



55106288-TOS/NET 10-4605

Quickscan Ondiepe Geothermie

Arnhem, 30 juni 2010

Auteurs: Bart in 't Groen (KEMA); Koen Hellebrand (IF-Technology)

In opdracht van Productschap Tuinbouw

In het kader van Kas als Energiebron; gefinancierd door PT en het ministerie van EL&I



auteur : B.A.F. in 't Groen 10-06-30
B 21 blz. bijl. WSc beoordeeld : J.J.B. van de Burgt 10-06-30
goedgekeurd : C.A.M. van den Ende 10-06-30



Contact gegevens uitvoerenden:

KEMA Nederland B.V.
Bart in 't Groen
Utrechtseweg 310
P.O. Box 9035
6800 ET Arnhem
Tel: 026 356 2258
Bart.intgroen@kema.com

IF Technology
Koen Hellebrand
Bas de Zwart
Velperweg 37
Tel: 026 3 53 55 80
K.Hellebrand@iftechnology.nl
B.dezwart@iftechnology.nl

Kwekerij "De Nieuwe Dijk" B.V.
Pieter van Dijk
Bollaarsdijk 13 A
3231 LA Brielle
pieter@kwekerijenieuwedijk.nl

© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Het is verboden om dit document op enige manier te wijzigen, het opsplitsen in delen daarbij inbegrepen. In geval van afwijkingen tussen een elektronische versie (bijv. een PDF bestand) en de originele door KEMA verstrekte papieren versie, prevaleert laatstgenoemde.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

De inhoud van dit rapport mag slechts als één geheel aan derden kenbaar worden gemaakt, voorzien van bovengenoemde aanduidingen met betrekking tot auteursrechten, aansprakelijkheid, aanpassingen en rechtsgeldigheid.

INHOUD

	blz.	
1	Managment Samenvatting	4
2	Project introductie	6
3	Inventarisatie uitgangspunten	7
4	Geologische inventarisatie	10
5	Conceptuele analyse	11
6	Globale uitwerking ondiepe geothermie	12
6.1	Bronontwerp	12
6.2	Globale uitwerking opwekkingsinstallatie	14
6.2.1	Variant 1: toepassing OGT huidige situatie	15
6.2.2	Variant 2: toepassing OGT het nieuwe telen	17
6.3	Globale Financiële analyse	21
6.3.1	Investeringen OGT	22
6.3.2	Kostprijs variant 1	23
6.3.3	Kostprijs variant 2	27
6.4	Globale milieudruk-analyse	31
7	Conclusies en aanbevelingen	32
7.1	Conclusies	32
7.2	Aanbevelingen	34

1 MANAGMENT SAMENVATTING

De glastuinbouw is een energie-intensieve sector en verduurzaming staat hoog op de agenda. Bodemenergie kan hierin een belangrijk aandeel leveren. De grootste kostenpost bij bijvoorbeeld geothermie zijn de boorkosten. Hier kan aanzienlijk op bespaard worden indien ondieper geboord wordt (ongeveer 700 m –mv), waardoor met traditionele grondwater boortechnieken volstaan kan worden. Ook zijn de risico's een stuk kleiner, en wordt met ondiepe geothermie een *extra* laag in de ondergrond benut, welke nieuwe kansen biedt voor clusters van tuinders, in de vorm van meervoudig bodemgebruik. Dit rapport geeft een beeld van de haalbaarheid van deze *ondiepe geothermie (OGT)* bij één specifieke tuinder (tomaten), en is uitgevoerd door IF en KEMA, in het kader van Kas als Energiebron dat wordt gefinancierd door PT en het ministerie van EL&I.



Figuur 1 (a) Schematische weergave toepassing ondiepe geothermie, (b) en (c) het verschil tussen een boorlocatie voor diepe (b) en ondiepe (c) geothermie.

Energetisch potentieel: Het energetisch potentieel is in kaart gebracht voor zowel een huidige 6 ha bedrijf, als ook voor een 10 ha bedrijf. OGT is hierbij ingezet als basislast. Hiernaast is gekeken naar een variant in het kader van *het nieuwe telen*. Hierbij is zowel de vermogensvraag, als ook de energie vraag gereduceerd met 20%. Door de hoge vraag in Januari tot Mei en in November / December, is de inzet van OGT aantrekkelijk. Gedurende de zomermaanden draait de WKK t.b.v. CO₂ en elektriciteits-opwekking. Zie ook onderstaande Figuur 2.

Economische potentieel: Het leveren van meer warmte met de OGT zal leiden tot een lagere kostprijs. Dit is zichtbaar in variant waarbij OGT ingezet is als basislevering in plaats van de WKK. Door de combinatie met het nieuwe telen, wat bijdraagt aan een lagere warmtevraag en piekshaving en de mogelijkheid tot een lagere aanvoertemperatuur vanaf de warmtepomp, is het mogelijk om nagenoeg alle warmte met de OGT te leveren. De kostprijs is zonder subsidies is berekend, alleen fiscaal voordeel is meegenomen, zie ook onderstaande Tabel 1. Verbeteringen in de OGT-businesscase kunnen gevonden worden in

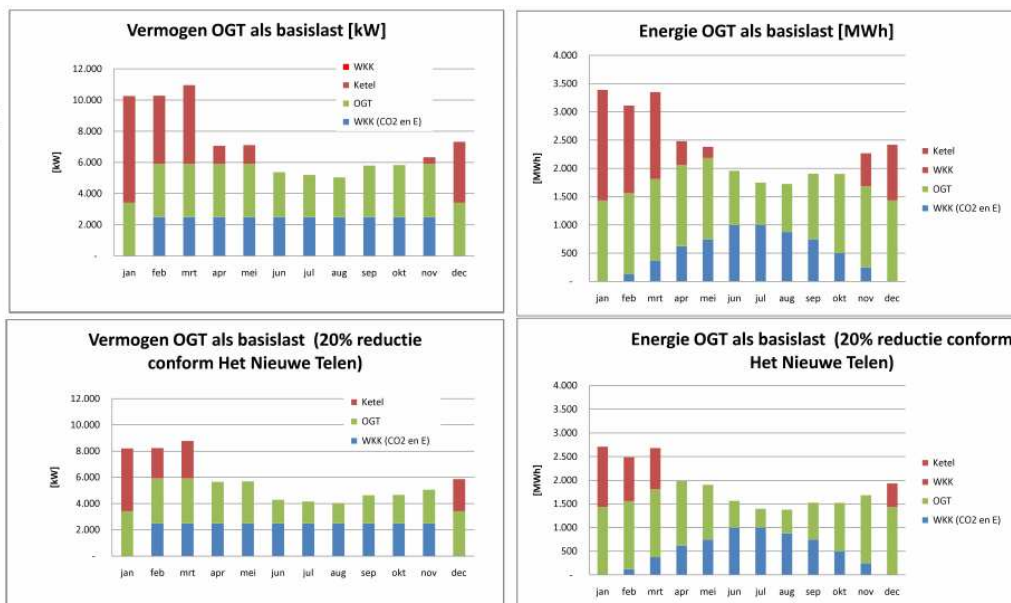
bijvoorbeeld het verhogen van de begrote 5040 inzet uren voor OGT, maar ook in een hogere verwachte toekomstige gasprijs (bijvoorbeeld 0,23 EUR/m³, i.p.v. 0,15 EUR/m³).

Milieu potentieel: Toepassing van OGT leidt tot een aanzienlijke reductie tot meer dan 50% op de uitstoot van CO₂ ten opzichte van ketelgas (10 ha bedrijf)

Tabel 1 Overzicht kosten 10 ha bedrijf

overzicht kosten 10 ha bedrijf	Ondiepe geothermie	referentie (ketelgas)
Kostprijs warmte	€/m ³ ae	€/m ³ ae
OGT 1: OGT als pieklast	0,40	0,23
OGT 2: OGT als basislast	0,21	0,19
OGT 3: OGT als basislast met HNT	0,23	0,20

In bovenstaande is de MEI subsidie op investeringen nog niet meegenomen. Bij een reductie op de investering van bijvoorbeeld 20% (dit kan door subsidies als de MEI-regeling), wordt de kostprijs verlaagd van 0,23 EUR/m³ a.e naar 0,21 EUR/m³ a.e, voor de variant van een 10 ha bedrijf, waarin het Nieuwe Telen wordt uitgevoerd met OGT als basislast.



Figuur 2 Ondiepe geothermie neemt een groot gedeelte van het ketelvermogen voor haar rekening (10ha bedrijf). De onderste twee figuren geven de situatie weer voor Het Nieuwe Telen (waarbij rekening is gehouden met een reductie van 20% voor zowel vermogen als energie).

2 PROJECT INTRODUCTIE

De glastuinbouw is een energie-intensieve sector en verduurzaming staat hoog op de agenda. Bodemenergie kan hierin een belangrijk aandeel leveren. De grootste kostenpost bij bijvoorbeeld geothermie zijn de boorkosten. Hier kan aanzienlijk op bespaard worden indien ondieper geboord wordt, waardoor met traditionele grondwater boortechnieken volstaan kan worden. Ook zijn de risico's een stuk kleiner, en wordt met ondiepe geothermie een *extra* laag in de ondergrond benut, welke nieuwe kansen biedt voor clusters van tuinders, in de vorm van meervoudig bodemgebruik.

Het grootste nadeel van ondieper boren is dat de temperatuur ook navenant lager is. De warmte kan hierdoor niet direct benut worden. De temperatuur kan opgewaardeerd worden met behulp van een warmtepomp.

Om de mogelijkheden te verkennen voor de toepassing van ondiepe geothermie is deze quickscan uit gevoerd. Om de verkenning zo concreet mogelijk in te steken is een geïnteresseerde tuinder (kwekerij "De nieuwe Dijk" BV in Brielle) nauw betrokken bij deze verkenning.

