



# **Hogetemperatuuropslag in de bodem**

**Samenvattend eindrapport**

**26.743/61335/RW  
30 juni 2012**

# Hogetemperatuuropslag in de bodem

## Samenvattend eindrapport

Penvoerder onderzoek:

**IF Technology bv**

Velperweg 37

Postbus 605

6800 AP ARNHEM

T 026 - 35 35 555

F 026 - 35 35 599

E [info@iftechnology.nl](mailto:info@iftechnology.nl)

Consortiumleden:

**DLV Glas & Energie**

Postbus 263

2670 AH NAALDWIJK

**Innoforte**

Van Heemstraweg 56 d

6651 KH DRUTEN

**Universiteit van Utrecht**

Postbus 80011

3508 TA UTRECHT



Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door:

**SKB “Duurzame ontwikkeling ondergrond”**

Groningenweg 10  
Postbus 420  
2800 AK GOUDA



**Gemeente Gorinchem**

Postbus 108  
4200 AC GORINCHEM



**Gemeente Zutphen**

Postbus 41  
7200 AA ZUTPHEN



**Productschap Tuinbouw**

Postbus 280  
2700 AG ZOETERMEER



- Onderzoeksprogramma: "Kas als Energiebron"
- Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie



Ministerie van Economische Zaken,  
Landbouw en Innovatie

**Hydreco**

Postbus 1068  
5200 BC 's-HERTOGENBOSCH



**HVC**

Postbus 9199  
1800 GD ALKMAAR



**Alliander**

Postbus 50  
6920 AB DUIVEN



# Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	1
1 Inleiding .....	2
1.1 Aanleiding.....	2
1.2 Opzet.....	3
1.3 Organisatie en financiering .....	4
2 Ontwerpnormen fijnzandige aquifers.....	5
2.1 Huidige normen traditionele energieopslag .....	5
2.2 Hogetemperatuuropslag.....	6
2.3 Aanpassing ontwerpnormen .....	8
2.4 Praktijkervaringen.....	9
2.5 Aanbevelingen.....	9
3 Juridisch kader hogetemperatuuropslag .....	12
3.1 Inleiding .....	12
3.2 Hogetemperatuuropslag tot en met 500 meter diepte .....	12
3.3 Hogetemperatuuropslag vanaf 500 meter diepte.....	13
3.4 Boren en toevoegen van stoffen .....	14
3.5 Conclusies en aanbevelingen .....	15
3.6 Discussie .....	15
4 Thermisch opslagrendement.....	16
4.1 Inleiding .....	16
4.2 Invloedsfactoren .....	17
4.3 Inschatting opslagrendement.....	21
5 Randvoorwaarden financiële rentabiliteit .....	24
5.1 Het rekenmodel .....	24
5.2 Financiële randvoorwaarden hogetemperatuuropslag.....	26
6 Pilotprojecten .....	29
6.1 Gorinchem.....	29
6.2 Zutphen .....	31
6.3 Glastuinbouw.....	31

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

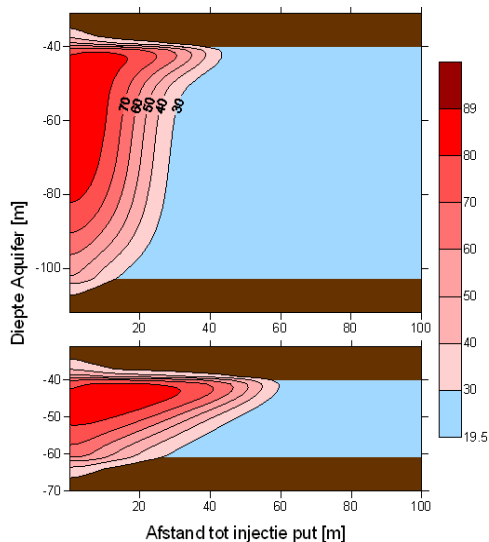
In Nederland is in de industrie en in de glastuinbouw veel (rest)warmte met een temperatuur onder 100°C beschikbaar. Deze warmte kan niet altijd nuttig worden ingezet voor verwarmingsdoeleinden en wordt dan naar de omgeving afgevoerd. Hiermee gaat kostbare warmte verloren. Mede naar aanleiding hiervan heeft de landelijke overheid in 2008 in haar duurzaamheidsambities voor 2020 vastgelegd het gebruik van restwarmte te stimuleren<sup>1</sup>.

Kenmerkend bij processen in de industrie en in de glastuinbouw is dat gedurende het gehele jaar restwarmte vrijkomt. Restwarmte die elders nuttig ingezet kan worden, is vaak alleen in de winter ten behoeve van klimatisering nodig. Seizoensmatige opslag van deze restwarmte is dan een noodzaak. Deze seizoensopslag van warmte op hoge temperatuur kan plaatsvinden in de ondergrond. Het principe hierbij is dat met een open grondwatersysteem, bestaande uit minimaal twee bronnen, warmte in een watervoerende zandlaag (aquifer) wordt opgeslagen in de warme bron. Deze warmte wordt uit de warme bron onttrokken en gebruikt voor verwarming, waarna het afgekoelde water in een koude bron in dezelfde zandlaag in de bodem wordt teruggebracht.

In Nederland neemt hierdoor de interesse in ondergrondse hogetemperatuuropslag toe. Ook de technologische ontwikkelingen en ervaringen bij traditionele koude-/ warmteopslag projecten dragen hier aan bij. Er is echter weinig ervaring met projecten waarbij warmte op hoge temperatuur in de bodem wordt opgeslagen. Op dit moment is er dan ook op een aantal vlakken leemte in kennis.

---

<sup>1</sup> Warmte op Stoom, Ministerie Economische Zaken, December 2008



Belangrijke aspecten die onderzoek behoeven om het toepassingsbereik én de kansrijkheid van hogetemperatuuropslag in de bodem te vergroten zijn technisch, energetisch, juridisch en financieel van aard. Zo wordt afgevraagd welke ontwerpnormen voor de bronnen moeten worden gehanteerd, welke aspecten het opslagrendement beïnvloeden, wat de belangrijkste factoren zijn op de financiële rentabiliteit van een project en wat de juridische randvoorwaarden zijn. Deze onderzoeksvragen zijn de aanleiding voor dit onderzoek naar de mogelijkheden van hogetemperatuuropslag in de bodem.

## 1.2 Opzet

De hiervoor omschreven onderzoeksvragen zijn in dit onderzoek beantwoord en beschreven in deelrapporten. De deelrapporten gaan over:

- De ontwerpnormen voor het dimensioneren van de bronnen op hoge temperatuur bij toepassing in diepe fijnzandige zandlagen in de bodem.
- De van belang zijnde parameters die het thermisch opslagrendement beïnvloeden.
- De van belang zijnde randvoorwaarden die het financieel rendement van een hogetemperatuuropslagproject beïnvloeden.
- De van toepassing zijnde juridische randvoorwaarden voor hogetemperatuuropslag in de bodem.

Het onderzoek wordt mede vorm gegeven door het uitwerken van pilotprojecten. Dit zijn twee pilotprojecten in de gebouwde omgeving en bedrijventerreinen in de gemeenten Gorinchem en Zutphen en in de glastuinbouw in Nederland.

Het onderzoek heeft plaatsgevonden in de periode mei 2011 tot en met juni 2012, waarbij de vorderingen van het onderzoek in tussentijdse samenvattende rapportages zijn beschreven. De tussentijdse rapportages zijn uitgebracht op 30 september 2011 (referentie: 25.277/60427/RW), op 31 januari 2012 (referentie: 25.937/61335/RW) en 27 april 2012 (referentie: 26.489/61335/RW).

De onderzoeken zelf zijn per onderwerp/werkpakket gerapporteerd in deelrapporten. De volgende deelrapporten behoren bij dit onderzoek:

1. Ontwerpnormen fijnzandige aquifers - Deelrapport werkpakket I  
(referentie: 26.723/61335/RW, d.d. 30 juni 2012)
2. Juridisch kader hogetemperatuuropslag - Deelrapport werkpakket II  
(referentie: 26.715/61335/RW, d.d. 30 juni 2012)
3. Thermisch opslagrendement - Deelrapport werkpakket III  
(referentie: 26.764/61335/RW, d.d. 30 juni 2012)
4. Randvoorwaarden financiële rentabiliteit - Deelrapport werkpakket IV  
(referentie: 26.741/61335/RW, d.d. 30 juni 2012)
5. Pilot Gorinchem - haalbaarheidsstudie naar hogetemperatuuropslag in de bodem  
(referentie: 26.740/61335/RW, d.d. 30 juni 2012)
6. Pilot Glastuinbouw - Hogetemperatuuropslag voor de glastuinbouw  
(referentie: 26.765/61335/RW, d.d. 30 juni 2012)

### 1.3 Organisatie en financiering

Het onderzoek is uitgevoerd door het consortium bestaande uit IF Technology, DLV Glas&Energie, Innoforte en de Universiteit Utrecht. IF Technology treedt voor het onderzoek op als penvoerder.

Het onderzoek wordt in het kader van het SKB programma "Duurzame ontwikkeling van de ondergrond" uitgevoerd en gefinancierd. Het onderzoek wordt mede mogelijk gemaakt door financiële bijdragen van het consortium, de gemeenten Gorinchem en Zutphen, het Productschap Tuinbouw (onderzoeksprogramma Kas als Energiebron), het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Hydreco, HVC en Alliander.

## 2 Ontwerpnormen fijnzandige aquifers

In dit hoofdstuk is het onderzoek naar de ontwerpnormen van fijnzandige aquifers voor hogetemperatuuropslagssystemen samengevat. Het onderzoek is in zijn totaliteit beschreven in een separaat document met als titel: "Ontwerpnormen fijnzandige aquifers", Deelrapport Werkpakket I, met referentie: 26.723/61335/RW, d.d. 30 juni 2012.

### 2.1 Huidige normen traditionele energieopslag

Een energieopslagsysteem bestaat uit een of meerdere onttrekkingsputten en infiltratieputten. Voor het juist dimensioneren van deze putten zijn ontwerpnormen opgesteld: één norm voor het dimensioneren van infiltratieputten en één norm voor het dimensioneren van onttrekkingsputten. De infiltratienorm is gebaseerd op de verstoppingsnelheid van de put door fijne deeltjes. De onttrekkingsnorm is gebaseerd op het voorkomen / minimaliseren van zandlevering.

In de onttrekkingsnorm wordt aangenomen dat er een lineair verband is tussen de toegestane snelheid op de boorgatwand en de doorlatendheid van de aquifer:

$$v_b = \frac{k}{12}$$

$k$  = doorlatendheid [m/d]

$v_b$  = stroomsnelheid op de boorgatwand [m/h]

De infiltratienorm wordt weergegeven als:

$$v = 1000 \left( \frac{k}{150} \right)^{0.6} * \sqrt{\frac{v_v}{2 * MFI_{mea} U_{eq}}}$$

$v$  = ontwerpsnelheid [m/h]

$k$  = doorlatendheid [m/d]

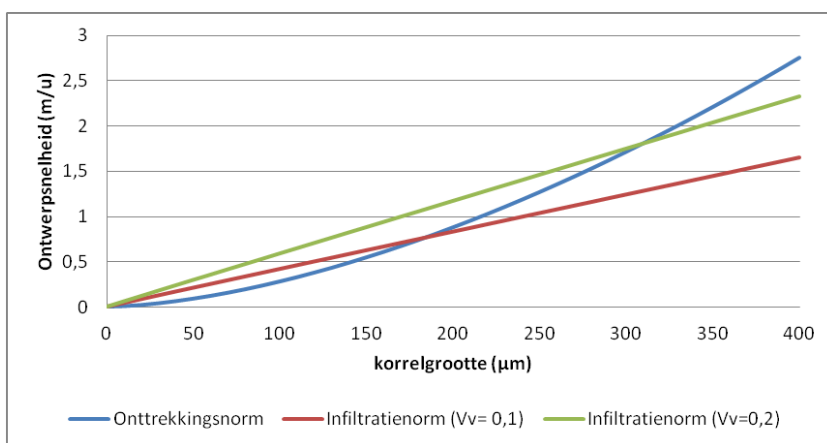
$v_v$  = specifieke verstoppingsnelheid [m/j]

$MFI_{mea}$  = gemeten MFI [ $s/l^2$ ]

$U_{eq}$  = aantal equivalente vollasturen per jaar [u]



De doorlatendheid kan met behulp van de methode van Shepherd gecorreleerd worden aan de gemiddelde korrelgrootte. De doorlatendheid is via Shepherd gecorreleerd aan de gemiddelde korrelgrootte. In figuur 2.1 is een vergelijking gemaakt tussen de onttrekkingsnorm en de infiltratienorm door de ontwerpsnelheid uit te zetten tegen de gemiddelde korrelgrootte van het pakket. Hierbij zijn voor de infiltratienorm vaste waardes gekozen, de MFI ( $2 \text{ s/l}^2$ ) en het aantal equivalente vollasturen (1.500 h). De verstoppingsnelheid is gevarieerd (0,1 m/jaar en 0,2 m/jaar).



Figuur 2.1 Vergelijking onttrekkings- en infiltratienorm

Bij een verstoppingsnelheid van 0,1 m/jaar geeft de onttrekkingsnorm de laagste ontwerpsnelheid tot een korrelgrootte van 180 µm. Wanneer een verstoppingsnelheid van 0,2 m/jaar wordt gekozen, ligt deze grens bij een korrelgrootte van 310 µm.

