
37,5	3.452	15,83
40	3.423	16,01
42,5	3.403	16,14
45	3.398	16,17
47,5	3.399	16,16
50	3.404	16,13
52,5	3.416	16,05
55	3.425	15,99
57,5	3.439	15,91
60	3.451	15,83
62,5	3.461	15,77
65	3.466	15,74
67,5	3.469	15,72
70	3.472	15,70
72,5	3.477	15,67
75	3.490	15,59
77,5	3.555	15,18
78,5		#NB

## Bodemtemperaturen

	<b>Projectnaam:</b>	Van Duijn Steenberg
	<b>Projectnummer:</b>	63112/JJ
	<b>Veldwerkdatum:</b>	woensdag 30 maart 2016
	<b>Rapport:</b>	
	<b>Bijlage:</b>	
	<b>Meettechnicus:</b>	US
	<b>Kabellengte (m):</b>	100
<b>Opmerkingen:</b>	PB 3 diep 78 m-mv	

Diepte [m -mv]	Gemeten weerstand [Ohm]	Temperatuur [°C]
2,5	4.033	12,46
5	3.709	14,26
7,5	3.566	15,11
10	3.508	15,48
12,5	3.524	15,38
15	3.567	15,11
17,5	3.597	14,92
20	3.615	14,82
22,5	3.620	14,79
25	3.616	14,81
27,5	3.606	14,87
30	3.582	15,01
32,5	3.563	15,13
35	3.544	15,25
37,5	3.530	15,34
40	3.517	15,42
42,5	3.506	15,49
45	3.497	15,54
47,5	3.498	15,54
50	3.517	15,42
52,5	3.531	15,33
55	3.553	15,19
57,5	3.563	15,13
60	3.572	15,08
62,5	3.579	15,03
65	3.573	15,07
67,5	3.570	15,09
70	3.574	15,06
72,5	3.593	14,95
75	3.671	14,49
77,5	3.742	14,07
78,5	3.746	14,05

# Notitie

Project: MTO Van Duijn in Steenberg  
 Onderwerp: Resultaten veldmetingen en bemonstering 2016  
 Datum: 6 januari 2017  
 Referentie: 63112/JJ/20170106  
 Auteur: Jimmy Joseph

## Resultaten veldmetingen

De resultaten van de veldmetingen (pH, temperatuur en EC) zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 1  
 Resultaten  
 veldmetingen

Veldmetingen koude bron	4-06-2014	20-01-2016	8-12-2016
EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	457	488	469
Zuurgraad (pH)	6,9	6,9	6,72
Temperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ )	10,0	9,7	9,9
Zuurstof (mg/l)	0,1	0,4	0,23

Uit bovenstaande resultaten blijkt er sprake te zijn van een minimale verandering ten opzichte van de referentiemeting. Op basis van deze veldmetingen wordt daarom gesteld dat het grondwater in de afgelopen periode niet in kwaliteit is veranderd.

## Analyse grondwaterkwaliteit

De belangrijkste indicatoren (met bijbehorende chemische parameters) bij een veranderende grondwaterkwaliteit zijn het zoutgehalte (Cl), de kalkverzadigingsgraad (pH, Ca,  $\text{HCO}_3$ ) en de redoxtoestand ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Fe, As, DOC).

Tabel 2  
 Resultaten  
 chemische parameters

Chemische parameter (mg/l)	4-6-2014	20-01-2016	8-12-2016
<b>Zoutgehalte</b>			
Chloride (Cl)	15	15	12
<b>Kalkverzadigingsgraad</b>			
Calcium (Ca)	68	75	77
Bicarbonaat ( $\text{HCO}_3$ )	200	270	270
Kalkverzadigingsgraad (berekend)	-0,62	-0,45	-0,62
<b>Redoxtoestand</b>			
Nitraat ( $\text{NO}_3$ )	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Sulfaat ( $\text{SO}_4$ )	6,5	< 50	< 0,10
IJzer (Fe)	22	20	18
Arseen (As)	< 5 $\mu\text{g}/\text{l}$	< 5 $\mu\text{g}/\text{l}$	< 5 $\mu\text{g}/\text{l}$
Opgelost organisch koolstof (DOC)	7,1	6,9	7,0

## **bijlage E Kennisoverdracht**





Jan van Duijn (rechts) en Arjan van Antwerpen: "Je moet de onderdelen van het systeem goed op elkaar afstemmen. Dat vraagt tijd, maar dan heb je een goed werkend systeem."