Binnen het transitiepad programma "Kas als Energiebron", is deze quickscan uitgevoerd, als een eerste verkenning van de haalbaarheid voor ondiepe geothermie. Het project is gestart op 1 april 2010, is uitgevoerd door KEMA Nederland B.V. en IF-Technology, binnen het transitiepad aardwarmte in het kader van Kas als Energiebron dat wordt gefinancierd door PT en het ministerie van EL&I.

3 INVENTARISATIE UITGANGSPUNTEN

Projectlocatie

Samen met kwekerij "De nieuwe Dijk" BV zijn uitgangspunten voor de quickscan vastgesteld, en onderstaand weergegeven. Kwekerij "De nieuwe Dijk" teelt vleestomaten en is 6 ha groot.



Figuur 3 Kwekerij de Nieuwe Dijk, te Brielle (foto Google Earth)

Energetische kentallen

De berekeningen voor deze quickscan zijn uitgevoerd aan de hand van de kentallen en uitgangspunten, weergegeven in onderstaande tabel.

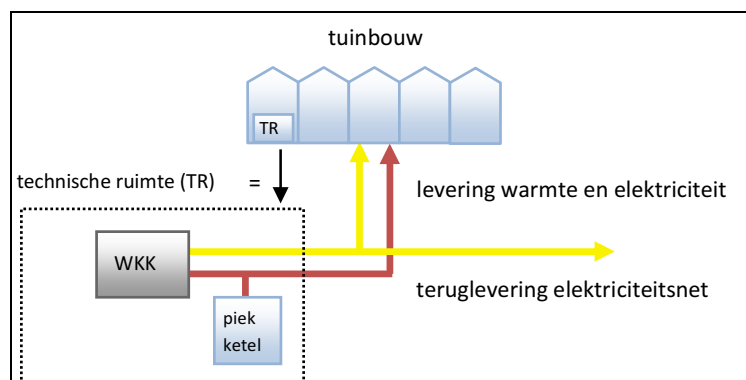
Tabel 2 Energetische kentallen en uitgangspunten

Onderste verbrandingswaarde aardgas	8,8	kWh/m ³
thermisch rendement ketels	100	% op H _o
thermisch rendement WKK	43	% op H _o
omzettingsrendement WKK en ketel	90	% op H _o
COP ondiepe geothermie	35	-
COP hoge temp. warmtepomp (afhankelijk van ΔT)	4-6	-
emissiefactor CO ₂ elektriciteit in Nederland	0,566	kg/kWh _e
emissiefactor CO ₂ aardgasverbranding in Nederland	1,780	kg/m ³
aanvoertemperatuur naar kas	60	°C
WKK inzet werkdagen	12-16	uur
WKK inzet weekend	12-14	uur
OGT inzet	12	uur
ketel inzet t.o.v. WKK inzet *	50	%

* Aangenomen is dat de ketel 50% van de draaiuren van de WKK draait.

Bestaande installatie

Bij Kwekerij de Nieuwe Dijk wordt in de huidige situatie warmte geleverd middels een WKK en ketel. De ketel wordt ingezet tijdens de pieklast. De WKK wordt ingezet ten behoeve van de productie van elektriciteit. De elektriciteit uit de WKK wordt teruggeleverd aan het elektriciteitsnet. De motorwarmte wordt ingezet voor verwarming van de kassen. De CO₂ die vrij komt tijdens het proces wordt als meststof gebruikt om de plantengroei te bevorderen. In onderstaand Figuur 4 is op schematische wijze de bestaande installatie weergegeven.

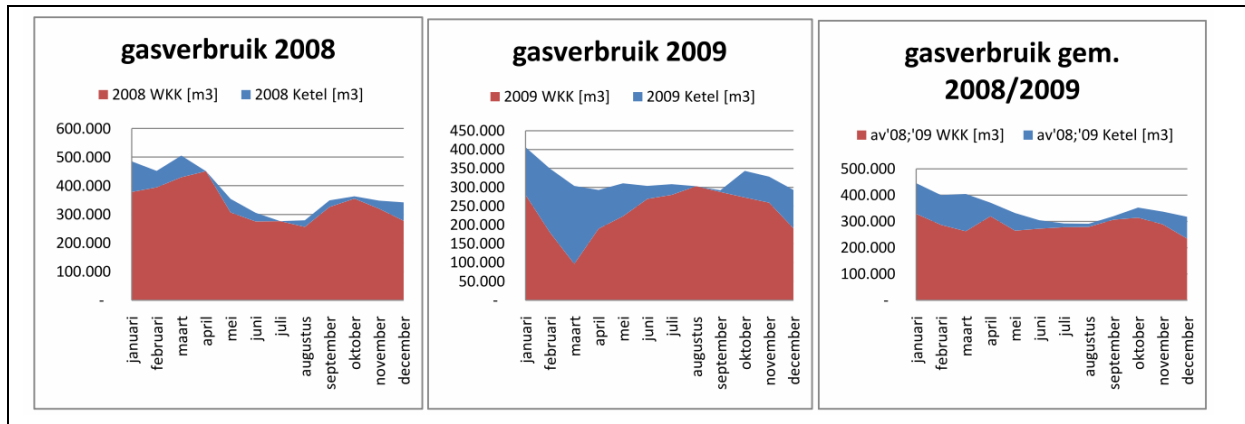


Figuur 4 Schematische weergave conventionele installatie

In totaal is er circa 3 MWt WKK vermogen opgesteld. Het opgestelde ketelvermogen is aanzienlijk groter en bedraagt ruim 8 MWt.

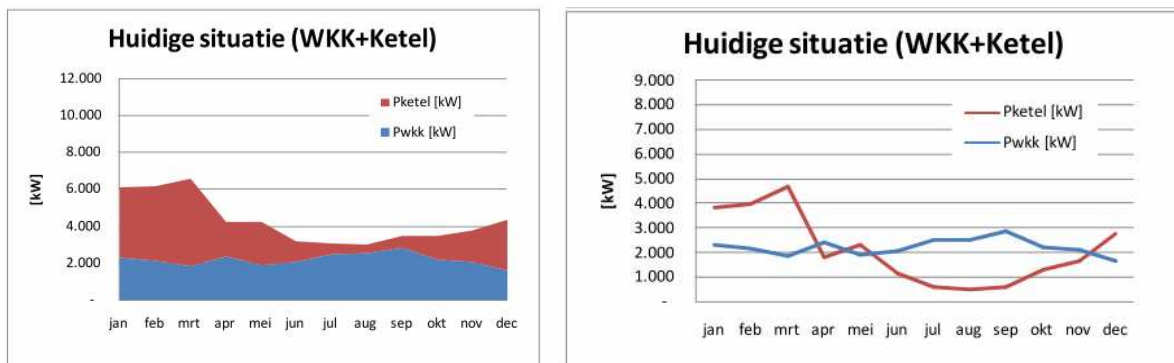
Energieverbruik

Onderstaande figuur toont het gasverbruik van Kwekerij De Nieuwe Dijk in de jaren 2008 en 2009 en het gemiddelde gasverbruik.



Figuur 5 Gasverbruik van Kwekerij De Nieuwe Dijk

Aan de hand van het gasverbruik, de systeemrendementen en de bedrijfsuren van de opwekkingscomponenten is een jaarbelasting (vermogens)duurkromme opgesteld voor Kwekerij De Nieuwe Dijk. De linker figuur toont de cumulatieve waarden van de WKK en de ketel. De rechter figuur de benodigde vermogens per component. De verticale as toont het op enig moment benodigd vermogen. De horizontale as presenteert het aantal uur dat dit vermogen benodigd is. Hierbij bestaat een maand uit de draaiuren zoals weergegeven in Tabel 2.



Figuur 6 Vermogensjaarcurve voor de huidige situatie

4 GEOLOGISCHE INVENTARISATIE

Voor de toepassing van ondiepe geothermie is het noodzakelijk dat in de ondergrond aquifers aanwezig zijn waaraan grondwater onttrokken en in geïnfiltreerd kan worden.

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste bodemparameters besproken voor de toepassing van ondiepe geothermie. De bodem op de projectlocatie is voor deze quickscan onderzocht aan de hand van een aantal bronnen:

- uitgevoerde onderzoeken in de directe omgeving
- informatie uit grondboringen en bestaande olie- en gasputten
- geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland.

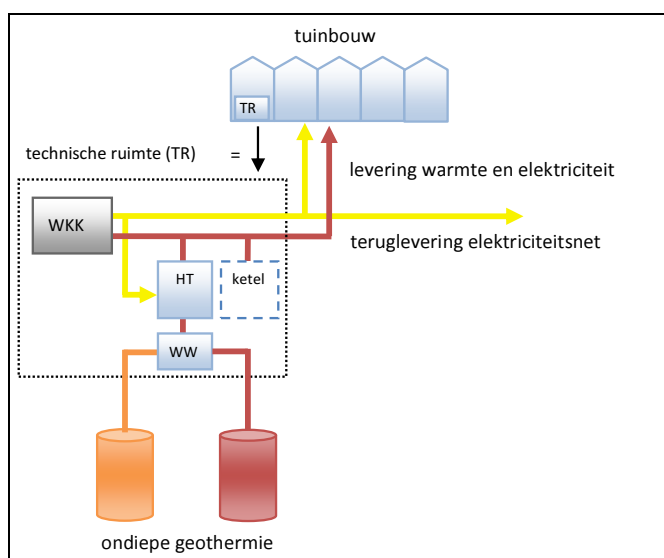
Op basis van de bodeminventarisatie wordt voorsnog verwacht dat ondiepe geothermie bodemtechnisch kan worden toegepast op de projectlocatie. De geologische formatie “Zand van Brussel” is de meest interessante formatie voor de toepassing van ondiepe geothermie. De formatie Zand van Brussel kent een diepte van 650 tot 750 m-mv en bestaat uit fijn glauconiethoudend zand met zandsteen- en kalksteenbankjes. De natuurlijke grondwatertemperatuur in het Zand van Brussel bedraagt circa 35 °C. De verwachte capaciteit van één bron is bepaald op 100 m³/h. Er is echter weinig informatie beschikbaar, om deze onzekerheid weg te nemen wordt een proefboring geadviseerd. Verder wordt de gevoeligheid voor het debiet weergegeven in Figuur 17, waarbij het brondebiet is uitgezet tegen de kostprijs van de warmte met OGT.