## 2.2 Hogetemperatuuropslag

Bij hogetemperatuuropslag is er een groot verschil tussen de opslagtemperatuur en de omgevingstemperatuur. Door het verschil in dichtheid tussen het opgeslagen warme water en het omringende grondwater gaat het warmere water opdrijven. Deze dichtheidsstroming is doorgaans het belangrijkste proces dat zorgt voor warmteverliezen. Het opslagrendement wordt bepaald door de dikte van de aquifer, het temperatuurverschil met het omringende grondwater en de doorlatendheid van de aquifer. Van deze parameters is de doorlatendheid veruit de meest belangrijkste. Bij een lagere doorlatendheid neemt het opslagrendement toe. Om deze redenen is het interessant om te kijken naar de mogelijkheid van hogetemperatuuropslag in fijnzandige aquifers.

Het nadeel van fijnzandige aquifers is dat er volgens de huidige ontwerpnorm slechts een beperkt debiet aan kan worden onttrokken. Bij een dergelijk debiet zijn de systemen economisch gezien moeilijk rendabel te maken. De vraag is daarom in hoeverre deze normen verruimd kunnen worden.

De huidige ontwerpnormen zijn gebaseerd op de gemiddelde doorlatendheid van het opslagpakket.

De doorlatendheid kan als volgt berekend worden:

$$k = \frac{\rho_f \cdot g}{\mu} \cdot K_i$$

$k$  = doorlatendheid [m/s]

$\rho_f$  = dichtheid van vloeistof [kg/m<sup>3</sup>]

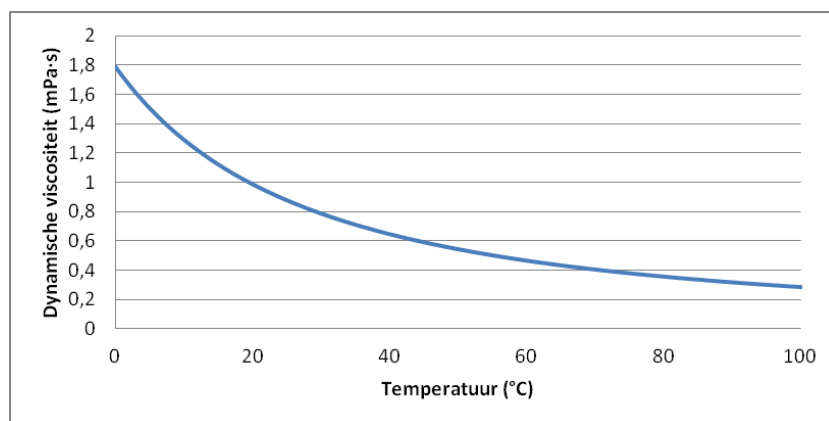
$g$  = valversnelling [m/s<sup>2</sup>]

$\mu$  = dynamische viscositeit [Pa · s]

$K_i$  = intrinsieke permeabiliteit [m<sup>2</sup>]

De doorlatendheid wordt dus niet alleen bepaald door de eigenschappen van het sediment ( $K_i$ ), maar ook door de viscositeit en dichtheid van het water, die afhankelijk zijn van de temperatuur, de druk en het zoutgehalte van het water. is afhankelijk van de temperatuur van het water, de druk en het zoutgehalte. Voor “standaard” energieopslagsystemen is de invloed van deze parameters op de doorlatendheid relatief klein door de beperkte temperatuurverschillen.

Bij hogetemperatuuropslagsystemen hebben het zoutgehalte en de druk geen grote invloed op de viscositeit en dichtheid. De viscositeit van water neemt sterk af bij hogere temperaturen. Dit aspect kan derhalve niet verwaarloosd worden. Figuur 2.2 geeft de relatie tussen viscositeit en temperatuur.



Figuur 2.2 Dynamische viscositeit uitgezet tegen temperatuur

Uit het voorgaande blijkt dat het voor het dimensioneren van bronnen voor hogetemperatuuropslag noodzakelijk is om rekening te houden met de invloed van de temperatuur op de doorlatendheid. De doorlatendheid in de reeds bestaande normen dient hiertoe vervangen te worden door de intrinsieke permeabiliteit. Verder dient de dichtheid en de viscositeit van het water bij de temperatuur van het onttrokken en geïnfilterde water bepaald te worden.

## 2.3 Aanpassing ontwerpnormen

Indien de temperatuur meegenomen wordt, gaat de onttrekkingsnorm er als volgt uitzien:

$$v_b = 7200 * \frac{\rho_f \cdot g}{\mu} \cdot K_i$$

$v_b$  = stroomsnelheid op de boorgatwand [m/h]

De invloed van de temperatuur op de doorlatendheid geldt evenzeer voor de infiltratienorm:

$$v = 1000 \left( 576 * \frac{\rho_f \cdot g}{\mu} \cdot K_i \right)^{0.6} * \sqrt{\frac{v_v}{2 * MFI_{mea} U_{eq}}}$$

$v$  = ontwerpsnelheid [m/h]

$K_i$  = intrinsieke permeabiliteit [ $m^2$ ]

$\rho_f$  = dichtheid [ $kg/m^3$ ]

$g$  = valversnelling [ $m/s^2$ ]

$\mu$  = dynamische viscositeit [ $kg/ms$ ]

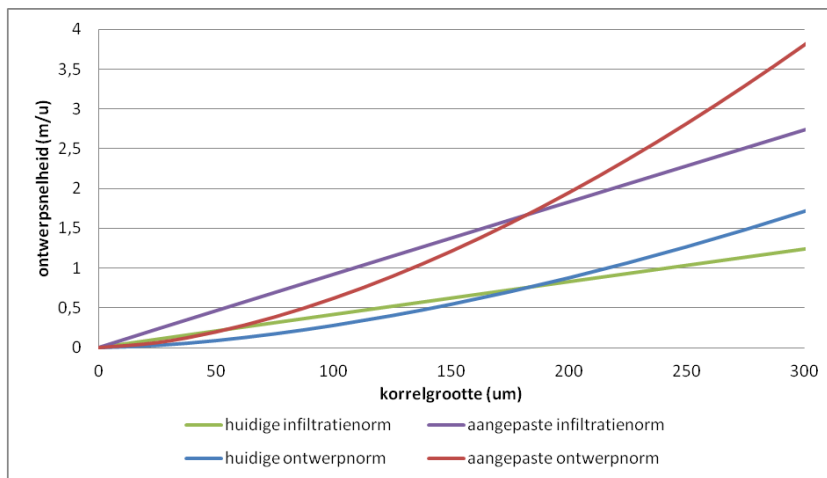
$v_v$  = specifieke verstoppingsnelheid [m/j]

$MFI_{mea}$  = gemeten MFI [ $s/l^2$ ]

$U_{eq}$  = aantal equivalente vollasturen per jaar [u]

Zowel voor de onttrekkingsnorm als de infiltratienorm zal de ontwerpsnelheid hoger zijn bij een hogere temperatuur. Doordat in de infiltratienorm ( $1/\mu$ ) tot de macht 0,6 wordt verheven en in de ontwerpnorm niet, gaat de verandering van de ontwerpsnelheid met temperatuur niet gelijk op.

In figuur 2.3 is de huidige onttrekkings- en infiltratienorm vergeleken met de aangepaste normen. De weergegeven norm is gebaseerd op de warme bron van de case in Gorinchem. Hierin bedraagt de onttrekkingstemperatuur uit de warme bron 50°C en de infiltratietemperatuur 90°C. Uit de vergelijking blijkt dat door het integreren van de temperatuur in de ontwerpnormen in deze case de ontwerpsnelheid ruim twee keer zo groot mag zijn in vergelijking met de huidige ontwerpnormen.



Figuur 2.3 Vergelijking tussen de huidige ontwerpnormen en de aangepaste ontwerpnormen voor de pilot Gorinchem

## 2.4 Praktijkervaringen

In Nederland zijn enkele bronnen voor hogetemperatuuropslag en vele bronnen voor energieopslag gerealiseerd. De onderzochte bronnen voor hogetemperatuuropslag voldoen niet aan de huidige ontwerpnormen. Een deel van de bronnen voldoet ook niet aan de aangepaste ontwerpnormen. Over het algemeen voldoen de bronnen voor 'standaard' energieopslag wel aan de huidige ontwerpnormen.

Van enkele bronnen (van zowel hogetemperatuuropslag als 'standaard' energieopslag) is bekend dat er zandlevering optreedt. De oorzaak van deze zandlevering hoeft niet direct te liggen bij het overschrijden van de ontwerpnormen. Mogelijke oorzaken kunnen ook zijn een verkeerde keuze van filtergrind en -spleten, grote variatie in korrelgrootte, filters in kalksteen en scheve debietverdeling over het filtertraject of een combinatie van deze oorzaken. Een directe relatie tussen het overschrijden van de norm en zandlevering is (nog) niet gevonden.

## 2.5 Aanbevelingen

Een nadeel van de gebruikte methode van Shepherd is dat deze relatie geen rekening houdt met de porositeit, een parameter die wel degelijk van belang is voor de doorlatendheid. In de aangepaste normen wordt de gemiddelde korrelgrootte omgerekend naar een doorlatendheid (bij 12°C) en deze doorlatendheid wordt vervolgens omgerekend naar een intrinsieke permeabiliteit. Deze intrinsieke permeabiliteit wordt vervolgens weer teruggerekend naar een doorlatendheid voor de onttrekkings- dan wel infiltratietemperatuur. Een manier om de invloed van de porositeit op de doorlatendheid te berekenen is met behulp van de methode van Kozeny-Carman.

Hieronder staat een mogelijke vorm van de formule van Kozeny-Carman weergegeven:

$$k = \left( \frac{\rho_f g}{\mu} \right) \left( \left( \frac{n^3}{(1-n)^2} \right) \left( \frac{(D50)^2}{180} \right) \cdot 10^{-12} \right)$$

$k$  = doorlatendheid [m/s]

$\rho_f$  = dichtheid [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  = valversnelling [m/s<sup>2</sup>]

$\mu$  = dynamische viscositeit [kg/ms]

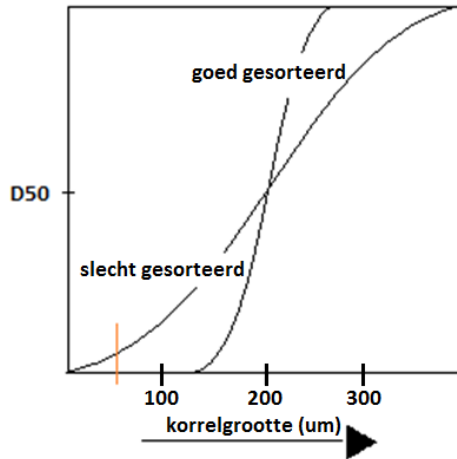
$n$  = porositeit [-]

$D50$  = gemiddelde korrelgrootte [um]

intrinsieke permeabiliteit:  $\left( \frac{n^3}{(1-n)^2} \right) \left( \frac{(D50)^2}{180} \right) \cdot 10^{-12}$

Volgens de methode van Kozeny-Carman is de doorlatendheid sterk afhankelijk van de porositeit. De porositeit is echter meestal niet bekend. Het verdient de aanbeveling om na te gaan of de porositeit vooraf kan worden ingeschat. Mogelijkheden zijn de methoden van Archie (op basis van EC-metingen en VES-metingen) of porositeit-diepte relaties.

Een ander belangrijk aspect dat van invloed is op het ontwerp van putten is de mate van sortering van het zand in de bodem. De sortering van het zand heeft een directe invloed op de mate van zandtransport in de bodem. Een gemiddelde poriediameter is kleiner dan de korrelgrootte. Theoretisch gezien is zandtransport door een volledig homogeen zand daarom niet mogelijk en zijn in dat geval hoge ontwerpsnelheden toegestaan. Immers, geen van de korrels heeft een diameter die door de poriën past. Figuur 2.4 laat zien hoe bij twee soorten zand, beide met een gemiddelde korrelgrootte van 200 um, het slecht gesorteerde zand meer korrels bevat die door de gemiddelde poriegrootte (op basis van de vaak gebruikte schatting van  $\frac{1}{6} * D50$ ) passen.



Figuur 2.4 Schematische weergave van twee korrelgrootteverdelingen. De rode lijn komt overeen met de gemiddelde poriegrootte op basis van  $\frac{1}{6} * D50$ .

Vanuit dit perspectief gezien is de korrelgrootteverdeling van een poreus medium een erg belangrijke factor voor zandtransport. Het verdient de aanbeveling dit aspect nader te onderzoeken en na te gaan welke mogelijkheden er zijn om dit te verwerken in een ontwerpnorm.

Daarnaast wordt aanbevolen om zoveel mogelijk beschikbare informatie te analyseren, waarbij gekeken wordt in welke mate bronnen voldoen aan de huidige ontwerpnorm. Het analyseren van flowmetingen kan hierbij inzicht geven of en in welke mate overschrijding van de onttrekkingsnorm optreedt als gevolg van onder andere scheve debietverdelingen over het filtertraject. Verder wordt nader onderzoek naar de oorzaken van zandlevering bij bronnen waar zandlevering optreedt aanbevolen.

## 3 Juridisch kader hogetemperatuuropslag

In dit hoofdstuk is het onderzoek naar het juridisch kader van hogetemperatuuropslag samengevat. Het onderzoek is in zijn totaliteit beschreven in een separaat document met als titel: “Juridisch kader Hogetemperatuuropslag”, Deelrapport Werkpakket II, met referentie: 26.715/61335/RW, d.d. 30 juni 2012.

### 3.1 Inleiding

Op het realiseren en in werking hebben van een hogetemperatuuropslag (HTO) zijn verschillende wetten en regels van toepassing. De voorwaarden die deze regels met zich meebrengen voor de opslag van warmte zijn nog onvoldoende duidelijk.