Meer rendement uit het aardgas

## Warmteopslag bij middenhoge temperatuur biedt perspectief

**In en buiten de glastuinbouw is veel belangstelling voor mogelijkheden om warmte onder hogere dan de gebruikelijke temperaturen in de bodem op te slaan. Heel veel vooruitgang zit er nog niet in. Maar bij de gebroeders Van Duijn in het Noord-Brabantse Steenberg loopt een pilotonderzoek annex experiment dat wel stevig in de steigers staat. Bovendien zien de eerste resultaten er goed uit.**

Kas als Energiebron financiert het project, DLV glas & energie zorgt samen met IF Technology voor de uitvoering. Een aantal jaren geleden vroegen de adviesorganisatie en

de gebroeders Van Duijn zich af of, naast restwarmte uit de kas, óók restwarmte van een WKK in de grond zou kunnen worden opgeslagen. Adviseur Arjan van Antwerpen: "Om dat te onderzoeken hebben we een model ontworpen waarin een ketel, een WKK én een warmtepomp met elkaar samenwerken. Vervolgens is dat model gerealiseerd op één van de bedrijven van deze broers. De resultaten bleken beter te zijn dan wij hadden verwacht."

### Extra rookgascondensator

De drie broers Van Duijn hebben drie bedrijven met aubergines, in Steenberg, Terneuzen en Oosterland. De grootste vestiging, in

Steenbergen, heeft een oppervlakte van 8,5 ha. Jan van Duijn legt de keuze voor het experiment uit. "We wilden in deze vestiging nog meer rendement uit een kubieke meter aardgas halen. Om dat te bereiken zetten we in op twee technieken. Eén is de installatie van een extra condensator achter de WKK, zodat we twee maal warmte aan de rookgasen kunnen onttrekken. Twee is de opslag van de restwarmte in een aquifer, maar dan onder middenhoge temperaturen."

### Nieuwe vergunning noodzakelijk

Om de beide doelstellingen te realiseren investeerde de onderneming in extra hardware. De warmtepomp was uiteraard de

grootste investering. Verder was een nieuwe vergunning nodig, want uit het oogpunt van bodembeheer zijn er beperkingen aan de temperatuur van het water waarmee een aquifer wordt gevuld.

Het duurde even, maar uiteindelijk gaf de provincie Noord-Brabant groen licht. Het bestuursorgaan wilde ook wel meer weten van de effecten van warmteopslag bij hogere temperaturen op de bodem. De nieuwe vergunning gaat uit van een maximale temperatuur van 40°C. Onder de oude vergunning lag de grens bij 25°C.

Van Antwerpen: "Het is wel de kunst om alle componenten in het systeem goed en nauwkeurig op elkaar af te stemmen. Dat vroeg de nodige tijd, maar het resultaat is er dan ook naar. Het hele systeem werkt naar behoren."

### Warmtepomp staat centraal

Het project is gericht op meer efficiency, dan wel het voorkomen van onnodig energieverlies. Van Antwerpen: "De restwarmte uit een standaard rookgascondensator is ongeveer 40°C. Wie die warmte in een aquifer wil opslaan, moet het wettelijke maximum in acht nemen en het water dus terugkoelen naar maximaal 25°C. Als een teler de in de aquifer opgeslagen warmte later weer wil benutten, moet hij het water weer opwarmen naar 40°C voordat het de kas in kan. Deze omweg, dit 'versnijden' van de warmte, kost uiteraard energie en dus geld."

Nu het bedrijf onder hogere temperaturen kan gaan opslaan, is de genoemde omweg verleden tijd. De warmtepomp is het centrale element in de techniek, hij heeft als het ware de hoofdrol. De pomp is een betrouwbare warmtebron, zegt Van Duijn. "Hij is minder gevoelig voor storingen dan een WKK. Het vroeg wel tijd om hem goed in te passen in het geheel van de technische installaties. En



*De waterpomp bereikt een hoger rendement nu de aubergineteler het water op hogere temperaturen in de aquifer kan opslaan.*

net als met een WKK kun je er geld mee verdienen; als de elektriciteit goedkoop is, geeft hij extra rendement."

### Meer restwarmte van WKK

Volgens Van Antwerpen lopen veel projecten met middenhoge temperatuuropslag in en buiten de sector over het algemeen niet erg goed. Op het bedrijf van de gebroeders Van Duijn zijn alle technische ideeën gerealiseerd en werkt alles wel naar tevredenheid. "Een maximale temperatuur van 25°C is beperkt. Als die temperatuur in de richting van 40°C kan, zoals op dit bedrijf nu gebeurt, opent dat voor veel bedrijven nieuw perspectief. Een teler hoeft het water dat naar de aquifer gaat niet terug te koelen om het later weer op te

moeten warmen. En hij kan meer restwarmte van zijn WKK benutten."