Van de formatie Zand van Brussel zijn weinig gegevens bekend over de permeabiliteit (doorlatendheid) en waterkwaliteit. Deze parameters zijn belangrijk om het technisch en energetisch functioneren van de ondiepe geothermie nader te specificeren. Geadviseerd wordt om een proefboring en grondwaterkwaliteitonderzoek op de projectlocatie uit te voeren. Zodoende kan meer inzicht worden verkregen in de technische mogelijkheden voor ondiepe geothermie. De kosten voor het uitvoeren van deze onderzoeken zijn verwerkt in de kostenramingen.

Afname van het debiet resulteert in een rechtevenredige afname van het bronvermogen en beïnvloed daarmee de financiële haalbaarheid van OGT. In de financiële analyse (paragraaf 6.3) is een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd van het verwachte debiet van de OGT-bron.

5 CONCEPTUELE ANALYSE

Om de bestaande installatie te optimaliseren en te verduurzamen zal aanvullend warmte geleverd worden door middel van hoge temperatuur warmtepompen in combinatie met ondiepe geothermie. In Figuur 7 is schematisch de inpassing van ondiepe geothermie binnen de bestaande installatie weergegeven.



Figuur 7 Schematische weergave toepassing ondiepe geothermie

De WKK levert warmte en elektriciteit tijdens de basislast. Gedurende pieklast wordt voor de warmtelevering naast de WKK aanvullend de warmtepomp als ingezet. De bestaande ketel wordt ingezet tijdens pieksituaties. De bronwarmte voor de hoge temperatuur warmtepomp wordt onttrokken aan het grondwater via de onttrekkingsput van de ondiepe geothermie. De onttrekkingstemperatuur van het grondwater bedraagt circa 35 °C en wordt middels een warmtewisselaar (WW) overgedragen aan de warmtepomp. De bronwarmte wordt vervolgens met behulp van warmtepomp opgewaardeerd naar 60 °C. Na warmteoverdracht wordt het afgekoelde grondwater via de infiltratieput geïnfilteerd in de formatie.

Hoge temperatuur warmteopslag

Om de ondiepe geothermie nog efficiënter in te zetten is het mogelijk om restwarmte (van bijvoorbeeld de WKK) voor lange termijn op te slaan in de bodem. De opgeslagen warmte kan vervolgens in de wintermaanden worden benut. In bijlage A is de toepassing van warmteopslag nader uitgelegd.

6 GLOBALE UITWERKING ONDIEPE GEOTHERMIE

6.1 Bronontwerp

Bodeminventarisatie

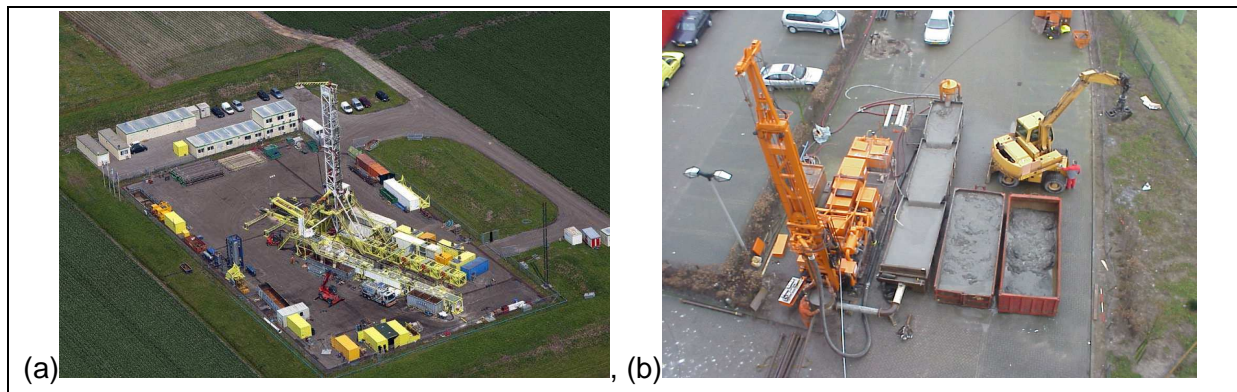
Op basis van de bodeminventarisatie wordt verwacht dat er technische mogelijkheden zijn voor de toepassing van ondiepe geothermie in de Formatie Zanden van Brussel. De diepte van de bronnen bedraagt maximaal 750 m-mv. Het verwachte debiet per bron bedraagt 100 m³/h. Om thermische interactie tussen de onttrekkings- en infiltratieput te voorkomen bedraagt de minimaal benodigde afstand tussen de putten 500 m.

Realisatie

In het kader van deze quickscan zijn de technische mogelijkheden en ervaringen besproken met een gerenommeerde boorpartij. De boorwagens welke ook geschikt zijn voor de traditionele koude/warmteopslag bronnen, hebben een bereik tot 800 m-mv. Verder boren gaat technisch niet doordat niet voldoende druk kan worden geleverd tijdens het boren voor het afvoeren van de grond. Indien dieper moet worden geboord is een grotere boorinstallatie nodig, waardoor de boorkosten hoger zullen worden.

Voor het boren van bronnen voor de beoogde ondiepe geothermie kan worden volstaan met de standaard boortechniek.

De boorkosten voor de bronnen van de ondiepe geothermie zijn derhalve aanzienlijke lager dan de boorkosten voor diepere geothermie. Voor het boren van de bronnen kan gebruik worden gemaakt van zuig- of spoelboren. Zuigboren is trager en duurder, maar noodzakelijk voor grotere diameters en het goed kunnen ontwikkelen van de bron. In onderstaande Figuur 8 zijn als voorbeeld de boorstellingen weergegeven voor diepe geothermie (>1,5km) en ondiepe geothermie (max 800m-mv).



Figuur 8 (a) boorlocatie diepe geothermie; (b) boorlocatie ondiepe geothermie

De grondwatertemperatuur in de ondiepe formatie bedraagt circa 35°C. Hierdoor kunnen de bronnen worden vervaardigd van kunststof leidingen. Voor het gebruik van bijvoorbeeld PVC zijn in verband met de hoge trekkrachten (zwaartekracht) en drukken mofverbindingen met trekvastе koppelingen noodzakelijk. Goed alternatief is GRE of staal. Voor het filter is een RVS wikkeldraadfilter nodig in verband met temperaturen, drukken en het fijnzandige pakket.

Hoofdcomponenten systeem

Het onttrokken grondwater wordt vanaf de bronnen via leidingen naar de technische ruimte geleid. In de technische ruimte staat een warmtewisselaar opgesteld waarmee de warmte wordt overgedragen de secundaire opwekkingsinstallatie.

Fysiek neemt een bron aan maaiveld slechts een zeer beperkte ruimte in beslag. Putbehuizing met afmetingen van circa 2 x 2 meter die ongeveer een halve meter boven maaiveld uitsteken zijn de enige zichtbare onderdelen van een bodemenergiesysteem.

6.2 Globale uitwerking opwekkingsinstallatie

Twee varianten voor OGT zijn doorgerekend:

- **Variante 1: toepassing OGT huidige situatie:** In eerste instantie is gekeken naar inzet van de OGT als vervanger van de ketel
- **Variante 2: toepassing OGT en het nieuwe telen:** In tweede instantie is gekeken naar inzet van OGT als vervanger voor de WKK, waarbij ook een reductie is meegenomen op de energievraag (welke volgens *het nieuwe telen*) verwacht kan worden.