In dit deelrapport ligt de focus op de toepasselijke wet- en regelgeving op de kernactiviteit van hogetemperatuuropslag: het opslaan van warmte door het opslaan en onttrekken van (verwarmd) grondwater. De twee relevante wetten hiervoor zijn de Waterwet en de Mijnbouwwet. Hierbij is zowel aandacht voor het bestaande wettelijke kader als de gewenste aanpassingen hiervan.

Om het wettelijk kader voor hogetemperatuuropslag te bepalen zijn de Waterwet en de Mijnbouwwet en hun onderliggende besluiten bekeken. Hierbij is waar nodig de wetshistorie betrokken en is gekeken naar de wetsystematiek (literatuurstudie). Daarnaast is overleg gevoerd met het Ministerie van Economie, Landbouw en Innovatie (EL&I) en is een inventariserende vragenlijst aan belanghebbenden verstuurd.

### 3.2 Hogetemperatuuropslag tot en met 500 meter diepte

#### *Vergunning Waterwet*

De relevante wetsgeschiedenissen, het Besluit Bodemenergiesystemen en zijn aanvullende beleidsdocumenten en de grote overeenkomst tussen WKO en hogetemperatuuropslag leiden tot de conclusie dat hogetemperatuuropslag inderdaad onder de term bodemenergiesysteem zoals bedoeld in de Waterwet valt. Voor hogetemperatuuropslag tot en met 500 meter diepte is daarom een vergunning nodig als bedoeld in art. 6.4 van de Waterwet.

#### *Procedure*

De vergunningverlening voor een bodemenergiesysteem onder de Waterwet, doorloopt de uniforme openbare voorbereidingsprocedure van afdeling 3.4 Awb. Het duurt circa 6 maanden voordat een definitieve beschikking is verleend. Na de inwerkingtreding van het Besluit Bodemenergiesystemen (verwachting in 2013) is de ‘reguliere’ voorbereidings-

procedure van toepassing. De definitieve beschikking volgt dan na 8 weken. Overigens kan het bevoegd gezag wel besluiten tot toepassing van de uniforme openbare procedure (art. 3:10 Awb).

#### *Voorwaarden*

Open bodemenergiesystemen worden gereguleerd in de Waterwet, het Waterbesluit en de Waterregeling. Bij de vergunningaanvraag Waterwet moeten verschillende gegevens gemeld worden over doel, werking en het ontwerp van het systeem.

Hogetemperatuuropslag kan voldoen aan deze indieningvereisten. Daarnaast gelden eisen voor aanleg en exploitatie. Naast een algemene meetplicht en informatieplicht worden voorschriften opgenomen in de vergunning. Met de inwerkingtreding van het Besluit Bodemenergiesystemen bevat het Waterbesluit instructieregels voor het bevoegd gezag. Het bevoegd gezag moet aan het installeren en in werking hebben van een open bodemenergiesysteem standaardvoorschriften stellen conform deze instructieregels.

Twee van de instructievoorschriften sluiten niet aan bij hogetemperatuuropslag: de maximale retourtemperatuur van 25°C en eis van energiebalans. Bij hogetemperatuuropslag ligt de gewenste retourtemperatuur een stuk hoger dan 25°C en zal geen energiebalans worden gerealiseerd omdat geen koude in de bodem wordt gebracht. Als aan deze instructievoorschriften wordt vastgehouden staat dit hogetemperatuuropslag in de weg. Maar van deze standaardvoorschriften kan, binnen de AMvB, onder omstandigheden worden afgeweken. In de BesluitvormingsuitvoeringsMethode (BUM) provinciale taken is dit nader uitgewerkt.

Uit de resultaten van de inventariserende vragenlijst blijkt dat de respondenten veel oog hebben voor mogelijke effecten van hogetemperatuuropslag op de ondergrond en andere belangen en functies van de ondergrond. De voorwaarden in de BUM provinciale taken voor het afwijken van de maximale retourtemperatuur en energiebalans worden dan ook door vrijwel alle respondenten in meer of mindere mate aangevuld. Tegelijkertijd is er ook aandacht voor de eventuele extra drempels die de voorwaarden opwerpen.

Het bestaande wettelijk kader wordt door respondenten verschillend aan- en ingevuld. De Waterwet/Waterbesluit en de BUM provinciale taken bieden hier ook ruimte voor. Daarom wordt geconcludeerd dat het wettelijk kader dat de Waterwet biedt op dit moment voldoet. Binnen het bestaande kader kan ervaring worden opgedaan met hogetemperatuuropslag wat in de toekomst kan leiden tot een nadere uitwerking, specificering en uniformering.

### **3.3 Hogetemperatuuropslag vanaf 500 meter diepte**

#### *Opslagvergunning*

Op 11 april 2012 is een overleg gehouden met Henk van der Laan en Pieter Jongerius van het Ministerie van EL&I over de Mijnbouwwet in relatie tot bodemenergie (WKO, hogetemperatuuropslag en geothermie). Tijdens dit overleg werd geconcludeerd dat hogetemperatuuropslag vanaf 500 meter diepte voorlopig onder het opslagvergunningregime valt. Bij het opslagplan zal de aandacht ook uit moeten gaan naar de mogelijke effecten van de eerste onttrekking.



#### *Procedure*

Het ministerie beslist binnen 6 maanden na ontvangst van de vergunningaanvraag of, als andere aanvragers via de Staatscourant zijn uitgenodigd, 6 maanden nadat de 13 weken termijn voor de concurrerende aanvragen is afgelopen. Dit betekent dat het 6 to 9 maanden kan duren voordat een definitieve beschikking wordt gegeven.

#### *Voorwaarden*

De vergunningverleningcriteria en de algemene regels voor opslag staan de toepassing van hogetemperatuuropslag niet vanaf 500 meter diepte niet in de weg. Uit deze criteria en regels vloeit geen verbod voort.

Ook legt het wettelijk kader geen beperkingen op ten aanzien van belangrijke kenmerken van hogetemperatuuropslag zoals de hoge retourtemperatuur en het niet ontstaan van energiebalans. Wel lijken de eisen scherper te zijn dan dat voor hogetemperatuuropslag nodig is. Dat deze eisen scherp zijn, is begrijpelijk omdat de algemene regels ontwikkeld zijn met het oog op andere technieken met mogelijke meer impact dan hogetemperatuuropslag. Dit kan echter wel drempels opwerpen voor de realisatie van hogetemperatuuropslag dieper dan 500 meter.

Dat de gestelde voorwaarden voor HTO aan de scherpe kant lijken te zijn zie je ook terug in de reacties van de respondenten op de vragenlijst. Veel van de respondenten zetten vraagtekens bij een aantal van de algemene regels. Op de vraag welk (aanvullend) beleid gewenst is, lopen de antwoorden uiteen. Wel lijkt er behoefte aan monitoring. Het lijkt erop dat een geïnformeerde discussie over de invulling van het wettelijk kader voor hogetemperatuuropslag vanaf 500 meter diepte zinvol kan zijn om mogelijke onnodig zware eisen af te zwakken en eventuele andere aanvullende eisen te formuleren.

### **3.4 Boren en toevoegen van stoffen**

#### *Boren*

Op basis van de Wet bodembescherming en het Besluit bodemkwaliteit is erkenning nodig voor het boren tot en met 500 meter diepte. De erkenning moet worden aangevraagd bij Bodem+. Voor de erkenning is certificering nodig.

Voor boren vanaf 500 meter diepte worden regels gesteld in de Mijnbouwwet en het Mijnbouwbesluit. Op basis van het Besluit Algemene Regels Milieu Mijnbouw (BARMM) moet het boren gemeld worden waarbij aangetoond wordt dat aan bepaalde eisen wordt voldaan. De melding wordt beoordeeld door SodM.

#### *Toevoegen stoffen*

Ter voorkoming van neerslag worden stoffen aan het water toegevoegd. Het meest praktisch is om het toevoegen van deze stof voor een hogetemperatuuropslag tot en met 500 meter diepte mee te nemen in de Waterwetvergunning omdat het hier gaat om een onmisbaar onderdeel van het bodemenergiesysteem.

Het opslaan van stoffen vanaf 500 meter diepte valt onder de opslagvergunning van de Mijnbouwwet. Hogetemperatuuropslag vanaf 500 meter diepte heeft al een opslagvergunning nodig voor het onttrekken en inbrengen van het water. Het ligt voor de hand om toe te voegen stoffen in deze vergunning mee te nemen.

### 3.5 Conclusies en aanbevelingen

Op dit moment voldoet het wettelijk kader dat de Waterwet biedt voor hogetemperatuuropslag tot en met 500 meter diepte. Binnen het bestaande kader kan ervaring worden opgedaan met HTO. Het lijkt goed een selectie van projecten te maken waarbij extra monitoring plaatsvindt op de energiebalans, retourtemperatuur en het toevoegen van stoffen. Over 3 tot 5 jaar zouden de resultaten geëvalueerd kunnen worden waardoor een beter beeld ontstaat van de effecten van hogetemperatuuropslag.

Deze monitoring en evaluatie kan eventueel plaatsvinden in het kader van het onderzoeksprogramma Meer Met Bodemenergie. De resultaten van het onderzoek kan de basis bieden voor een nadere uitwerking, specificering en uniformering van het wettelijk kader van hogetemperatuuropslag in de toekomst.

Meer onzekerheid bestaat over het wettelijk kader voor hogetemperatuuropslag vanaf 500 meter diepte. In overleg met EL&I is besloten om hogetemperatuuropslag vanaf 500 meter diepte onder de opslagvergunning te scharen. Wanneer mogelijk, lijkt het verstandig om EL&I te vragen deze overeenstemming in een openbare notitie neer te leggen en te publiceren.

Het wettelijk kader van de Mijnbouwwet lijkt strenger te zijn dan nodig is voor hogetemperatuuropslag. De resultaten uit de vragenlijst duiden erop dat een discussie over de invulling van het wettelijk kader voor hogetemperatuuropslag vanaf 500 meter diepte zinvol kan zijn om mogelijk onnodig zware eisen af te zwakken en eventuele andere aanvullende eisen te formuleren. Daarom is het goed om nu aan te haken bij de discussie over herziening van de Mijnbouwwet in het kader van de Omgevingswet.

### 3.6 Discussie

Het is goed voorstelbaar dat een hogetemperatuuropslagsysteem zich zowel onder als boven de 500 meter diepte bevindt. De vraag is dan welk wettelijk kader van toepassing is en wie het bevoegd gezag is. Volgens de minister ontstaat er in dat geval geen conflicterende situatie en is het realiseren van het systeem mogelijk. In de praktijk kan dit bemerkerend werken.

Aansluitend kan de meer principiële vraag gesteld worden wat de harde grens van 500 meter diepte legitimeert en hoe het grote verschil in het juridisch regime te verdedigen is.

## 4 Thermisch opslagrendement

In dit hoofdstuk is het onderzoek naar het thermisch opslagrendement bij hogetemperatuuropslagssystemen samengevat. Het onderzoek is in zijn totaliteit beschreven in een separaat document met als titel: “Thermisch Opslagrendement”, Deelrapport Werkpakket III, met referentie: 26.764/61335/RW, d.d. 30 juni 2012.

### 4.1 Inleiding

Hogetemperatuuropslag wordt gezien als een veelbelovende techniek om de behaalde energiebesparing met behulp van traditionele warmte-/koudeopslagssystemen verder te vergroten. In hoeverre hogetemperatuuropslag daadwerkelijk interessant is, wordt enerzijds bepaald door de investerings- en exploitatiekosten en anderzijds door de energiebesparingen die kunnen worden behaald.

De besparingen worden in belangrijke mate bepaald door de mate waarin de opgeslagen warmte weer kan worden teruggewonnen. Het opslagrendement dat kan worden behaald is dan ook essentieel voor hogetemperatuuropslag. In dit onderzoek is het opslagrendement gedefinieerd als de verhouding tussen de onttrokken hoeveelheid energie en de opgeslagen hoeveelheid energie, gemeten ten opzichte van de natuurlijke grondwatertemperatuur in het gebruikte watervoerende pakket. Daarbij is aangenomen dat de onttrokken hoeveelheid water gelijk is aan de geïnfiltreerde hoeveelheid water.

In dit onderzoek naar het opslagrendement bij hogetemperatuuropslag zijn twee hoofdoelen nagestreefd. Het eerste doel is het inzichtelijk maken van de factoren die de grootste invloed hebben op het opslagrendement. Dit vindt plaats door middel van een literatuurstudie en een modelstudie waarin het opslagrendement voor een groot aantal verschillende scenario's is berekend en is geanalyseerd. Ten tweede is een functionele relatie ontwikkeld tussen het opslagrendement en de factoren die daar de grootste invloed op hebben.