### Meer efficiency, meer rendement

De procedures vroegen de nodige tijd en daarom is het nog niet mogelijk om harde cijfers over de kosten en opbrengsten te overleggen. Volgend jaar moet dat wel mogelijk zijn. "Maar wij wilden meer rendement uit het aardgas halen", zegt Van Duijn. "En dat lijkt te gaan lukken."

In het afgelopen teeltseizoen heeft hij water tot op 28°C in de aquifer geladen en problemen heeft dat niet gegeven. Er zijn nog geen effecten op de bodem gemeten. Daarnaast stegen de prestaties (Coëfficiënt of Performance) van de warmtepomp; de pomp bereikt nu een hoger rendement.

## 'Hoger rendement moet de investeringen goedmaken'

**De glastuinbouw heeft warmte over in de zomer en vraagt veel warmte in de winter. Kas als Energiebron wilde graag weten wat het potentieel is van warmteopslag bij middenhoge temperaturen. Vandaar dat het programma de pilot ondersteunt.**

In dat programma werken LTO Glas-kracht Nederland en het Ministerie van Economische Zaken samen aan energiebesparing en verduurzaming van de glastuinbouw.

Natuurlijk zijn er al verschillende mogelijkheden om een overschot aan warmte in bijvoorbeeld de bodem op te slaan, om die warmte later weer te benutten, zegt Aat Dijkshoorn van Kas als Energiebron. "Maar het wordt interessanter

als dat bij hogere temperaturen kan en een hoger rendement mogelijk wordt", legt de projectcoördinator uit. "En vanzelfsprekend willen wij, de ondernemers en de overheid ook weten wat de invloed is op de omgeving van warmteopslag bij middenhoge temperaturen."

Net als de gebroeders Van Duijn hoopt Dijkshoorn dat volgend seizoen meer gegevens beschikbaar komen over het rendement. "Er staan natuurlijk ook investeringen tegenover. Wie vanuit een blanco situatie start, moet geld neerleggen voor een aquifer, een warmtepomp en eventueel een extra condensator. Dat alles moet terugkomen uit een hoger rendement uit de gebruikte energie."

## Samenvatting

Een teler die een warmteoverschot in een aquifer wil opslaan, is gebonden aan een maximumtemperatuur. Als hij hogere temperaturen zou mogen aanhouden, zou meer rendement mogelijk zijn. Gebroeders Van Duijn in Steenberghe kreeg van de provincie Noord-Brabant groen licht om bij middenhoge temperaturen op te slaan. Met als investering een warmtepomp en een tweede condensator lijkt de onderneming op deze wijze meer rendement uit het aardgas te halen. Voorwaarde is dat de energie-installaties goed op elkaar zijn afgestemd.



## Gebruikersgroep WKO in de glastuinbouw

Derde bijeenkomst in West Brabant dinsdag 31 maart 2015

Locatie:

- 1) Gebr van Duijn, Zoekweg 10 Steenberg
- 2) Rijk Zwaan Breeding BV, Eerste Kruisweg 9, 4793 RS Fijnaart

### Deelnemers gebruikersgroep:

Leen van Leeuwen	Koppert Cress
Bart van Meurs	Koppert Cress
Huib Herbert	Koppert Cress
Piet Vijverberg	Kwekerij Piet Vijverberg (Phalaenopsis)
Leon Dukker	Porta Nova (roos)
Maurice vd Hoorn	Vd Hoorn Orchideeën
Gerben vd Giessen	Butterfly Orchids
Arie Goos	Rijk Zwaan
Hans Hubers	Mts Hubers (anthurium)
Maarten Sonneveld	kwekerij Amazone (amaryllis)
Jan van Duijn	Gebr. van Duijn (aubergine)

### Inhoudelijke bijdragen:

Arjan van Antwerpen (DLV Glas+Energie)  
Lucia Kleinegris (Grontmij)

### Agenda

13.30	Welkom bij Gebr van Duijn Steenberg
13.45	Toelichting door Arjan van Antwerpen op de pilot midden hoge temperatuur opslag bij Gebr v Duijn
14.15	Discussie
14.30	transport naar Rijk Zwaan in Fijnaart
15.00	Inleiding over balans WKO door Lucia Kleinegris: regelgeving, handhaving en technische oplossingen
15.30	Discussie
16.00	Toelichting op gebruik WKO bij Rijk Zwaan door Arie Goos
16.30	Bespreking verslag d.d. 11-12-2014, actualiteiten en vervolg bijeenkomsten
17.00	Afsluiting