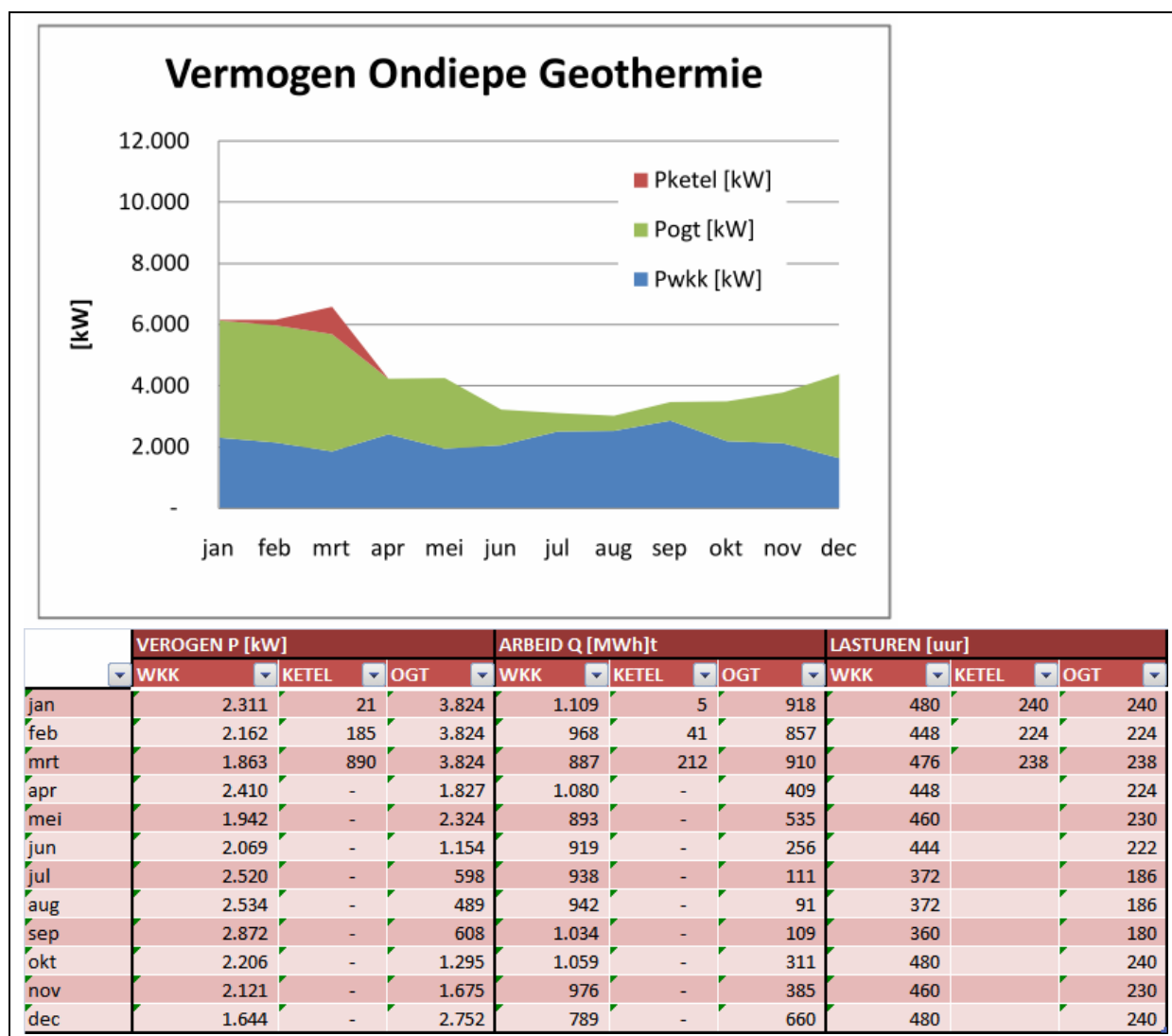
Zoals reeds in Figuur 7 is aangegeven, wordt uitgegaan van een combinatie van een ondiepe geothermie bron, gecombineerd met een warmtepomp, een WKK en de bestaande piekketel. Op basis van de bodeminventarisatie kan met de ondiepe geothermie in combinatie met een warmtepomp een thermisch vermogen worden geleverd van nagenoeg 3,6 MWt. Hierbij is uitgegaan van de volgende temperaturen voor de warmtepomp en de ondiepe geothermie:

- aanvoertemperatuur warmtepomp variant 1: $T_{\text{condensorzijde}} 60^{\circ}\text{C}$;
- aanvoertemperatuur warmtepomp variant 2: $T_{\text{condensorzijde}} 40^{\circ}\text{C}$;
- temperaturen ondiepe Geothermiebron voor variant 1 en 2: $T_{\text{ontrekking}} 35^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{retour}} 10^{\circ}\text{C}$.

Het huidige warmte afgifte systeem bij kwekerij de Nieuwe Dijk werkt met een buffertank, waarna de warmte middels buizen in de kas wordt verwarmd. De temperatuur aan de condensorzijde van de warmtepomp (40°C) is geschikt voor inpassing in het bestaande afgifte systeem, wat hiermee als lage temperatuurnet wordt bedreven. Hierdoor lijken de gewenste aanpassingen voor deze tuinder minimaal te zijn. Voor tuinders, met een bestaand afgifte systeem, en andere bijbehorende temperatuur-bereiken, kan dit afwijkend zijn.

6.2.1 Variant 1: toepassing OGT huidige situatie

Deze huidige situatie, en de hierbij behorende energiebehoefte, is gebruikt als uitgangspunt, voor de berekening van de energielevering door de ondiepe geothermie. In onderstaande figuur is de vermogenscurve weergegeven voor de huidige 6ha. met ondiepe geothermie.

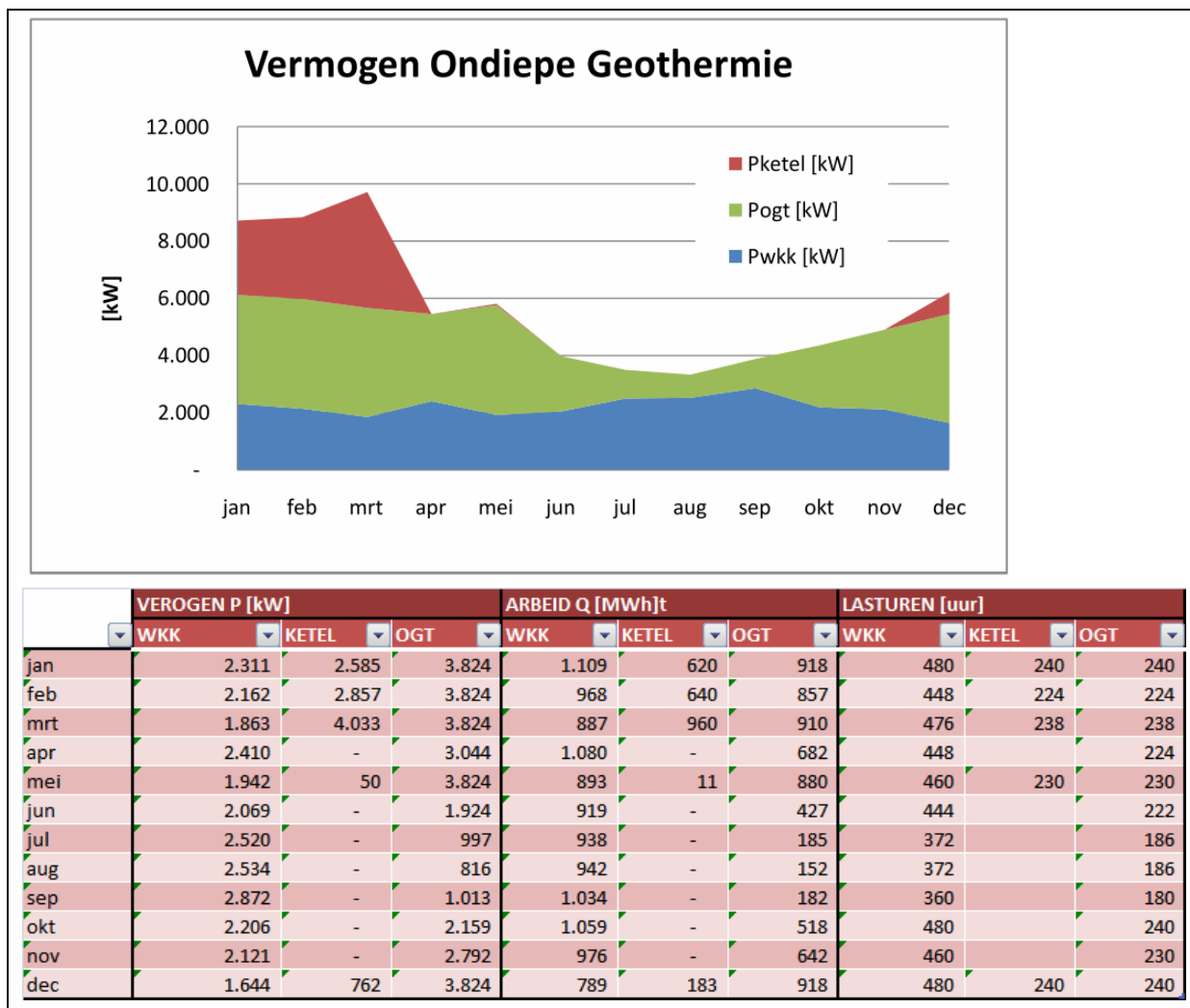


Figuur 9 Vermogens-jaar-curve, arbeid en lasturen, voor Ondiepe geothermie, 6 ha bedrijf

Uit Figuur 9 blijkt dat bij de huidige situatie nagenoeg alle ketelwarmte kan worden geleverd met de ondiepe geothermie. Enkel in de eerste koude maanden van het jaar levert de ketel de pieklast.

Ondiepe geothermie situatie bij 10 ha bedrijf

Indien de bedrijfsoppervlakte wordt verhoogd van 6 ha naar 10 ha, moet de ketel meer ingezet worden in de wintermaanden. Dit blijkt ook uit onderstaande Figuur 10.



Figuur 10 Vermogens-jaar-curve, arbeid en lasturen, voor Ondiepe geothermie, 10 ha bedrijf

6.2.2 Variant 2: toepassing OGT het nieuwe telen

Bij het nieuwe telen staat verduurzaming centraal. Daar in de huidige situatie veel warmte met de WKK wordt geproduceerd, is warmtelevering met de OGT veel duurzamer. Een doorrekening is gemaakt voor het gebruik van OGT als basislast. De WKK wordt enkel bedreven voor de productie van CO₂.

Ondersteund door *de Trias Energetica*, is een doorrekening gemaakt van de energievraag, waarbij gebruik is gemaakt van de volgende uitgangspunten:

1. Reductie van het onnodig energieverbruik:

Voor de berekening van inzet van OGT in variant 2 zijn een aantal aanpassingen gemaakt in de uitgangspunten. De uitgangspunten zijn bepaald in overleg met de programmacoördinatoren en kwekerij de Nieuwe Dijk.

- De kas wordt volgens het nieuwe telen bedreven met dubbele schermen.
- Het open kas systeem ten behoeve van ontvochtigen wordt gebruikt (luchtramen).