## 4.2 Invloedsfactoren

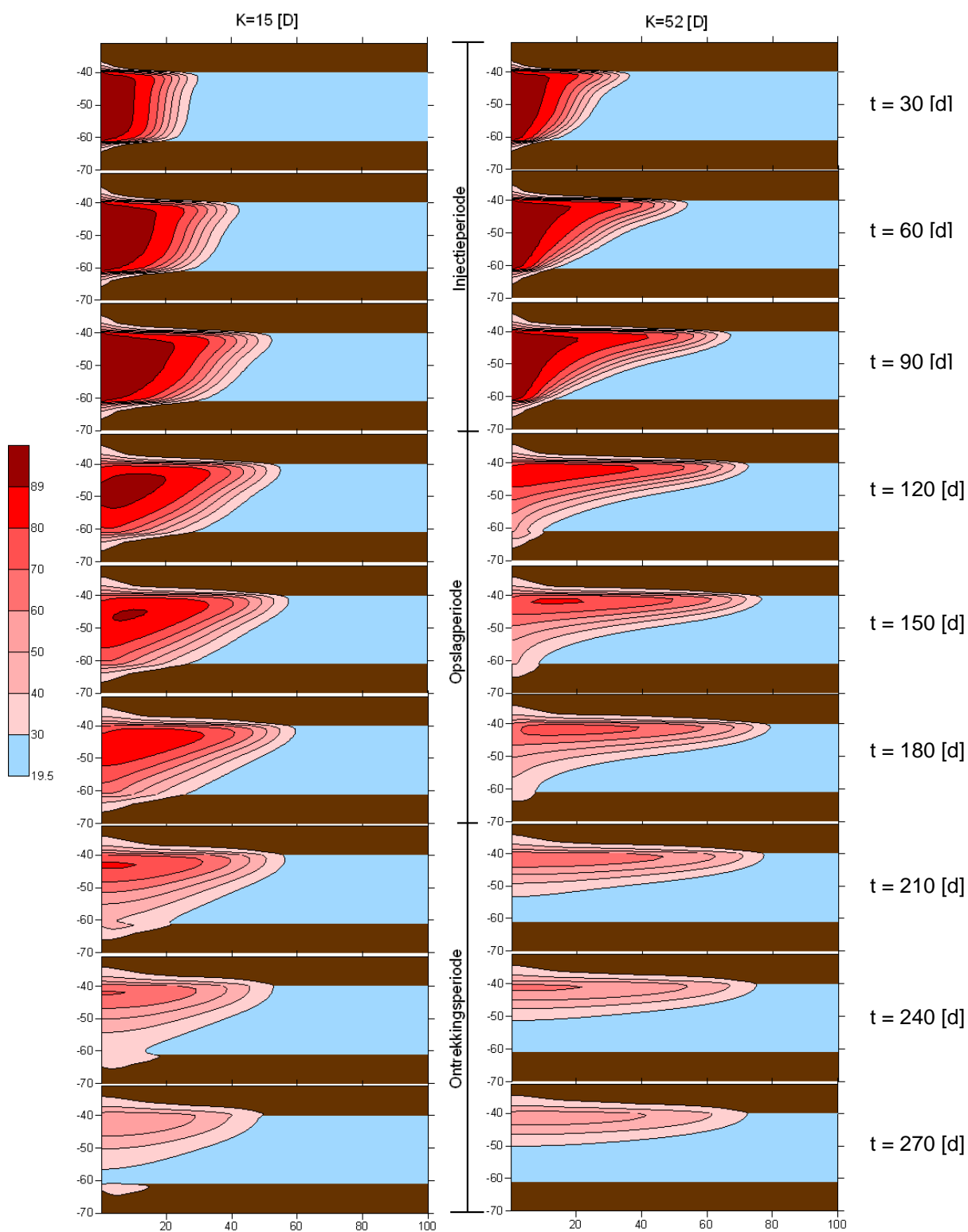
Het opslagrendement wordt bepaald door de warmteverliezen die optreden onder invloed van verschillende processen. Het gaat hierbij om warmtegeleiding, dispersie, grondwaterstroming en dichtheidsgedreven grondwaterstroming (vrije convectie). De relatieve grootte van de warmteverliezen door deze processen wordt bepaald door:

- een aantal kenmerken van het hogetemperatuuropslagsysteem, zoals de infiltratietemperatuur, het opslagvolume en de filterlengte;
- de eigenschappen van de ondergrond, zoals de dikte en de permeabiliteit van het watervoerende pakket;
- de eigenschappen van de scheidende lagen.

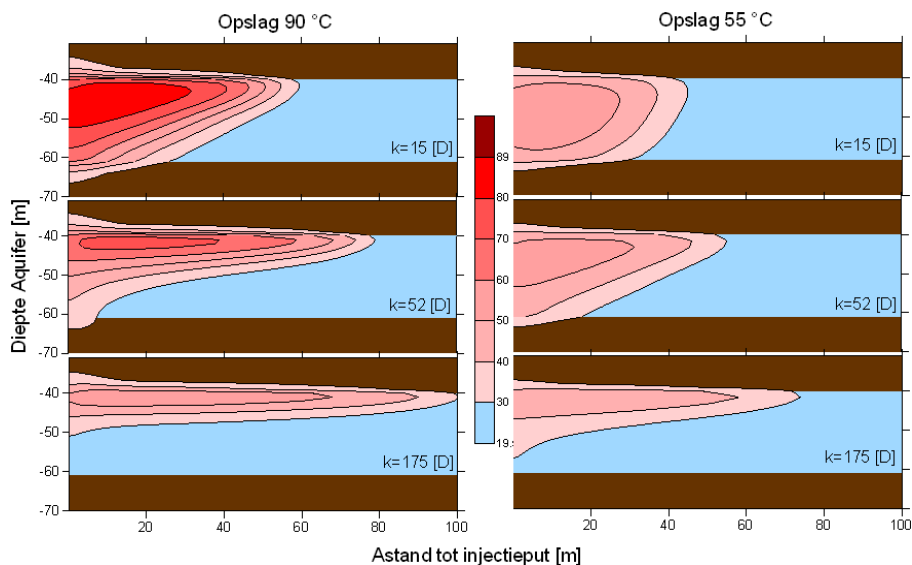
Uit zowel de uitgevoerde literatuurstudie als de modelberekeningen blijkt dat de factoren die invloed hebben op de dichtheidsstroming het meest bepalend zijn voor het rendement van de hogetemperatuuropslag.

De dichtheidsstroming wordt veroorzaakt door het verschil in dichtheid tussen het geïnjecteerde water en het omgevingwater. Door de lagere dichtheid en viscositeit heeft het warmere water de neiging om naar het bovenste deel van het watervoerende pakket te stromen. Als het geïnjecteerde water zich onder een scheidende laag bevindt (dit zal vrijwel altijd het geval zijn) zorgt de dichtheidsstroming ervoor dat de (initieel verticale) overgangszone tussen het opgeslagen warme water en het omringende grondwater (het thermisch front) gaat kantelen. De mate van kanteling kan worden afgeleid uit de kantelhoek, welke gedefinieerd is als de hoek die de warme bel maakt met de verticale as. Uiteindelijk kan deze kanteling zich met het verstrijken van tijd steeds verder doorzetten, waardoor de kans toeneemt dat gedurende de onttrekkingfase relatief koud water wordt onttrokken uit het onderste deel van het watervoerende pakket.

Het proces van het kantelen van het thermisch front en de ontwikkeling van de bodemtemperatuur rond de warme bron gedurende het eerste jaar is in beeld gebracht in figuur 4.1. In de eerste 90 dagen is sprake van de opslag van warmte met een constant debiet (injectieperiode). Vervolgens staat het systeem gedurende 90 dagen uit (opslagperiode), waarna de warmte in 90 dagen weer wordt onttrokken (onttrekkingsperiode). Links is het standaardscenario weergegeven en rechts hetzelfde scenario, maar nu met een hogere permeabiliteit. Duidelijk is dat de kanteling bij een hogere doorlatendheid sneller optreedt en dat het opslagrendement daardoor lager zal zijn.



Figuur 4.1 Kanteling van het thermisch front en de ontwikkeling van de bodemtemperatuur rond de warme put gedurende de eerste 270 dagen van het eerste jaar (90 dagen injectie met een constant debiet, 90 dagen opslag en 90 dagen onttrekking).



Figuur 4.2 De invloed van de permeabiliteit op de kantelhoek. Links bij een injectie temperatuur van 90°C en rechts bij 55°C. Dwarsdoorsneden tonen de situatie na 180 dagen aan het einde van de opslagperiode, voor aanvang van de productieperiode. Van boven naar beneden met horizontale permeabiliteiten van respectievelijk 15, 52 en 175 Darcy.

De twee factoren die de grootste invloed hebben op de kanteling van het thermisch front, zijn de infiltratietemperatuur en de doorlatendheid. In Figuur 4.2 is te zien dat kanteling bij 90°C (links) veel sneller plaatsvindt dan bij een infiltratietemperatuur van 55°C, waardoor bij 90°C meer koud omgevingswater wordt onttrokken in het onderste deel van het filter.

De permeabiliteit van het watervoerend pakket heeft vergelijkbare invloed: bij een grotere permeabiliteit kan de kanteling van het thermisch front sneller optreden. Hierbij is zowel de horizontale permeabiliteit als de verticale permeabiliteit van belang.

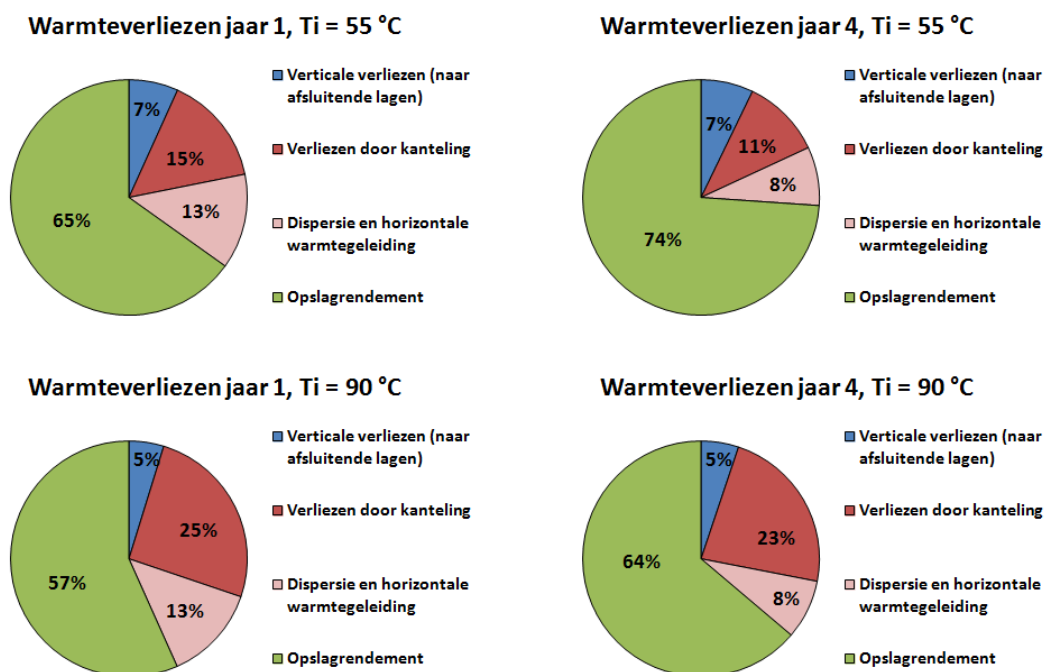
Ook het geïnjecteerde volume aan water kan samen met de dikte van het gebruikte watervoerende pakket een grote invloed hebben op het opslagrendement. Een groter volume zorgt voor een gunstigere verhouding tussen de oppervlakte van de warme bel en het volume, waardoor de verliezen als gevolg van warmtegeleiding afnemen. Elk volume heeft een optimale verhouding tussen de hoogte en de thermische straal van de bel. Bij een kleinere hoogte neemt de straal van de bel toe, waardoor ook het contactoppervlak tussen de warme bel en de scheidende lagen toeneemt en dus ook de daaraan gekoppelde verliezen door warmtegeleiding naar de scheidende lagen. Bij een grotere hoogte neemt de straal van de bel af, waardoor de zijwaartse oppervlakte van de bel toeneemt en ook de daaraan gekoppelde verliezen in horizontale richting (kanteling, dispersie, horizontale warmtegeleiding). Bij een te dik pakket of een te klein volume zal kanteling dicht bij de put plaatsvinden en zal daardoor meer koud water worden onttrokken tijdens de onttrekkingsperiode.

In mindere mate zijn de warmtecapaciteit, warmtegeleidingcoëfficiënt en dispersiviteit van zowel het watervoerende pakket als de scheidende lagen van belang. Alleen als extreme waarden worden aangenomen is er een duidelijke verandering van het opslagrendement.

Uit de resultaten van de modelstudie is afgeleid welke processen bij hogetemperatuuropslag ( $>50^{\circ}\text{C}$ ) de grootste warmteverliezen veroorzaken (zie figuur 4.3). Hieruit blijkt dat de kanteling van het thermisch front, welke wordt veroorzaakt door de dichtheidsstroming, bij hoge temperaturen veruit het belangrijkste proces is.

Uit de modelstudie blijkt dat in het standaard scenario (injectietemperatuur van  $90^{\circ}\text{C}$ ) de warmteverliezen door vrije convectie (kanteling) 25% van de totale hoeveelheid geïnjecteerde warmte bedraagt in het eerste jaar en 23% in het vierde jaar. Verticale geleiding (door de scheidende lagen) en horizontale geleiding en dispersie zijn aanzienlijk minder belangrijk. Gelijktijdig neemt het opslagrendement toe van 57% in het eerste jaar naar 64% in het vierde jaar. Dit kan worden toegeschreven aan het opwarmen van de omgeving. Na het vierde jaar is een evenwichtssituatie bereikt.

Bij het opslaan van water op een temperatuur van  $55^{\circ}\text{C}$  zijn de verliezen door kanteling kleiner dan bij  $90^{\circ}\text{C}$  en is het opslagrendement groter. Ook hierbij zorgt de kanteling voor de grootste warmteverliezen.



Figuur 4.3 Het aandeel in de warmte verliezen van verschillende processen in het eerste en het 4<sup>e</sup> jaar bij een injectie temperatuur van 90 en  $55^{\circ}\text{C}$  voor het standaardscenario.

### 4.3 Inschatting opslagrendement

Met de kennis uit de literatuur en de resultaten van de modelstudie is een methode ontwikkeld voor het inschatten van het thermisch opslagrendement gebaseerd op de factoren die hierop de grootste invloed uitoefenen. Hierbij is voortgebouwd op werk van Gutierrez-Neri (2011). In dit onderzoek werd al aangetoond dat het opslagrendement bij hogetemperatuuropslag een sterke correlatie vertoont met het dimensieloze Rayleigh getal, en dat de relatie tussen beide een exponentiële vorm aanneemt.