Voor de besparing aan energievraag door de kas, is de aanname van 20% energie besparing ten opzichte van de huidige situatie gemaakt. Het nieuwe telen gaat uit van 50% (<http://www.energiek2020.nu/het-nieuwe-telen/>), echter dit is nog niet meegenomen in de berekeningen. Verder is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:

- Er is 0,4 MW / hectare WKK vermogen (v.d. 2,4 MW) beschikbaar voor verwarming en CO₂ indien uitgegaan wordt van 6 ha bedrijf, bij 10 ha bedrijf is uitgegaan van 0,25 MW / hectare WKK vermogen.
- WKK inzet is totaal 2.500 uur per jaar

Tabel 3 **Uur inzet WKK ten behoeve van CO₂ en Elektriciteit.**

Inzet uren WKK	[uur]
jan	0
feb	50
mrt	150
apr	250
mei	300
jun	400
jul	400
aug	350
sep	300
okt	200
nov	100
dec	0

2. Inzet van zoveel mogelijk duurzame energie:

- In de kas zijn twee temperatuur netten aanwezig: het hoge- en lage temperatuurnet (resp. HT en LT-net).
 - Voor invulling van de warmtevraag van het LT-net wordt OGT ingezet als basislast (met behoud van de CO₂ levering in de kas),
 - Bij het LT net wordt de temperatuur aan de condensorzijde van de HTWP verlaagt van 60°C naar 42°C (ten opzichte van de eerste variant), en er wordt ingegaan op de invloed van bedrijfstemperaturen op de COP.
 - Het HT net (groeibuis of buisrail) kan hierbij vraaggestuurd worden gevoed (bijvoorbeeld bij plotseling optredende koudeval als bij een bui of bijvoorbeeld wanneer een meer langdurige warmtevraag groter is als waarin de OGT in kan voorzien) middels bijvoorbeeld extra WKK en/of Ketelwarmte (buis temperatuur >42°C). Afhankelijk van de gekozen bedrijfsvoering kan hierbij het *LT-buisrail-net* (42°C) en/of het *LT-groeinnet* (42°C) tijdelijk in gezet worden als *HT-net* (>42°C).

3. Zuinig en efficiënt gebruikmaken van fossiele bronnen:

Fossiele brandstoffen blijven nodig voor de productie van CO₂. Om deze CO₂ vraag in te kunnen vullen, is het nodig CO₂ vraag in te vullen. Hiervoor wordt de WKK of ketelverwarming vervangen door OGT, waarbij de CO₂ vraag wordt overgenomen door een derde bron (e.g. OCAP; of leverancier van CO₂).

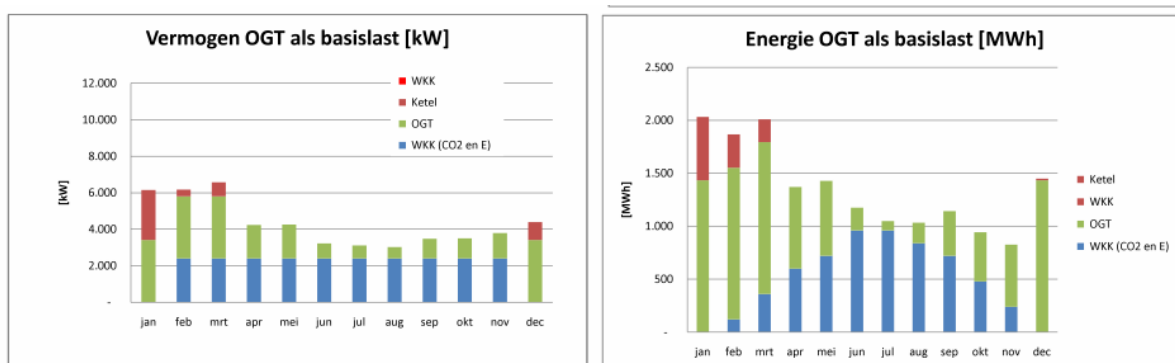
In figuur 9 is de vermogenskromme en energiekromme weergegeven voor de inzet van OGT in variant 2.

Opgemerkt dient te worden dat:

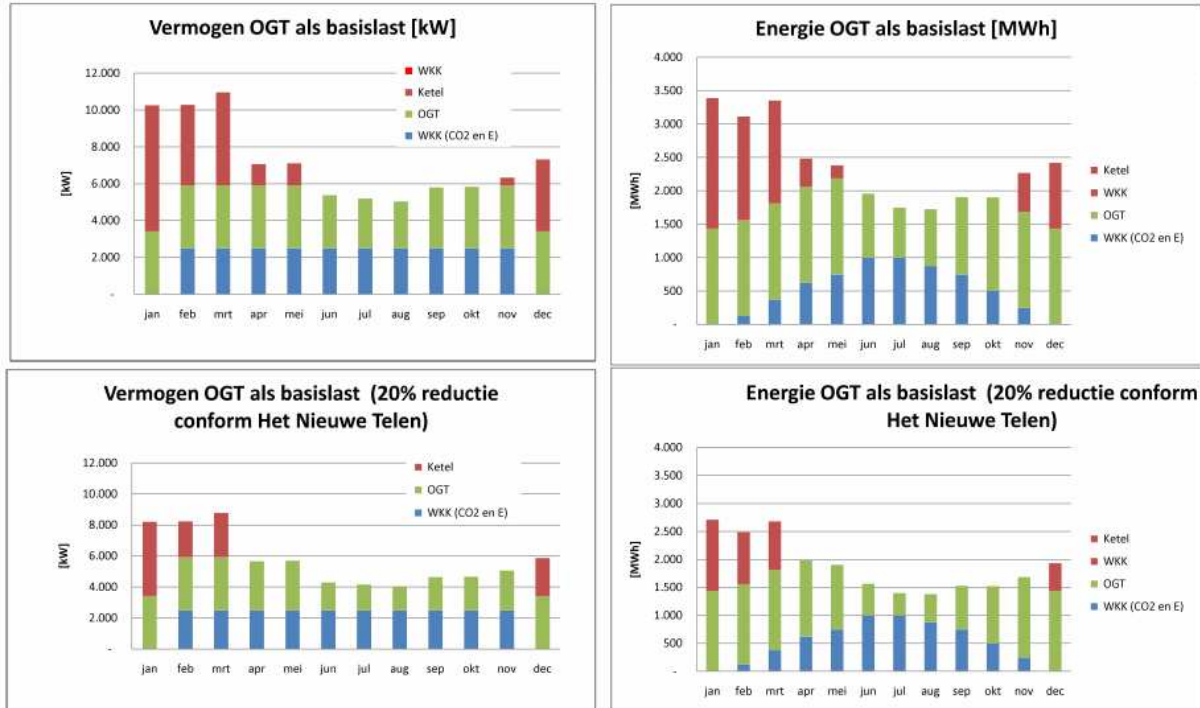
De OGT inzet uren zijn ingeschat op 420 uur / maand (dit is ongeveer gelijk aan de huidige WKK inzet). Indien hier 720 uur / maand wordt gekozen (24 uur * 30 dagen), dan kan de OGT dus ook meer energie leveren en is er aanzienlijk minder ketel-energie nodig. Hier zit dus nog ruimte om de inzet te optimaliseren (middels meer draaiuren) en dus ook de kostprijs van warmte naar beneden te brengen.

Verder onderzocht dient nog te worden of het evt. mogelijk is zelfs in bepaalde situaties te werken zonder warmtepomp.

Hiernaast wordt de businesscase voor OGT ook gunstiger indien gerekend wordt met een hogere. In de berekening is gerekend met de gasprijzen zoals geldig in de huidige situatie voor de referentie kwekerij De Nieuwe Dijk, echter bijvoorbeeld een verwachte gasprijs bij AgroEnergy in 2012 ligt op 0,23 EUR/m³.



Figuur 11 Overzicht van jaarbelasting vermogen en arbeidskromme van 6 ha bedrijf, waarbij OGT als basislast is ingezet.



Figuur 12 Overzicht van jaarbelasting vermogen en arbeidskromme van 10 ha bedrijf, waarbij OGT als basislast is ingezet. De laatste twee figuren geven de situatie weer voor Het Nieuwe Telen (waarbij rekening is gehouden met een reductie van 20% voor zowel vermogen als energie).

Van belang is te vermelden bij bovenstaande Figuur 11 en Figuur 12 de vermogensvraag van bijvoorbeeld de WKK niet over het gehele jaar gelijk is. In de grafiek is gekozen voor een maand schaal verdeling, terwijl in werkelijkheid een deel van deze maand de WKK niet actief hoeft te zijn. In de bovenstaande figuren wordt dan ook de maximale vermogensvraag uit deze periode weergegeven. Dit kan gedurende kortere tijd zijn. Dit komt tot uiting in de ernaast weergegeven energiegrafiek, waar zichtbaar is dat de WKK in de wintermaanden geen arbeid levert (weinig tot geen inzet uren). Het opgestelde vermogen is dus wel gewenst (in de huidige situatie is het namelijk ook nodig dit vermogen te leveren (zie Figuur 6)), maar wordt slechts voor korte periodes ingezet. Gezien het winterseizoen, zal dit voornamelijk voor warmte zijn.

6.3 Globale Financiële analyse

In onderstaande Tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de verwachte kosten voor de verschillende doorgekende scenario's. OGT 3 is hierbij de uitvoering van OGT 2 met een reductie van de vraaglast, vanwege het "Het Nieuwe Telen" scenario.

Tabel 4 Overzicht kosten 10 ha bedrijf

overzicht kosten 10 ha bedrijf	Ondiepe geothermie	referentie (ketelgas)
Kostprijs warmte	€/m ³ ae	€/m ³ ae
OGT 1: OGT als pieklast	0,40	0,23
OGT 2: OGT als basislast	0,21	0,19
OGT 3: OGT als basislast met HNT	0,23	0,20

In onderstaande paragrafen wordt bovenstaande tabel nader toegelicht.

6.3.1 Investerings OGT

Om inzicht te krijgen in de investeringen voor de bronnen van de ondiepe geothermie zijn op haalbaarheidsniveau kosten geraamd. De kosten zijn geraamd tot en met de warmtewisselaars in de technische ruimte. De weergegeven kosten zijn exclusief BTW.

Tabel 5 Investerings ondiepe geothermie

	ondiepe geothermie kEUR
ondergrondse installatie	1.150
bovengrondse installatie	225
Vooronderzoek	250
totaal doublet	1.625
investeringen warmtepomp	765
Ontwerp- en advieskosten	p.m.
Subsidies	-1.250
totaal ondiepe geothermie	1.140

De investeringskosten van de bronnen van de duurzame bodemgerelateerde varianten zijn exclusief de ontwerp- en advieskosten en de kosten voor de vergunningaanvraag. Deze kosten zijn sterk afhankelijk van de wijze waarop de energievoorziening wordt gerealiseerd. In bovenstaande Tabel 5 is een p.m. post opgenomen. De kosten voor de warmtepomp zijn geraamd op basis van financiële kentallen.

Glastuinders kunnen subsidie ontvangen voor het investeren in innovatieve energiesystemen. Voor dit onderzoek is rekening gehouden met:

- De EIA, energie investeringsaftrek: Deze aftrek is 44% en levert bij een vennootschapsbelastingpercentage van 25,5% een subsidiebedrag op van 11,2%.
- De MEI -regeling: De subsidie bedraagt maximaal 40% van de projectkosten (kosten voor bouw, advies, vergunningen e.d.) met een maximum van 1,5 miljoen euro.

Mogelijk dat ook een beroep kan worden gedaan op andere subsidies zoals de EOS subsidies en bijvoorbeeld de IRE –subsidie (ministerie EL&I).

6.3.2 **Kostprijs variant 1**

Om inzicht te krijgen in de investeringen, de exploitatiekosten en de kostprijs voor de toepassing van ondiepe geothermie, zijn deze op haalbaarheidsniveau geraamd. De kostprijs is zonder subsidies is berekend, alleen fiscaal voordeel is meegenomen.

Financieel	OGT variant 1: OGT als pieklust	
Bron	Ondiepe geothermie	referentie (ketelgas)
bedrijf oppervlakte	10 ha	
diepte	760 m-mv	
onttrekkingstemperatuur	35 °C	
retourtemperatuur	10 °C	
debiet	100 m³/h	
bronvermogen max	2.868 kW	3.824 kW
COP GT	35	
Omzetting HTWP		
temperatuur primair (verdamer)	10 °C	
temperatuur secundair (condensor)	60 °C	
effectief rendement (70% carnot)	4,0	
condensorvermogen	3.824 kW	
Warmteproductie		
warmtevraag totaal	29.008 MWht	
WKK warmtelevering	19.323 MWht	
HTWP warmtelevering	7.271 MWht	7.271 MWht
OGT warmtelevering	5.453 MWht	
Piekketel	2.415 MWht	
Investeringskosten		
doublet ondiepe GT, 750 m-mv	1.625.000 €	382.407 €
EIA	182.000 € -/-	
MEI	- € -/-	
investeringen OGT (incl. subsidies)	1.443.000	
HT WP (200 €/kW)	764.815 €	
EIA	85.659 € -/-	
MEI	- € -/-	
investeringen WP (incl. subsidies)	679.156 €	
Exploitatie		
<i>verbruiken</i>		
elektriciteitsverbruik bron	155.798 kWhe	
elektriciteitsverbruik WP	1.817.644 kWhe	
gasverbruik	m³ a.e.	918.002 m³ a.e.
<i>kosten</i>		
gastarief	€/m³ a.e.	0,15 €/m³ a.e.
elektriciteitstarief	0,048 €/kWhe	€/kWhe
gaskosten	€/jaar	137.700 €/jaar
totaal elektriciteit	94.700 €/jaar	
totaal onderhoud en beheer	62.600 €/jaar	15.300 €/jaar
Kostprijs		
afschrijving OGT	30 jaar	15 jaar
afschrijving HT WP	15 jaar	6%
rente	6%	6%
<hr/>		
Kostprijs warmte	45,7 €/MWht	26,5 €/MWht
	0,40 €/m³ ae	0,23 €/m³ ae

Figuur 13 Kostprijsberekening ondiepe geothermie als pieklust ingezet (10 ha bedrijf)

6 ha bedrijf: Bij de gekozen uitgangspunten (zie hiervoor ook Figuur 13), blijkt dat de toepassing van ondiepe geothermie voor de huidige 6 ha glastuinbouw bedrijfsvoering duurder uitvalt dan bij gebruikmaking van ketelgas;

- Ondiepe geothermie 0,49 EUR/m³ a.e.
- Ketelgas: 0,25 EUR/m³ a.e.

10 ha bedrijf: Dit verschil is bij 10 ha bedrijfsvoering kleiner maar nog steeds aanwezig:

- Ondiepe geothermie 0,40 EUR/m³ a.e.
- Ketelgas: 0,23 EUR/m³ a.e.

In Figuur 13 is het kostenoverzicht opgenomen voor de situatie van een 10 ha bedrijf. De weergegeven kosten zijn exclusief BTW.

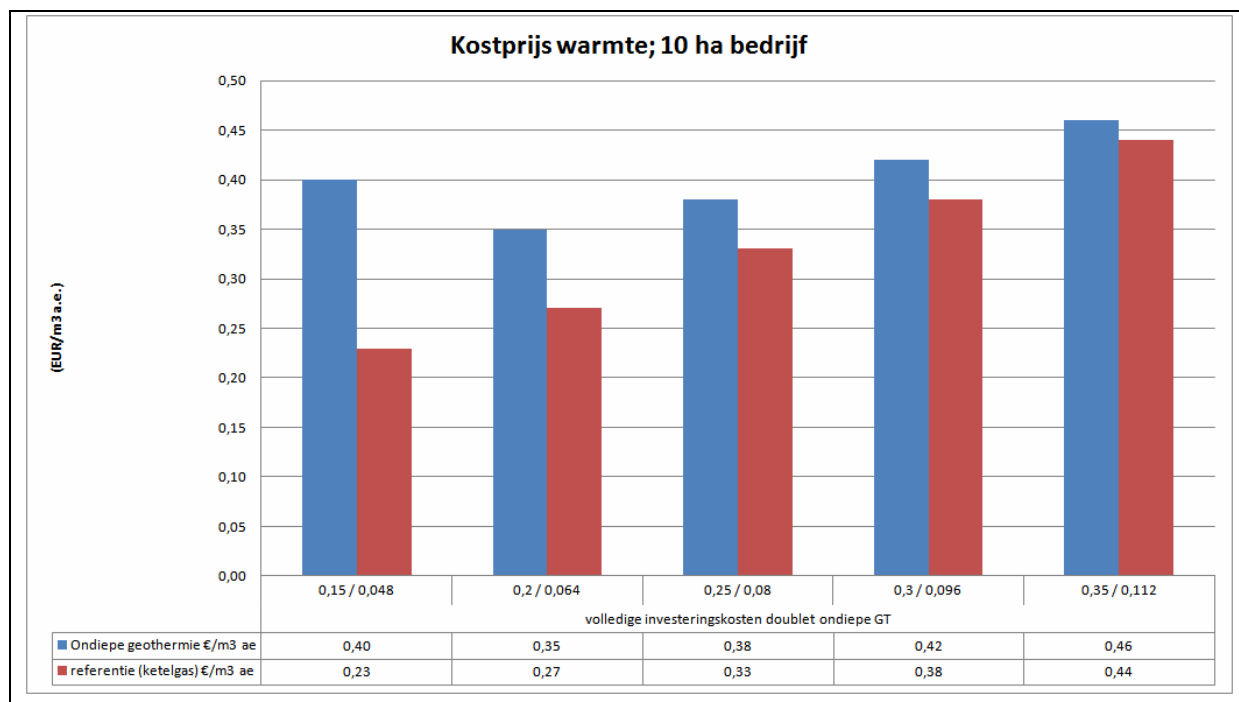
Bij deze berekening dient te worden opgemerkt dat verschillende instelparameters van dit economisch-model grote consequenties hebben op het eindresultaat, terwijl deze aannames ook nog onderwerp van discussie kunnen zijn. Hierbij kan met name gedacht worden aan:

- geraamde investeringskosten (reductie van 15% resulteert alreeds in breakeven tussen ondiepe geothermie en ketelgas)
- gasprijs en teruglever prijs voor elektriciteit (welke jaarrond fluctueren, zie ook onderstaande alinea ("gevoeligheid voor gasprijzen"))
- COP-waarden warmtepompen
- rente
- afschrijvingsperiode.

Hiernaast is rekening gehouden met een aantal energiesubsidies, zoals weergegeven in Figuur 13. Een eventuele groenfinanciering of voordeel te behalen met CO₂ reductievoordeel, is hierin nog niet meegenomen.

Gevoeligheid voor gasprijzen:

De gasprijzen en vergoeding voor teruglevering van elektriciteit zijn aan elkaar gekoppeld. Uitgaande van de volgende aannames (gas [EUR/m³] / elektriciteit [EUR/MWh]: 0.15/48; 0.20/64; 0.25/80; 0.30/96 en 0.35/112, als besproken met kwekerij de Nieuwe Dijk) is onderstaande Figuur 14 opgesteld. Hierbij is voor een 10 ha bedrijf doorgerekend wat de kostprijs is voor warmte, gebaseerd op ketelverwarming, of verwarming door ondiepe geothermie.



Figuur 14 Kostprijs warmte voor verwarming middels ketelgas of middels ondiepe geothermie (10 ha)

Al met al kan worden geconcludeerd dat ondiepe geothermie economisch voordelen kan bieden, doordat deze technologie de warmtebehoefte invult, zonder daarbij afhankelijk te zijn van de fluctuerende marktprijzen van de fossiele brandstoffen.