Het Rayleigh getal is een maat voor de relatieve sterkte van warmtestroming onder invloed van de processen vrije convectie en warmtegeleiding. Daar vrije convectie het grootste aandeel in warmteverliezen heeft bij hogetemperatuuropslag is de in dat onderzoek waargenomen correlatie tussen het Rayleigh getal en het opslagrendement niet verwonderlijk.

Voor deze studie is de relatie tussen beide in eerste instantie onder de loep genomen en vervolgens aangepast zodat deze geschikt is voor het inschatten van het opslagrendement. Hiervoor is een groot aantal scenario's doorgerekend met HSTWin-2D (radiaal-symmetrisch model). In deze scenario's is bewust voor gekozen om die variabelen te variëren waarvan uit het eerste deel van het onderzoek is gebleken dat zij de grootste invloed op het rendement hebben. Een drietal aanpassing aan het Rayleigh getal is nodig om te compenseren voor de factoren die niet in het Rayleigh getal zijn opgenomen, maar wel invloed hebben op het rendement. Deze factoren zijn de horizontale doorlatendheid van het watervoerende pakket, het opgeslagen volume en de dikte van het watervoerende pakket. Het aangepaste Rayleigh getal,  $Ra^*$ , ziet er na deze aanpassingen als volgt uit:

$$Ra^* = 1634 \cdot \frac{\rho \cdot H^{2,5} \sqrt{\kappa_v \cdot \kappa_h} \cdot \Delta T}{\mu \cdot \sqrt{V_i}}$$

De volgende twee relaties geven de hoogste correlaties tussen dit aangepaste Rayleigh getal en het berekende opslagrendement, afhankelijk van de dikte van het watervoerende pakket (H):

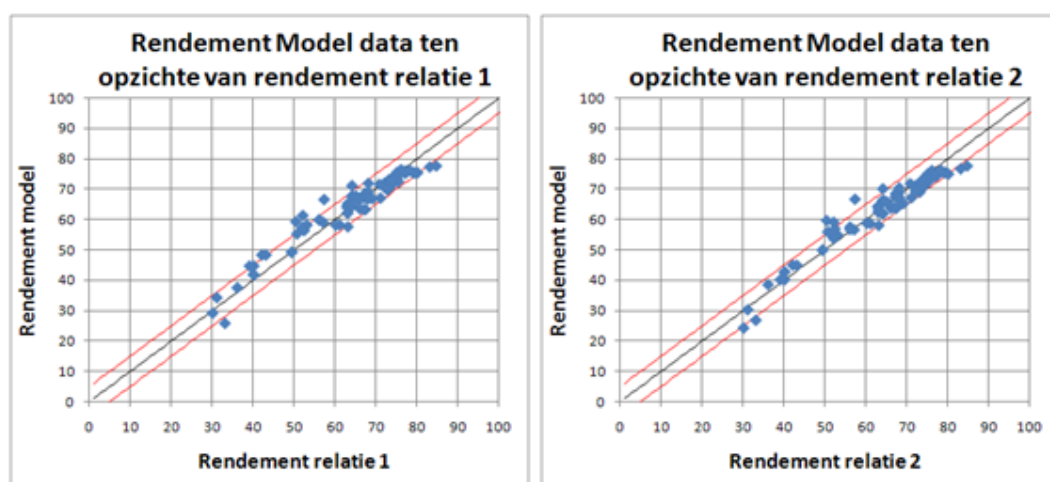
- 1: Als  $60 < H < 200 \rightarrow \varepsilon = \left(82 - \frac{170}{H^{1,2}}\right) \cdot e^{(-2,7/H^{1,7}) \cdot Ra^*}$
- 2: Als  $10 < H < 60 \rightarrow \varepsilon = \left(82 - \frac{170}{H^{1,2}}\right) \cdot e^{(-1,2/H^{1,35} + 0,0022) \cdot Ra^*}$

Deze relaties zijn in staat het opslagrendement in het vierde jaar van opslag van alle 74 gebruikte modelscenario's met een zeer lage gemiddelde afwijking te voorspellen. Het voorspelde rendement van bijna alle scenario's wijkt niet meer dan 5% af van de met HSTWin-2D berekende opslagrendementen (zie figuur 4.3). Het ontwikkelen van dergelijke relaties is niet mogelijk wanneer rekening moet worden gehouden met complexe putconfiguraties. De formules gelden dus alleen voor een systeem van een enkele put zonder interferentie met andere putten. Ook regionale grondwaterstroming is niet meegenomen.



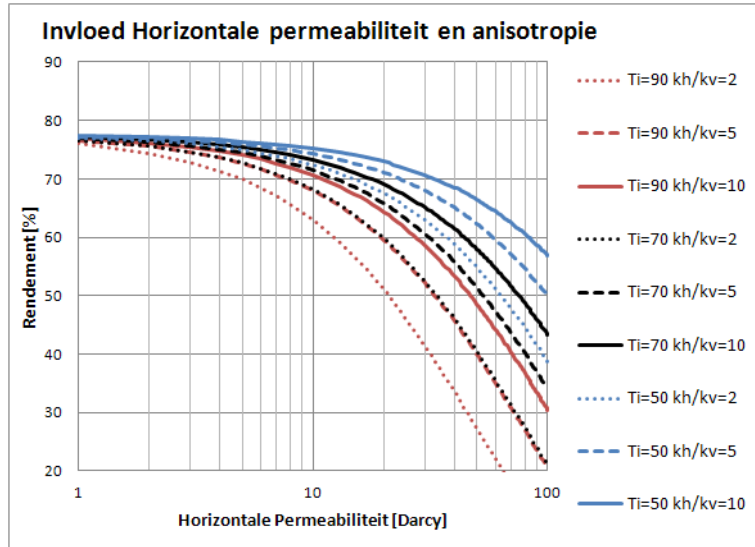
men. Hierbij wordt opgemerkt dat de invloed van de grondwaterstroming meestal zeer gering zal zijn, omdat de stroomsnelheid in de diepere, fijnzandige watervoerende pakketten - die gebruikt worden voor hogetemperatuuropslag - laag is. Verder is de methode getoetst aan een set realistische waarden voor belangrijke factoren zoals permeabiliteit, anisotropie, de vorm en het volume van de bel en de eigenschappen van de scheidende lagen. De nauwkeurigheid van de methode is niet onderzocht voor extreme scenario's.

Het voorspelde rendement kan worden gezien als een minimaal haalbare waarde. Er zijn nog mogelijkheden om het rendement te verbeteren door bijvoorbeeld de 'koude putten' nabij de warme putten te plaatsen of maatregelen te nemen om de warmteverliezen te beperken, door bijvoorbeeld alleen te onttrekken uit het bovenste deel van het bronfilter.



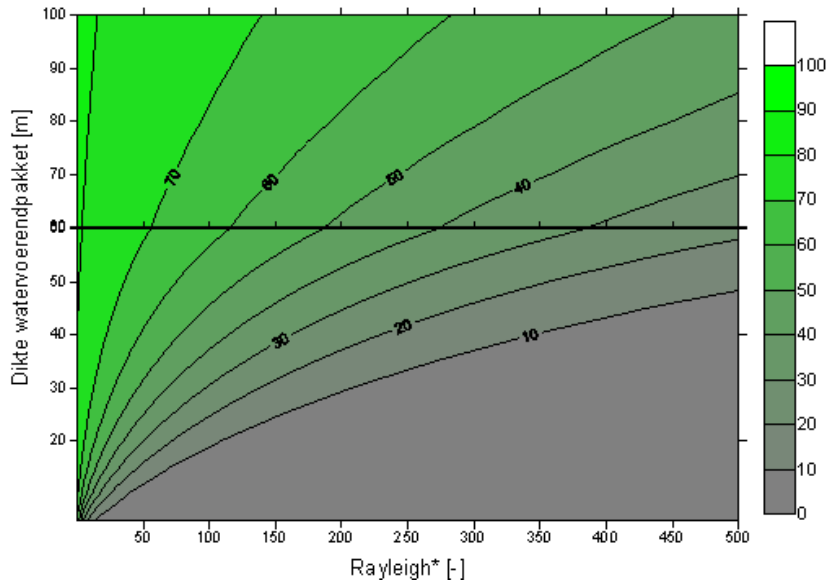
Figuur 4.4 Het door de 1<sup>e</sup> (links) en 2<sup>e</sup> relatie (rechts) voorspelde rendement, uitgezet tegen het rendement op basis van de modelberekeningen. De zwarte lijn toont de 1 op 1 relatie en de rode lijnen geven een 5% hoger dan wel lager rendement aan.

Door deze beperkingen zullen de ontwikkelde formules in de praktijk vooral van nut zijn bij het optimaliseren van een systeem in de ontwerpfase. Zonder een uitgebreide modelstudie uit te hoeven voeren, kan inzicht worden verschaft in de complexe relaties tussen de belangrijkste factoren die invloed hebben op het rendement bij hoge temperatuuropslag. Een voorbeeld hiervan is gegeven in figuur 4.5 waar de invloed van de permeabiliteit, anisotropie en injectietemperatuur op het opslagrendement in beeld zijn gebracht. Hieruit wordt afgeleid dat een lager opslagrendement kan worden "ingewisseld" voor een hogere doorlatendheid.



Figuur 4.5 De invloed van de horizontale permeabiliteit op het rendement voor variaties op het standaard scenario. Bij injectie temperaturen van 90 (rood), 70 (zwart) en 50 (blauw) en anisotropie waarden van 10, 5 (streepjes lijnen) en 2 (stippel lijnen).

Tenslotte kan met de twee formules een contourplot gemaakt worden welke het mogelijk maakt het opslagrendement direct af te lezen met behulp van de dikte van het watervoerende pakket en het aangepaste Rayleigh nummer (figuur 4.6).



Figuur 4.6 Het rendement gebaseerd op het  $Ra^*$  en  $H$ . Rechts de kleurenschaal gebruikt om het rendement weer te geven. Boven en onder de  $H = 60$  meter zijn de bijbehorende relaties gebruikt

## 5 Randvoorwaarden financiële rentabiliteit

Hogetemperatuuropslag geniet nog weinig naamsbekendheid in de markt. Het in beeld brengen van de belangrijkste financiële voorwaarden kan de toepassing van deze techniek sterk bevorderen. De financiële rentabiliteit en het vaststellen van de belangrijkste randvoorwaarden is onderzocht aan de hand van een voor dit onderzoek ontwikkeld rekenmodel.

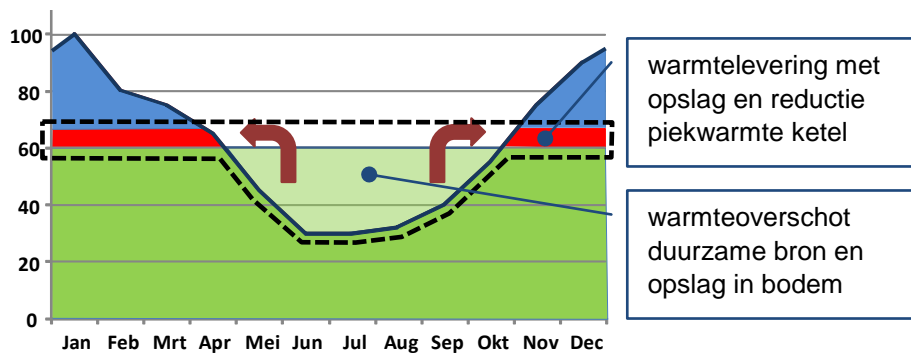
In dit hoofdstuk is de samenvatting van het onderzoek weergegeven. Het onderzoek is in zijn totaliteit beschreven in een separaat document met als titel: "Randvoorwaarden financiële rentabiliteit", Deelrapport Werkpakket IV met referentie: 26.741/61335/RW, d.d. 30 juni 2012.

### 5.1 Het rekenmodel

#### Focus onderzoek

Bij grootschalige nieuwbouw- of renovatieprojecten behoort een centrale warmtevoorziening in combinatie met een warmtenet tot de mogelijkheden voor het verwarmen van de gebouwen, woningen, bedrijfshallen e.d. De warmte wordt in dit geval centraal opgewekt en bestaat over het algemeen uit meerdere warmtebronnen (geothermie, restwarmte, bio-wkk, ketels etc.). Het uitgangspunt voor het onderzoek is dat een centrale warmtevoorziening aanwezig is. Het concept van hogetemperatuuropslag is een aanvulling op de bestaande centrale warmtevoorziening en functioneert hierbij dus als lange termijn buffer.

Het financiële onderzoek richt zich alleen op het effect van de toevoeging van hogetemperatuuropslag en de haalbare reductie van de pieklevering met de conventionele installatie, de ketel. Het onderzoek richt zich niet op de andere aspecten van de warmtevoorziening zoals het warmtenet en de duurzame bron. In figuur 5.1 is de focus van het onderzoek weergegeven met een zwart kader.



Figuur 5.1 Focus onderzoek hogetemperatuuropslag

### Analyse op marginale kosten

De economische haalbaarheid van de hogetemperatuuropslag is bepaald met behulp van een marginale kostenanalyse. Anders gezegd: Hoeveel kost elke extra opgewekte GJ met hogetemperatuuropslag en hoe groot zijn de vermeden kosten als gevolg van het minder hoeven opwekken van dezelfde GJ met aardgas en een ketel?