6.3.3 **Kostprijs variant 2**

Net als voor variant 1 is ook voor variant 2 de kostprijs berekend. In onderstaande figuur is het resultaat van de kostprijsberekening weergegeven voor variant 2 voor een 10 hectare kas. Hierbij zijn voor de combinatie van OGT met Het Nieuwe Telen (Figuur 16), de voor- en nadelen van inzet van een WKK niet verder meegenomen, denk hierbij bijvoorbeeld misgelopen inkomsten uit elektriciteitsproductie.

Financieel	OGT 2: OGT als basislast	
Bron	Ondiepe geothermie	referentie (ketelgas)
bedrijf oppervlakte	10 ha	
diepte	760 m-mv	
onttrekkingstemperatuur	35 °C	
retourtemperatuur	10 °C	
debiet	100 m³/h	
bronvermogen max	2.868 kW	3.413 kW
COP GT	35	
Omzetting HTWP		
temperatuur primair (verdampers)	10 °C	
temperatuur secundair (condensator)	40 °C	
effectief rendement (62,6% carnot)	6,3	
condensatorvermogen	3.413 kW	
Warmteproductie		
warmtevraag totaal	28.627 MWht	
WKK warmtelevering	6.250 MWht	
HTWP warmtelevering	15.146 MWht	15.146 MWht
OGT warmtelevering	12.726 MWht	
Piekketel	7.231 MWht	
Investeringskosten		
doublet ondiepe GT, 750 m-mv	1.625.000 €	341.331 €
EIA	182.000 € -/-	
MEI	- € -/-	
investeringen OGT (incl. subsidies)	1.443.000	
HT WP (200 €/kW)	682.663 €	
EIA	76.458 € -/-	
MEI	- € -/-	
investeringen WP (incl. subsidies)	606.204 €	
Exploitatie		
<i>verbruiken</i>		
elektriciteitsverbruik bron	363.603 kWhe	
elektriciteitsverbruik WP	2.419.409 kWhe	
gasverbruik	m³ a.e.	1.912.311 m³ a.e.
<i>kosten</i>		
gastarief	€/m³ a.e.	0,15 €/m³ a.e.
elektriciteitstarief	0,048 €/kWhe	€/kWhe
gaskosten	€/jaar	286.847 €/jaar
totaal elektriciteit	133.600 €/jaar	
totaal onderhoud en beheer	58.500 €/jaar	13.700 €/jaar
Kostprijs		
afschrijving OGT	30 jaar	
afschrijving HT WP	15 jaar	15 jaar
rente	6%	6%
<hr/>		
Kostprijs warmte	23,7 €/MWht	22,2 €/MWht
	0,21 €/m³ ae	0,19 €/m³ ae

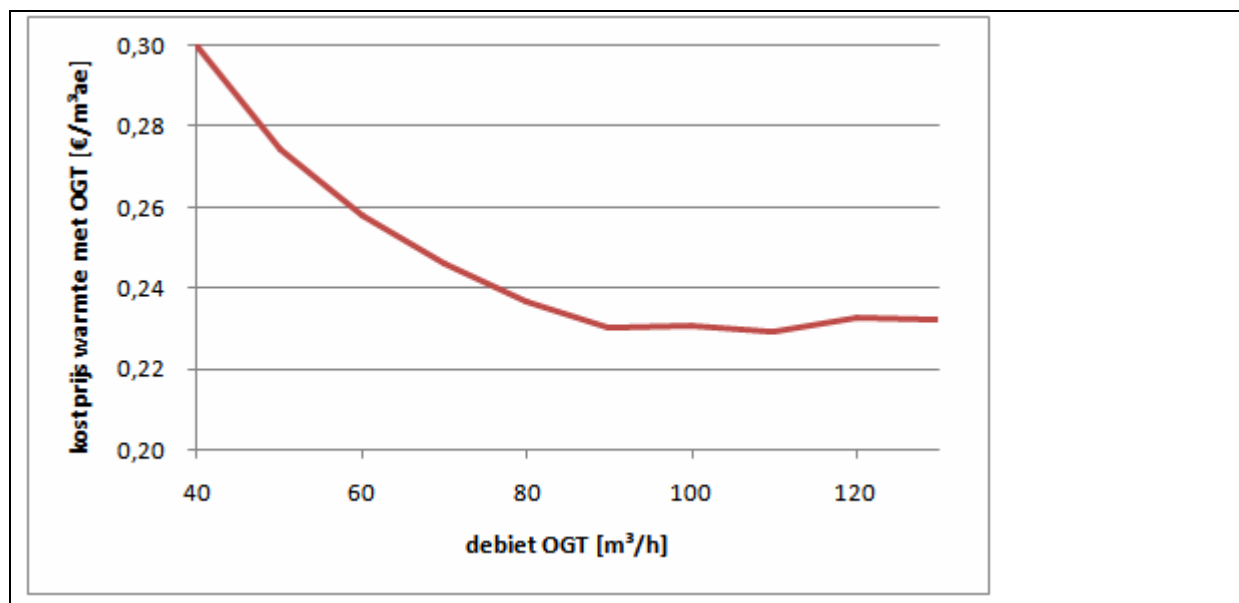
Figuur 15 Kostprijsberekening ondiepe geothermie als basislast ingezet (10 ha bedrijf)

Hiernaast is deze variant doorgerekend voor de situatie bij het nieuwe telen.

Financieel Bron	OGT 3: OGT als basislast met energievraag reductie	
	Ondiepe geothermie	referentie (ketelgas)
bedrijf oppervlakte	10 ha	
diepte	760 m-mv	
onttrekkingstemperatuur	35 °C	
retourtemperatuur	10 °C	
debiet	100 m ³ /h	
bronvermogen max	2.868 kW	3.413 kW
COP GT	35	
Omzetting HTWP		
temperatuur primair (verdampert)	10 °C	
temperatuur secundair (condensator)	40 °C	
effectief rendement (62,6% carnot)	6,3	
condensatorvermogen	3.413 kW	
Warmteproductie		
warmtevraag totaal	22.770 MWht	
WKK warmtelevering	6.250 MWht	
HTWP warmtelevering	12.945 MWht	12.945 MWht
OGT warmtelevering	10.877 MWht	
Piekketel	3.575 MWht	
Investeringskosten		
doublet ondiepe GT, 750 m-mv	1.625.000 €	341.331 €
EIA	182.000 € -/-	
MEI	- € -/-	
investeringen OGT (incl. subsidies)	1.443.000	
HT WP (200 €/kW)	682.663 €	
EIA	76.458 € -/-	
MEI	- € -/-	
investeringen WP (incl. subsidies)	606.204 €	
Exploitatie		
<i>verbruiken</i>		
elektriciteitsverbruik bron	310.785 kWhe	
elektriciteitsverbruik WP	2.067.960 kWhe	
gasverbruik	m ³ a.e.	1.634.524 m ³ a.e.
<i>kosten</i>		
gastarief	€/m ³ a.e.	0,15 €/m ³ a.e.
elektriciteitstarief	0,048 €/kWhe	€/kWhe
gaskosten	€/jaar	245.179 €/jaar
totaal elektriciteit	114.200 €/jaar	
totaal onderhoud en beheer	58.500 €/jaar	13.700 €/jaar
Kostprijs		
afschrijving OGT	30 jaar	
afschrijving HT WP	15 jaar	15 jaar
rente	6%	6%
<hr/>		
Kostprijs warmte	26,3 €/MWht	22,7 €/MWht
	7 €/GJ	6,3 €/GJ
	0,23 €/m ³ ae	0,20 €/m ³ ae

Figuur 16 Ondiepe geothermie als basislast ingezet (10 ha bedrijf), inclusief een reductie op de vraag van 20% (Het Nieuwe Telen Correctie)

In onderstaande Figuur 17 is de invloed van een mee- of tegenvallend grondwaterdebiet van de ondiepe geothermie weergegeven.



Figuur 17 Het brondebiet [m³] op de x-as uitgezet tegen de kostprijs van de warmte met OGT [EUR/m³ ae] op de y-as

Uit Figuur 17 blijkt dat de inzet van de OGT (met 100 m³/h) in de basis in combinatie met het nieuwe telen leidt tot een kostprijs van circa 0,23 EUR per m³ a.e. Dit is een reductie van de kostprijs ten opzichte van variant 1 met nagenoeg 40%. Een tegenvallend debiet leidt tot een toename in de kostprijs. Merk ook op dat de kostprijs rond de 110 m³/h een optimum kent en vervolgens weer (licht) toeneemt. Dit komt doordat vanaf dit grondwaterdebiet alle energie kan worden geleverd met de OGT.

6.4 Globale milieudruk-analyse

In onderstaande tabel wordt ingegaan op de milieudruk van de varianten, in een 10 ha bedrijf. Het primair energieverbruik van de ondiepe geothermie is veel lager. Hierdoor is deze techniek financieel minder gevoelig voor de sterk fluctuerende gasprijs. Toepassing van OGT leidt tot een aanzienlijke reductie tot 54% op de uitstoot van CO₂ ten opzichte van ketelgas.

In onderstaande tabel wordt onder OGT 2 de OGT als basislast ingezet, en onder OGT 3 wordt ditzelfde scenario gehanteerd, maar dan met gereduceerde energievraag in het kader van *Het Nieuwe Telen*. Hiervoor is een vraagreductie gehanteerd van 20%.