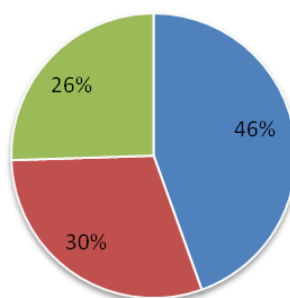
Het resultaat van de analyse is een warmteprijs in €/GJ. Deze kunnen onderling worden vergeleken om te bepalen of het interessant is om hogetemperatuuropslag toe te passen.

De warmtekosten voor de hogetemperatuuropslag worden bepaald aan de hand van:

- kapitaalslasten;
- elektriciteitskosten voor de bronpompen;
- de kosten van de warmte voor het laden van de hogetemperatuuropslag;
- onderhoud en beheer van de hogetemperatuuropslag;
- de geleverde warmte.

De onderlinge verdeling van de hogetemperatuuropslag gerelateerde kosten is in figuur 5.2 inzichtelijk gemaakt. Hierin zijn dus geen kosten voor de duurzame warmtebron verwerkt.

■ kapitaalslasten ■ onderhoud en beheer ■ energiekosten



Figuur 5.2 Gemiddelde jaarkosten hogetemperatuuropslag

Voor de referentie, de gasgestookte ketel, is het uitgangspunt dat enkel de energiekosten worden gerekend voor het bepalen van de warmtekosten per GJ. De ketel blijft noodzakelijk voor de centrale warmtevoorziening en als back-up. De kapitaallast en de kosten voor onderhoud en beheer van de ketel zijn in de variant met en zonder hogetemperatuuropslag gelijk.

### Het rekenmodel

Om de belangrijkste financiële randvoorwaarden en gevoeligheden te kunnen bepalen voor een rendabele toepassing van hogetemperatuuropslag is een generiek rekenmodel opgezet. In het model kunnen diverse ontwikkelingen uit de gebouwde omgeving worden ingevoerd:

- Woningbouw (appartementen, woningen, nieuwbouw of bestaande bouw)
- Utiliteit (nieuwbouw of bestaande bouw);
- Bedrijventerreinen (kantoren en hallen).

Met het rekenmodel kan worden onderzocht of het vanuit economisch oogpunt interessant is om hogetemperatuuropslag toe te passen voor een bepaalde ontwikkeling. Het resultaat is op quickscanniveau en kan aanleiding geven om de haalbaarheid van hogetemperatuuropslag in meer detail te onderzoeken. De berekende resultaten zijn niet geschikt voor het maken van investeringsbeslissingen. Projectspecifiek onderzoek is te alle tijden noodzakelijk.

## 5.2 Financiële randvoorwaarden hogetemperatuuropslag

De rentabiliteit van HTO blijkt af te hangen van een groot aantal parameters. De parameter met de grootste invloed is het opslagrendement. Het opslagrendement is afhankelijk van de bodemparameters en daarmee zeer locatie specifiek (zie hiervoor ook hoofdstuk 4).

Als voorbeeld is de bodemopbouw in Gorinchem gebruikt. De gepresenteerde rendementen in dit onderzoek zijn dan ook niet representatief voor andere locaties. De analyse is echter daarvoor bedoeld om de invloedsfactoren op de financiële haalbaarheid van hogetemperatuuropslag inzichtelijk te maken. Een hoger of lager rendement is hierbij minder van belang.

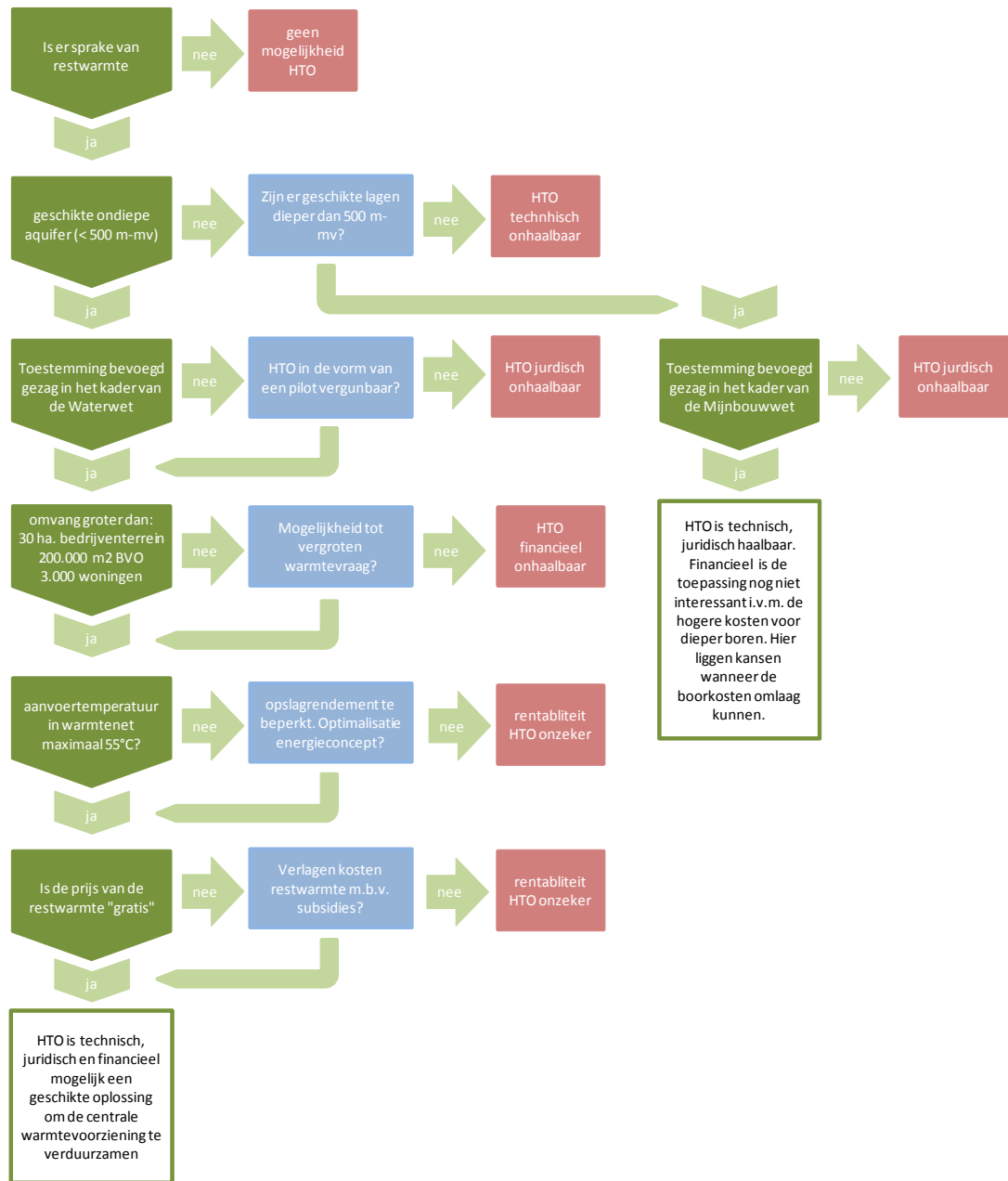
Het is essentieel dat het nuttige opslagrendement voldoende hoog is. Voor een voldoende hoog nuttig opslagrendement is het belangrijk dat:

- er een laag met voor HTO geschikte eigenschappen aanwezig is:
  - o voldoende dik
  - o relatief hoge omgevingstemperatuur
  - o beperkte permeabiliteit
- de leveringstemperatuur van het warmtenet maximaal 55°C is
- het warmtenet voldoende groot is (het exacte aantal is locatie afhankelijk):
  - o minimaal ongeveer 3.000 tot 4.000 woningen
  - o minimaal ongeveer 30 tot 40 hectare bedrijventerrein
  - o minimaal 250.000 tot 300.000 m<sup>2</sup> kantoren

- er een groot overschot is aan goedkope duurzame warmte in de zomer (oplopend in kosten):
  - restwarmte van een bio-wkk
  - geothermische warmte
  - restwarmte van de industrie

In een beperkt aantal situaties kan hogetemperatuuropslag, met bovenstaande uitgangspunten, concurreren met de opwekking van warmte met een cv-ketel. Dit is met name het geval voor grote bedrijventerreinen of voor combinaties van bedrijventerreinen met (een beperkte hoeveelheid) woningen of kantoren. Het is wel de verwachting dat de rentabiliteit van hogetemperatuuropslag naar de toekomst toe zal verbeteren. Enerzijds omdat het te verwachten is dat energieprijzen zullen stijgen en anderzijds doordat door het opbouwen van ervaring met geothermie de investeringskosten kunnen gaan dalen. Daarnaast zullen ook stimuleringsmaatregelen zoals de SDE en CO<sub>2</sub>-credits helpen om de haalbaarheid te vergroten.

Bovenomschreven conclusies zijn vertaald naar een beslisboom. Deze is in figuur 5.3 weergegeven.



Figuur 5.3 Voorbeeld beslisboom bedrijventerrein

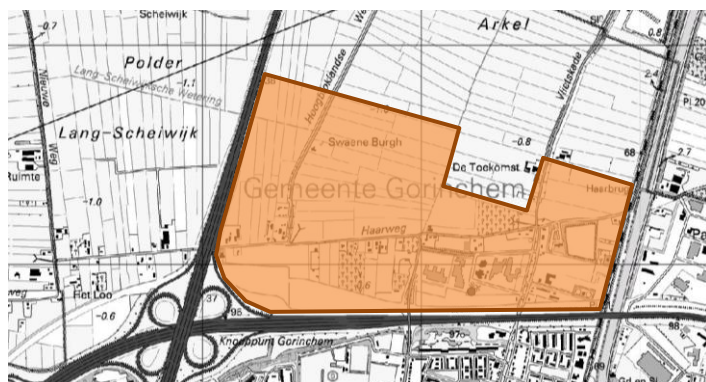
## 6 Pilotprojecten

### 6.1 Gorinchem

In deze paragraaf is de haalbaarheidsstudie naar hogetemperatuuropslag in de bodem voor de pilot Gorinchem samengevat. Het onderzoek is in zijn totaliteit beschreven in een separaat document met als titel: “Haalbaarheidsstudie hogetemperatuuropslag in de bodem voor de pilot Gorinchem” met referentie: 26.740/61335/RW, d.d. 30 juni 2012.

#### De Groote Haar

De gemeente Gorinchem is bezig met de ontwikkeling van een nieuw bedrijventerrein “de Groote Haar”. Het bedrijventerrein heeft een oppervlakte van circa 40 hectare en wordt ontwikkeld in het noorden van Gorinchem langs de A27 (zie figuur 6.1).



Figuur 6.1 Locatie bedrijventerrein de Groote Haar

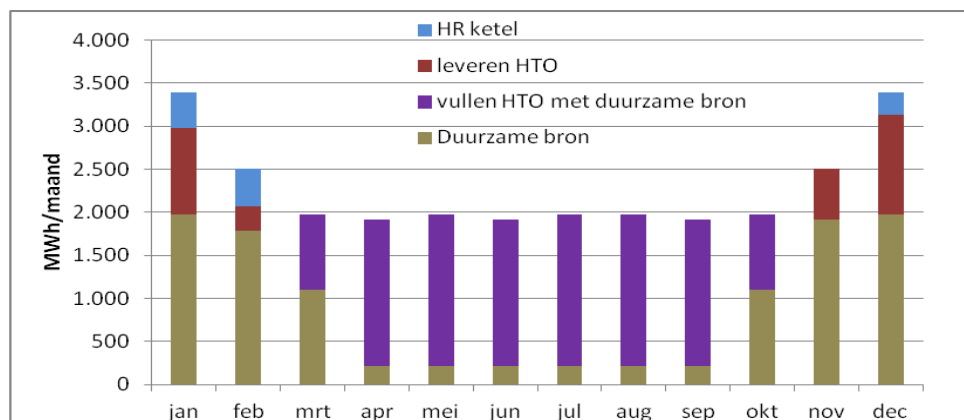
De gemeente heeft het voornemen om het bedrijventerrein duurzaam te ontwikkelen. Om invulling te geven aan deze ambitie wordt overwogen om in samenwerking met het energie- en afvalnutsbedrijf HVC een centrale warmtevoorziening te realiseren voor het verwarmen van de gebouwen. De voorziening zal bestaan uit een met biogas gestookte warmtekrachtcentrale (wkk), een gasgestookte ketel en een warmtenet.

Om het aanbod van warmte uit de centrale optimaal af te kunnen stemmen met de warmtevraag van het bedrijventerrein is seizoensmatige opslag wenselijk. De gemeente Gorinchem is daarom geïnteresseerd in de mogelijkheden voor warmtebuffering met behulp van hogetemperatuuropslag in de bodem.



## De centrale warmtevoorziening

In figuur 6.2 is de warmtelevering met de centrale warmtevoorziening weergegeven.



Figuur 6.2 Warmteopwekking en -levering voor de Groote Haar

De bio-wkk wordt ingezet voor het leveren van de basislast warmte. In de zomermaanden wordt de bio-wkk ingezet voor het opwekken van elektriciteit. De warmte in de zomer kan niet worden benut en wordt opgeslagen in de bodem met een temperatuur van 90°C (paarse kolommen). De opgeslagen warmte wordt in de winter gebruikt om de warmtelevering met de conventionele gasgestookte ketel te reduceren. Het thermisch opslagrendement van de warmte bedraagt 25%. De piekketel wordt ingezet voor het leveren van warmte wanneer de combinatie bio-wkk en hogetemperatuuropslag niet toereikend is.

### Het milieuvoordeel

Toepassing van hogetemperatuuropslag resulteert in een aanzienlijke besparing. Het aardgasverbruik van de piekketel wordt gereduceerd met circa 275.000 m<sup>3</sup> per jaar, een besparing van 53%. De jaarlijkse besparing op de uitstoot van CO<sub>2</sub> is 500 ton (54%). De absolute besparing van hogetemperatuuropslag op de totale warmtelevering van de centrale is beperkt.

### De kosten

De totale investeringen van de hogetemperatuuropslag bedragen € 580.000,- (exclusief BTW en inclusief ontwerp en advieskosten). De jaarlijkse exploitatiekosten zijn geraamd op € 62.000,-. De warmtekosten voor het leveren van warmte met de hogetemperatuuropslag zijn 10,4 €/GJ. De warmtekosten voor het leveren van warmte met de ketel zijn 10,2 €/GJ. De hogetemperatuuropslag is daarmee iets duurder dan de ketel. Het perspectief voor de toepassing van hogetemperatuuropslag is echter goed wanneer ook rekening wordt gehouden met: inkomsten uit vermeden CO<sub>2</sub> emissies en stijgende energieprijzen.

### Waterwet

De hogetemperatuuropslag kan worden toegepast in de formatie van Maassluis op een maximale diepte van 200 m-mv. Het onttrekken en infiltreren van grondwater op deze diepte is vergunningplichtig in het kader van de Waterwet. Het concept hogetemperatuuropslag is in conflict met de vergunningvoorschriften en daarom in principe niet ver-

gunbaar, zie hiervoor hoofdstuk 4. Dit vormt het belangrijkste aandachtspunt. De provincie kan echter afwijken van het beleid. Overleg hierover is noodzakelijk.

## 6.2 Zutphen

In de gemeente Zutphen vindt duurzame herstructurering van het bedrijventerrein De Mars plaats. Het voornemen bestaat om de warmtevoorziening van de aanwezige industrieën, de geplande nieuwbouwlocaties aan de zuidkant van de Mars en het centrumgebied van Zutphen duurzaam in te vullen door de aanleg van een warmtenet.

In eerste instantie was de gedachte om voor de duurzame energieproductie voor het warmtenet gebruik te maken van restwarme van slibverwerkingsbedrijf GMB. Hogetemperatuuropslag in de bodem kan een oplossing zijn om de ongelijktijdigheid tussen warmtevraag en aanbod ondergronds te bufferen.

Tijdens de aanbesteding is het concept veranderd waardoor er geen sprake is van restwarmte. Toepassing van hogetemperatuuropslag heeft daardoor geen toegevoegde waarde in het concept. Door de koersverandering van de gemeente Zutphen is het onderzoek naar de toepassing van hogetemperatuuropslag voor de Mars niet uitgevoerd.

In overleg met de gemeente Zutphen wordt momenteel gekeken naar een andere insteek van het onderzoek of een andere projectlocatie om de mogelijkheden van hogetemperatuuropslag voor de gemeente Zutphen te onderzoeken.

## 6.3 Glastuinbouw

### Inleiding

In deze paragraaf is het onderzoek van DLV Glas & Energie naar hogetemperatuuropslag voor de glastuinbouw samengevat. Het onderzoek is in zijn totaliteit beschreven in een separaat document van DLV Glas & Energie met als titel: "Pilot Glastuinbouw", hogetemperatuuropslag voor de glastuinbouw, met referentie: 61335/RW, d.d. 30 juni 2012.

### Inventarisatie

In Nederland zijn meer dan duizend projecten waarbij met aquifers wordt gewerkt. In bijna alle gevallen wordt een maximum opslagtemperatuur van 25°C aangehouden. Vanuit wetgeving is een hogere opslagtemperatuur meestal niet toegestaan. In fase 1 wordt de stand van zaken met betrekking tot de huidige aquifers in de glastuinbouw weergegeven.

Er zijn drie veel voorkomende situaties in de glastuinbouw waarvoor aquifers worden gebruikt:

1. Ten eerste voor het invullen van koudevraag voor koeling van grond ten behoeve van bloeisturing bij gewassen zoals Fresia, Amaryllis, Iris en Alstroemeria. Hier gaat het om beperkte vermogens van circa  $30 \text{ W/m}^2$  waarvoor relatief lage watertemperaturen van  $10\text{-}12^\circ\text{C}$  nodig zijn.
2. Ten tweede worden aquifers gebruikt voor koeling van kaslucht ten behoeve van bloeisturing voor gewassen zoals orchidee. Hier gaat het om vermogens van  $100\text{-}200 \text{ W/m}^2$  met een watertemperatuur van  $10\text{-}15^\circ\text{C}$ .
3. Ten derde worden aquifers gebruikt voor koeling van kaslucht voor het behalen van een betere kwaliteit en productie bij gewassen zoals, tomaat, komkommer, roos, gerbera en aardbei. Het benodigde koelvermogen hiervoor is veel groter. Hoe groot is afhankelijk van de mate van koeling. Bij semi-gesloten kassen  $200 \text{ W/m}^2$  en bij volledig gesloten kas (zonder luchtramen)  $700 \text{ W/m}^2$ . In deze situatie worden watertemperaturen van  $10\text{-}26^\circ\text{C}$  gebruikt.



Figuur 6.3 Impressie van een teelt

Totaal gaat het om een geschat areaal van 222 ha op dit moment (3%). Het areaal wat in de toekomst met aquifer gaat werken is ingeschat op maximaal 5312 (79%).

Er zijn in de glastuinbouw diverse systemen om warm water in een aquifer op te slaan.

Het water kan afkomstig zijn uit:

- de grondkoeling of betonvloer koeling;
- kaslucht koeling;
- lage temperatuurwarmte uit warmtekrachtinstallaties.

### Knelpunten

Knelpunten die ontstaan bij aquifers voor energieopslag zijn de hoge investeringskosten doordat meestal in diepere lagen geboord moet worden, omdat de ondiepere lagen vaak voor drinkwaterwinning worden gebruikt. Verder is ook de temperatuur van maximaal  $25^\circ\text{C}$  een probleem omdat deze temperatuur niet rechtstreeks gebruikt kan worden voor verwarming. Indirecte benutting via een warmtepomp is vaak te laag omdat de temperatuurtrap (verschil tussen brontemperatuur en de gewenste temperatuur van de verwarming) te groot wordt. De COP van de warmtepomp is dan te laag, waardoor het rende-

ment van de gehele installatie te laag is. Er moet ook meer water worden rondgepompt, waardoor grotere pompinstallaties en bronnen nodig zijn. Dit zorgt voor grotere investeringskosten en meer elektraverbruik om het water rond te pompen. Vooral door de hoge investeringskosten zijn de terugverdientijden vaak te lang, waardoor projecten niet door gaan.

In de glastuinbouw wordt momenteel veel gesproken over “het nieuwe telen” waarbij met veel lagere watertemperaturen (25°C in plaats van 35°C) vochtafvoer kan plaatsvinden. Echter ook dan geldt nog dat installaties zoals warmtewisselaars kleiner en goedkoper kunnen worden uitgevoerd als er warmer water beschikbaar is. Er kan dus worden gesteld dat de huidige regelgeving voor opslag van energie tot 500 m diepte met betrekking tot de maximale watertemperatuur van 25°C die in de bodem mag worden opgeslagen beperkend werkt voor toepassing van duurzame energie in de glastuinbouw.

### **Hogetemperatuuropslag in de glastuinbouw**

De COP van een hogetemperatuuropslag installatie is afhankelijk van de volgende factoren:

- het pompvermogen;
- de opslagtemperatuur;
- de benuttingstemperatuur;
- de warmteverliezen.

Hierbij is het afgiftesysteem in de kas cruciaal in het totaalconcept van de hogetemperatuuropslag. In het algemeen geldt dat afgiftesystemen die werken bij een lage temperatuur (< 40°C) en een hoge bedrijfstijd de voorkeur hebben. Om de laagwaardige warmte uit de hogetemperatuuropslag goed te kunnen distribueren is het noodzakelijk dat dit vanuit een centraal punt kan gebeuren. Laagwaardige verwarmingsnetten in de kas dienen daarom met een gescheiden transportleiding te worden gevoed. De warmte uit aquifer of warmtepomp (lage temperatuur) moet bij voorrang in het systeem worden ingezet.

Bij de haalbaarheid van hogetemperatuuropslag zijn drie factoren doorslaggevend. Deze zijn:

- het verlies over het systeem;
- de investering;
- de kosten van de warmte die gebruikt wordt om de aquifer te vullen.

De exploitatiekosten van de hogetemperatuuropslag bestaan uit boorkosten, pompenergie en onderhoud. Goedkope warmte moet beschikbaar zijn om de hogetemperatuuropslag te vullen, vooral wanneer de warmteverliezen tijdens opslag aanzienlijk zijn. Het rendement wordt beter naar mate de afgifte temperatuur lager wordt.

## Opties

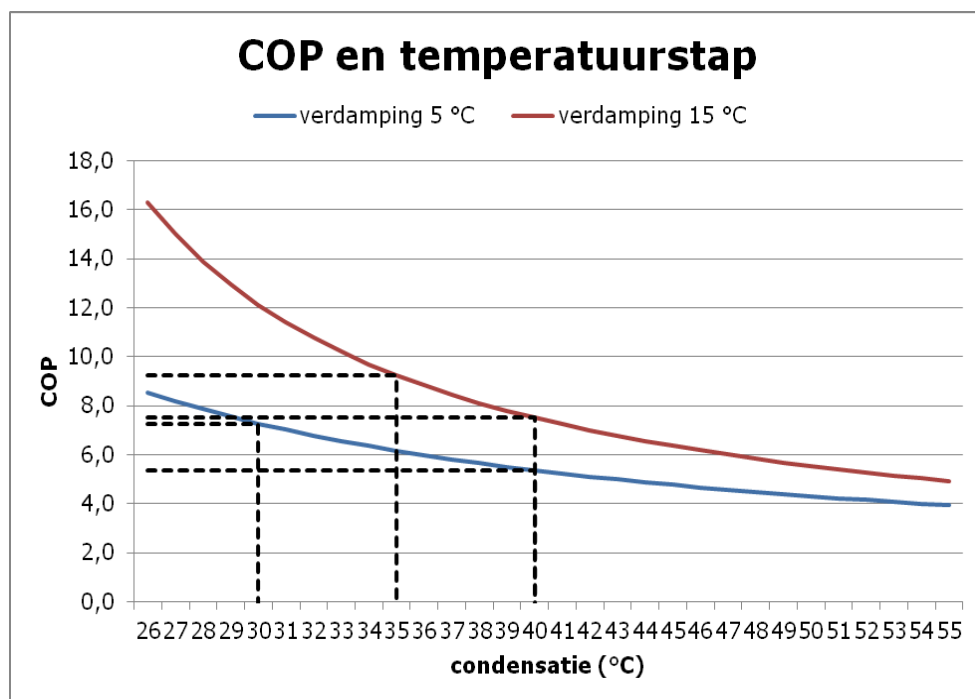
In het onderzoek is de haalbaarheid van hogetemperatuuropslag onderzocht door 6 opties met elkaar te vergelijken.

1. Hierbij is als referentie (optie 1) een glasgroenteteeltbedrijf van 6,5 ha zonder assimilatiebelichting met warmtekrachtinstallatie die voorziet in warmte en CO<sub>2</sub> gekozen. De vraag naar warmte, elektriciteit en CO<sub>2</sub> is voor alle varianten aan elkaar gelijk gesteld.
2. In optie 2 is daarnaast ook nog een warmtepomp met opslag in de bodem op 25°C met een capaciteit van 40 m<sup>3</sup>/uur waarin warmte van een 2<sup>e</sup> trap condensor van de warmtekrachtinstallatie wordt opgeslagen. De condensor wordt gekoeld met bronwater (5-10°C), hierdoor kan alle warmte die normaal als waterdamp de lucht in gaat worden terug gewonnen. In de winter wordt deze warmte uit de bron onttrokken en via een warmtepomp opgewaardeerd naar 50°C voor verwarming van de kas. Op jaarbasis draait de warmtekrachtinstallatie een gelijk aantal uren. De ketel hoeft in de winter minder ingezet te worden voor het opvangen van pieken. In de zomer kan meer CO<sub>2</sub> gedoseerd worden omdat de LT warmte dan niet direct wordt gebruikt.
3. Optie 3 is gelijk aan optie 2, alleen nu wordt de warmte met een temperatuur van 35°C opgeslagen. Het verhogen van de opslag temperatuur betekent dat meer energie in de zelfde aquifer kan worden opgeslagen. Bovendien zal de COP tijdens het onttrekken in de winter hoger zijn omdat de temperatuursprong van 35°C naar 50°C veel kleiner is dan van 25°C naar 50°C. De COP verbetert hierdoor van 5,5 naar 7.
4. In optie 4 is de bron en de warmtepomp gelijk aan optie 2 en 3. Door de verhoogde opslagtemperatuur is hier ook gerekend met een COP van 7. Aanvullend liggen er ook nog zonnecollectoren op het dak van de loods. Bij deze optie kan de warmtepomp circa 30% meer uren maken, omdat extra zonnewarmte vanaf de bedrijfsruimte is opgeslagen in de bodem. Hierbij is gerekend met 2.000 m<sup>2</sup> collectoroppervlak en een opbrengst van 350 kWh thermisch per jaar per m<sup>2</sup>. De hoeveelheid zonnewarmte is circa 3,5% op de totale warmtevraag. Het volume is te klein om alleen hiervoor een hogetemperatuuropslagsysteem aan te leggen. Er is daarom voor gekozen dit systeem te combineren met een tweede trap condensor achter de warmtekracht (optie 2 en 3). Extra voordeel van dit systeem is dat de collectoren ook warmte van een hogere temperatuur kunnen leveren. Als de warmtevraag bijvoorbeeld in de nacht hoog is en overdag schijnt de zon, dan kan de zonnewarmte zonder tussenkomst van de warmtepomp ingezet worden. In de berekening is dit niet mee genomen.
5. In optie 5 wordt een grotere warmtekrachtinstallatie met opslag van 70°C op 300 m diepte doorgerekend. Door het kiezen van een grotere warmtekrachtinstallatie ontstaat een situatie waarbij alle energie door een warmtekracht geleverd wordt. De overtollige warmte, welke in de zomer vrijkomt om te kunnen voorzien in de volledige CO<sub>2</sub> vraag, wordt op 70°C opgeslagen in de bodem. In de winter is deze warmte direct toepasbaar in de kas. De berekening is gebaseerd op 60% direct gebruik van warmtekrachtwarmte, de overige 40% is indirect via het HTO systeem beschikbaar. Bij een verlies van 40% op de opgeslagen warmte komt het totaal verlies op het systeem uit op 16%. Er is uitgegaan van een systeem met hogetemperatuuropslag op een diepte van circa 300 m. Het opslagrendement bij 70°C en een jaarvolume van circa 10.000 MWh is geschat op 60%. Naarmate de buistemperatuur in de kas hoger is en dus ook de retourwatertemperatuur, kan de bron minder ver terug worden gekoeld. De afkaptemperatuur wordt eerder bereikt en dit resulteert in een lager opslagrendement van de aquifer. In de gevoeligheidsanalyse is in het onderdeel "verlies

HTO" zichtbaar gemaakt wat 50% extra verlies voor invloed heeft op het rendement en de terugverdiëntijd.