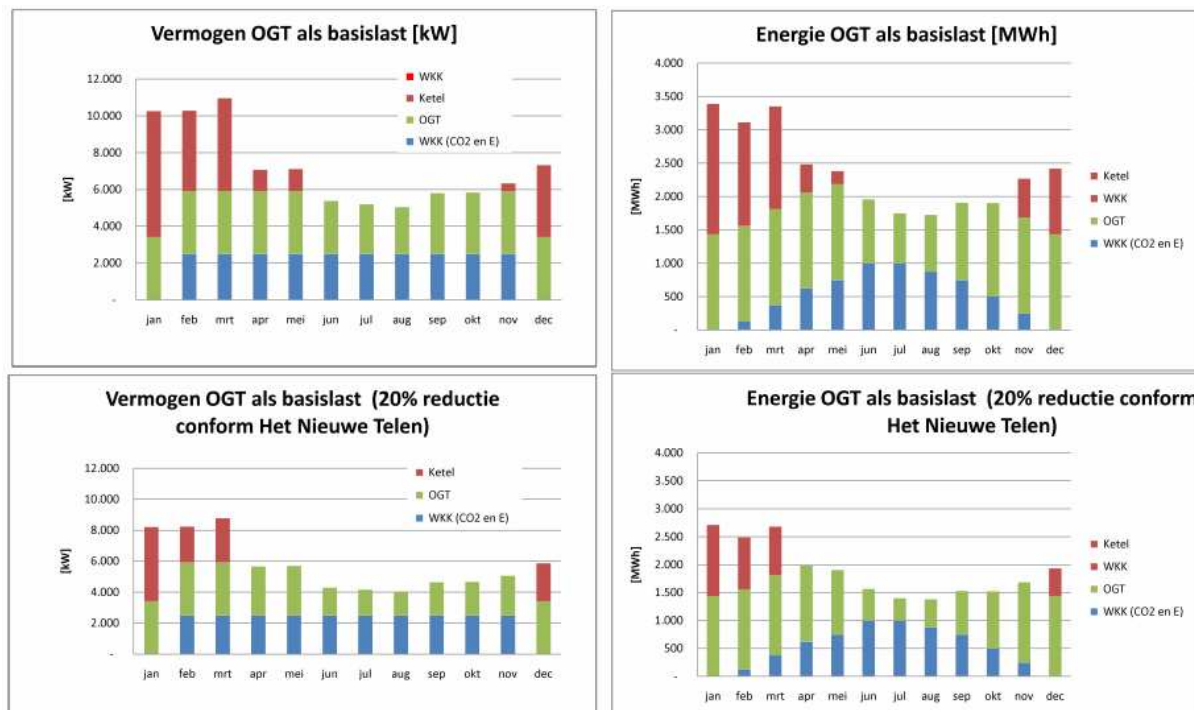
Tabel 6 Milieudruk / CO₂ voordeel

Financieel	OGT 2: OGT als basislast	
Milieuvoordeel		
CO ₂ -uitstoot	1.575 ton	3.404 ton
besparing	1.829 ton	ton
besparing	54% -	-
Financieel	OGT 3: OGT als basislast met energievraag reductie	
Milieuvoordeel		
CO ₂ -uitstoot	1.346 ton	2.909 ton
besparing	1.563 ton	ton
besparing	54% -	-

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Conclusies

Gunstig energetisch perspectief: Uit de resultaten van deze eerste verkenning blijkt dat ondiepe geothermie goede perspectieven biedt voor het verduurzamen van de glastuinbouw. De aanwezige piekketel kan bijna in zijn geheel worden vervangen door de geothermische bron (zowel in relatie tot het gewenste vermogen, als in relatie tot de gewenste capaciteit). In onderstaande figuur is de inzet van de OGT weergegeven waarbij de piekketel wordt vervangen.



Figuur 18 Ondiepe geothermie neemt bijna het gehele ketelvermogen voor haar rekening (10ha bedrijf). De laatste twee figuren geven de situatie weer voor Het Nieuwe Telen (waarbij rekening is gehouden met een reductie van 20% voor zowel vermogen als energie).

Uitgaande van het nieuwe telen en de OGT in de basis (variant 2) is het mogelijk om bijna alle warmte op duurzame wijze te leveren. De WKK wordt enkel voor CO₂ levering bedreven. De ketel komt tijdens pieken bij gedurende de koude maanden. Opgemerkt dient te worden dat het energieverbruik van de HTWP in de energetische berekening nog niet is meegenomen.

Financieel haalbaar: financiële berekeningen laten zien dat de kostprijs voor warmtelevering met de ondiepe geothermie als basislast hoger is (uitgaande van 10 ha) dan de warmtelevering met een conventionele ketel in een bestaande kas; 0,21 EUR/m³ ae voor OGT, t.o.v. referentie met ketelgas 0,19 EUR/m³ ae. Nog niet meegenomen zijn de zijn subsidies zoals de MEI-regeling (fiscaal voordeel is wel meegenomen). Indien reductie op de investering wordt meegenomen van bijvoorbeeld 20% (dit kan bijvoorbeeld door vormen van subsidie, maar ook door goedkopere boortechneken of andere kostenbesparende maatregelen volgens bijvoorbeeld Het Nieuwe Telen), wordt de kostprijs verlaagd van 0,23 EUR/m³ a.e naar 0,21 EUR/m³ a.e, voor de variant van een 10 ha bedrijf, waarin het Nieuwe Telen wordt uitgevoerd met OGT als basislast

Het leveren van meer warmte met de OGT zal leiden tot een lagere kostprijs. Dit blijkt ook uit het verschil tussen variant 1 en variant 2. Door de combinatie met het nieuwe telen, wat bijdraagt aan een lagere warmtevraag en piekshaving en de mogelijkheid tot een lagere aanvoertemperatuur vanaf de warmtepomp, is het mogelijk om nagenoeg alle warmte met de OGT te leveren. Dit resulteert in een aanzienlijk lagere kostprijs voor de warmtelevering met de OGT (0,21 EUR/m³ ae variant OGT 2 t.o.v. 0,40 EUR/m³ ae variant OGT 1).

Verlaagde milieu druk: Het primair energieverbruik van de ondiepe geothermie is veel lager. Hierdoor is deze techniek financieel minder gevoelig voor de sterk fluctuerende gasprijs. Toepassing van OGT leidt tot een aanzienlijke reductie tot 54% op de uitstoot van CO₂ ten opzichte van ketelgas.

7.2 Aanbevelingen

Om te komen tot een goed inzicht van de mogelijkheden van ondiepe geothermie, wordt aanbevolen, de berekeningen op een gedetailleerder niveau (uurlijkse waarden) verder uit te werken.

Hierbij is de samenhang met het thema "Het Nieuwe Telen" uit het programma "Kas als Energiebron" van groot belang. Er kan bijvoorbeeld gedacht worden aan:

- warmteopslag, gecombineerd met ondiepe geothermie;
- inzet van nieuwe schermentechneken in combinatie met (ondiepe) geothermie
- gedeeltelijke vervanging van de WKK inzet door ondiepe geothermie
- warmte afgifte systemen in combinatie ondiepe geothermie en warmtepomp systemen
- inzet van de warmtepomp als koeltechnologie
- uitwerking van casestudies bij andere gewassen, en bijbehorende afwijkende technologische randvoorwaarden.
- hogere systeem efficiëntie door slimme technologiecombinaties

De optie van warmteopslag, gecombineerd met deze nieuwe vorm van ondiepe geothermie lijkt zeer perspectiefvol voor de toekomst (lage CO₂ uitstoot, energetisch aantrekkelijk), waardoor seizoensopslag van warmte in ondiepe geothermie bronnen zinvol lijkt verder te bestuderen op haalbaarheid.

Gebaseerd op de conclusies van deze quickscan wordt aanbevolen een plan van aanpak op te stellen voor een vervolg studie, waarin onder andere bovengenoemde aspecten meegenomen worden.

Ondiepe geothermie als warmteopslag

In de zomer is de warmtevraag voor het verwarmen van de kassen beperkt. De WKK wordt in de zomer ingezet voor het produceren van elektriciteit en CO₂. De warmte is minder goed inzetbaar binnen de kassen en wordt derhalve opgeslagen in korte termijn (weekend)buffers of afgevoerd aan de buitenlucht. Deze warmte kan echter ook worden opgeslagen in lange termijn buffers. De bronnen van de ondiepe geothermie kunnen uitstekend worden gebruikt als lange termijn buffer voor het opslaan van de WKK-warmte.

Deze restwarmte, wordt opgeslagen in de onttrekkingsbron van de ondiepe geothermie. Het opslagrendement van deze warmte is onder andere afhankelijk van de bodemeigenschappen, de temperatuur en de hoeveelheid warmte die wordt opgeslagen. Deze warmte kan in de winter direct, zonder tussenkomst van de warmtepomp, worden ingezet voor het verwarmen van de kas. Dit levert een aanzienlijk energetisch en financieel voordeel op. Onderzocht dient nog te worden welke temperaturen opgeslaan mogen en kunnen worden, zonder risico's te lopen op bijvoorbeeld neerslag.

Het gebruiken van de bronnen van de ondiepe geothermie voor warmteopslag heeft wel een aantal consequenties:

- naar gelang onttrekking zal de temperatuur in de onttrekkingsbron afnemen met als gevolg dat de warmtepomp weer moet worden ingeschakeld om de gewenste aanvoertemperatuur te kunnen leveren
- bij temperaturen van 35 °C kunnen ook kunststofleidingen worden gebruikt. Wanneer de bronnen ook worden gebruikt voor warmteopslag met circa 90 °C dient bij de materiaalselectie rekening te worden gehouden met deze opslagtemperatuur. doordat bij opslag sprake is van grote temperatuursveranderingen van het grondwater kan neerslag van opgeloste mineralen optreden. Om bronverstopping of verstopping van de warmtewisselaar te voorkomen zal het grondwater moeten worden behandeld. Denk hierbij aan bijvoorbeeld zoutzuurdosering. Dit is een relatief kostbaar beheersaspect.

De combinatie van ondiepe geothermie met warmteopslag is niet verder uitgewerkt in dit onderzoek. Maar kan zeker het rendement van het bodemenergiesysteem vergroten.