- In optie 6 wordt aardwarmte van derden gebruikt in combinatie met opslag 70°C op een diepte van 300 m. Er wordt aangenomen dat er vanuit een aardwarmteproject warmte wordt aangeboden met een vermogen van 2 MW<sub>t</sub> gedurende het hele jaar. De warmtebehoefte en een groot deel van de CO<sub>2</sub> vraag wordt ingevuld met een warmtekrachtinstallatie van 2 MW. Aanvullend wordt aardwarmte ingezet, 40% direct en 60% via HTO.

Op dit moment is "het nieuwe telen" in opkomst. Dit betekent dat er door een extra horizontaal beweegbaar scherm en meer scherm-uren in de winter, minder energie verbruikt wordt dan bij conventionele bedrijven het geval is. Daarnaast is door de ontvochtiging van de kaslucht door de warmtewisselaar, die aan de gevel buitenlucht mengt en eventueel bijverwarmd, ook gedurende de rest van het jaar besparing omdat er minder of geen minimum buis nodig is om het gewas te activeren. Omdat de verwachting is dat deze techniek de komende jaren meer zal worden toegepast, zijn er ook berekeningen gedaan voor "het nieuwe telen". Het gasverbruik daalt hierbij naar 23 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> (aardgasequivalenten). Bij "het nieuwe telen" kan er een hogere COP worden gehaald met de warmtepomp. In onderstaande grafiek is dit zichtbaar gemaakt.



Figuur 6.4 COP van de warmtepomp

Het verschil van de COP is duidelijk zichtbaar in figuur 6.4 als condensatietemperatuur 10°C wordt verlaagd van 40 naar 30°C (blauwe lijn). De COP verbetering is dan circa 2 punten. Deze COP verbetering wordt meegenomen bij de onderstaande opties met warmtepomp.

7. In optie 7 is de referentie aangepast naar het verbruik van 23 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. In de berekeningen is er vanuit gegaan dat deze bedrijven een kleinere WKK, warmtepomp en aquifer toepassen.
8. In optie 8 is voor “het nieuwe telen” gekeken naar het voordeel van een warmtepomp bij een aquifer die maximaal 25°C is.
9. In optie 9 is voor “het nieuwe telen” gekeken naar het voordeel van een warmtepomp bij een aquifer die maximaal 35°C mag worden.

### Resultaten

Uit de berekeningen blijkt dat de jaarkosten van optie 2 wat hoger liggen dan in het referentiebedrijf. De terugverdientijd van warmtepomp en aquifer met vultemperatuur van 25°C is met 7,1 jaar erg lang. Als de vultemperatuur van de aquifer met 10°C wordt verhoogd naar 35°C (optie 3), wordt de terugverdientijd 3 jaar korter naar een aanvaardbaar niveau van 4,4 jaar. De jaarkosten van deze optie komen als enige uit onder de jaarkosten van de referentie (optie 1).

In optie 4, waarbij extra warmte uit de zonnecollectoren van de loods in de aquifer wordt opgeslagen, stijgen de jaarkosten boven de jaarkosten van de referentie en is de terugverdientijd 9,8 jaar en dus erg lang. De extra investering in de zonnecollectoren wordt niet terugverdiend. Ook optie 4 met de grotere wkk in combinatie met de aquifer van 70°C kent een hoge investering, waarbij de terugverdientijd langer dan 10 jaar wordt en daarmee te lang.

In optie 6 wordt aardwarmte door derden geleverd in combinatie met opslag in de bodem op 70°C. De investeringskosten zijn wel laag voor deze optie, maar de jaarkosten worden te hoog door de hogere variabele kosten t.o.v. de referentie ondanks dat de inkooprijis voor de warmte laag is ingerekend.

Optie 2 en 3 geven bij een conventionele teelt het beste rendement ten opzichte van de referentie. Bij “het nieuwe telen” verbetert de COP van de warmtepomp doordat de watertemperatuur die naar de kas gaat gemiddeld 10°C lager is. Voor optie 8 stijgt de COP van 5,5 naar 7,2 en voor optie 9 van 7,0 naar 9,0. Door de lagere watertemperatuur die voor de verwarming van de kas nodig is, is het voordeel van de hogere watertemperatuur van de aquifer dan ook minder groot. Wel is er nog steeds een voordeel van circa € 0,25/m<sup>2</sup> kas ten opzichte van € 0,53/m<sup>2</sup> bij de conventionele teelt. Door de lagere investeringskosten is terugverdientijd met 6 jaar voor optie 8 en 4,2 jaar voor optie 9 vergelijkbaar met die van optie 2 en 3 voor de conventionele groenteteelt.

### Conclusies

Er wordt geconcludeerd dat het verhogen van de opslag temperatuur met 10°C kosteneffectief is. De verbetering in COP is hierbij de belangrijkste besparing. Bovendien blijft het verlies van warmte aan de bodem beperkt.



Het verhogen van de opslagtemperatuur naar 70°C levert een groot verlies aan warmte aan de bodem op, dit verlies zal moeten worden goedgemaakt door opslag van goedkope (rest) warmte. De kansen voor dit systeem zijn het grootste als een beperkt deel van de warmtevraag hiermee wordt ingevuld. Door verlies aan warmte in de hogetemperatuuropslag en door de relatief hoge kostprijs van aardwarmte is deze opzet op dit moment te duur.

Doordat hogetemperatuuropslagssystemen gecombineerd worden met andere warmtebronnen is het benodigde debiet beperkt tot 20-60 m<sup>3</sup>/uur op een bedrijf van 6,5 ha. Dit is gunstig omdat het behalen van een beperkt debiet in veel delen van het land goed mogelijk is. Met hogetemperatuuropslag kan een grote delta T behaald worden. Dat is gunstig voor het elektriciteitsverbruik. Bij ondiepe bronnen met een beperkte capaciteit wordt de elektriciteitskosten marginaal.

## **Analyse landelijk potentieel hogetemperatuuropslag in de glastuinbouw**

### **Trend Glastuinbouw**

Door de hoge gasprijs en de relatief lage elektraprijs is er een tendens om de WKK minder te laten draaien omdat er minder mee kan worden verdiend (lage sparksread). Hierdoor komen er meer mogelijkheden om andere energiebronnen in te zetten om lagere energiekosten te kunnen realiseren.

Door de opkomst van “het nieuwe telen” bij vooral de glasgroentebedrijven daalt het energieverbruik per m<sup>2</sup> waardoor de WKK ook kleiner kan worden. Voordeel bij “het nieuwe telen” is ook dat er een deel van de warmtevraag ingezet kan worden als laagwaardige warmte voor het verwarmen van de lucht die van buiten via de warmtewisselaar de kas in wordt gebracht. Ook zal door meer schermgebruik de buistemperatuur waarmee wordt gestookt lager zijn dan bij een conventionele teelt. Dit betekent dat warmtepompen en de aquifers efficiënter ingezet kunnen worden. De verwachting is dus dat er in de toekomst meer gebruik gaat worden gemaakt van warmtepomp en aquifers.

Er is ook een tendens naar steeds grotere glastuinbouwbedrijven. Vaak is de elektriciteitsaansluiting voor het terugleveren van elektra een beperkende factor voor de grootte van de wkk. Door een warmtepomp tijdens de draaiuren van een warmtekracht, ook van elektra te voorzien door de warmtekracht, kan toch een grotere warmtekracht worden toegepast of kan deze een beter rendement draaien als deze groter is gekozen dan wat maximaal kan worden teruggeleverd. Vaak moet een afweging worden gemaakt in de grootte van deze elektriciteitsaansluiting, waarbij een categorie groter onevenredig veel duurder wordt en dus vanuit economisch oogpunt voor een kleinere elektriciteitsaansluiting wordt gekozen dan op basis van de energiebalans van het bedrijf gewenst zou zijn.

Verder is de CO<sub>2</sub> uitstoot nog een belangrijk punt wat in de komende jaren wijzigt. Het merendeel van de glastuinbouwbedrijven krijgt vanaf 2013 te maken met extra kosten als er teveel CO<sub>2</sub> emissie is. Een ketel en warmtekracht verbruiken aardgas wat deze emissie doet stijgen. Door meer warmte met een warmtepomp met aquifer te leveren zal de uitstoot van CO<sub>2</sub> dalen. Dat is gunstig voor de gestelde doelstellingen voor het verlagen



van de CO<sub>2</sub> emissie. Daarnaast ook financieel gunstig voor de glastuinbouwbedrijven zelf omdat er minder voor overschrijding van de CO<sub>2</sub> emissie betaald hoeft te worden.

### Geschikte glastuinbouwbedrijven

Vooral bedrijven die veel gebruik kunnen maken van laagwaardige warmte zijn geschikt om warmte uit een aquifer te gaan gebruiken. Dat zijn naast de al genoemde bedrijven die "het nieuwe telen" toepassen ook bedrijven die op een andere manier laagwaardige warmte kunnen benutten door een groot verwarmend oppervlak in de kas. Dat zijn meer buizen of extra verwarmingsnetten die de warmte dicht bij de plant brengen zoals groeibuizen in de groenteteelt en hijsverwarming in de potplantenteelt. In de chrysantenteelt is het standaard om een lage temperatuurnet tussen het gewas te hebben. Dat net wordt maximaal op 30°C gestookt. Hetzelfde geldt voor potplantenbedrijven en plantenopkweekbedrijven met betonvloeren met daarin vloerverwarming. In deze vloerverwarming gaat ook maximaal 25°C warmte.

Bij nieuwbouw kan rekening worden gehouden met een warmtepomp en aquifer door het juiste verwarmingssysteem met voldoende verwarmend oppervlak en extra verwarmingsnetten in de kas toe te passen. Vooral als er warmte ingezet kan worden voor het verwarmen van de kas van 25°C tot 40°C is het bedrijf erg geschikt.

### Potentieel glastuinbouw Nederland

Uit de onderstaande tabel blijkt dat er nu al 222 ha over een aquifer beschikt. Dit zou kunnen stijgen naar maximaal 5.312 ha. Het totaal glasoppervlak in Nederland is ongeveer 10.000 ha.

toepassing	teelt	geschat areaal (ha)			
		totaal	gekoeld		maximaal
koeling bodem voor bloeisturing	sierteelt	180	42	23%	72 40%
koeling kaslucht voor bloeisturing	sierteelt	250	115	46%	200 80%
koeling kaslucht voor productie	groente	3.900	65	2%	3.120 80%
koeling kaslucht voor productie	sierteelt	2.400	0	0%	1.920 80%
subtotaal		6.730	222	3%	5.312 79%
overige teelten		3.594			
totaal glastuinbouw		10.324			

De berekeningen die zijn uitgevoerd zijn gebaseerd op de groep van groentebedrijven die een wkk hebben. Echter niet alleen de groentebedrijven, maar ook veel sierteeltbedrijven hebben een wkk. Uit de LEI energiemonitor 2010 blijkt dat begin 2011 op ruim 6.200 ha van het glasareaal een wkk staat (60% van het areaal).

Als we als uitgangspunt aanhouden dat de berekening op gaat voor 50% van het totale areaal, is het potentieel circa 5.000 ha. Uit de berekeningen blijkt een extra voordeel van het verhogen van de aquifertemperatuur van 25°C naar 35°C van € 0,53/m<sup>2</sup> voor conventionele bedrijven en € 0,25/m<sup>2</sup> voor bedrijven die volgens "het nieuwe telen" werken.

Waarschijnlijk zal “het nieuwe telen” de komende jaren flink gaan stijgen. Op dit moment is het aandeel echter nog laag. Het voordeel is ook niet bij alle teelten even hoog. Vooral bij teelten met veel vochtproductie en een hoog gasverbruik voor warmte is de aanpassing naar “het nieuwe telen” zinvol.

Als we ervan uit gaan dat “het nieuwe telen” tot maximaal 50% van het potentieel van 5.000 ha areaal gaat stijgen, is het gemiddelde voordeel € 0,39/m<sup>2</sup>. Voor de gehele Nederlandse glastuinbouw zou dit voordeel dan € 19.500.000,- zijn. Uitgedrukt in besparing op CO<sub>2</sub> uitstoot is er een besparing van 322.500 ton per jaar ten opzichte van de referentie (6,6%). Daarnaast zal er ook nog voordeel zijn van bedrijven die geen warmtekracht hebben, maar wel een warmtepomp en aquifer hebben. Hier is nog geen rekening mee gehouden.