# Potentieel geothermie in Zuid-Holland

# Potentieel geothermie in Zuid-Holland

Engineering the earth

# Potentieel geothermie in Zuid-Holland

**Opdrachtgever** **Provincie Zuid-Holland**
Postbus 90602
2509 LP DEN HAAG
T 070 - 4417609 | E t.haring@pzh.nl
Contactpersoon: mevrouw Tanja Haring

**Adviseur** **IF Technology bv**
Velperweg 37
Postbus 605
6800 AP ARNHEM
T 026-35 35 545| E s.deboer@iftechnology.nl
Contactpersoon: mevrouw Sanne de Boer

**Colofon**

| | |
|---|---|
| **Auteur:** | **Nick Buik \| Henk de Jonge \| Sanne de Boer** |
| Versie: | definitief |
| Gecontroleerd door: | Guus Willemsen |
| Vrijgegeven door: | Sanne de Boer |

# Inhoudsopgave


1 Introductie ..... 5
1.1 Aanleiding ..... 5
1.2 Doel ..... 6
1.3 Doel van de rapportage ..... 8
1.4 Leeswijzer ..... 8

2 Kader ..... 9
2.1 Technieken ..... 9
2.2 Wettelijk kader ..... 9
2.2.1 Mijnbouwwet ..... 10
2.2.2 Gas- en olievelden ..... 11
2.2.3 Waterwet, beschermingsgebieden en infiltratietemperatuur ..... 12
2.3 Randvoorwaarden ..... 13

3 Hogetemperatuuropslag (HTO) ..... 15
3.1 Wat is het en waar kan je het toepassen? ..... 15
3.2 Potentie in Zuid-Holland ..... 16
3.3 Kansrijke gebieden / koppeling warmtenet ..... 17

4 Ondiepe geothermie (OGT) ..... 18
4.1 Wat is het en waar kan je het toepassen? ..... 18
4.2 Potentie in Zuid-Holland ..... 20
4.3 Kansrijke gebieden / koppeling warmtenet ..... 20

5 Geothermie (GT) ..... 21
5.1 Wat is het en waar kan je het toepassen? ..... 21
5.2 Potentie in Zuid-Holland ..... 23
5.3 Indicatie aantal systemen ..... 25
5.4 Kansrijke gebieden / koppeling warmtenet ..... 27

6 Ultradiepe Geothermie (UDG) ..... 28
6.1 Wat is het en waar kan je het toepassen? ..... 28
6.2 Potentie in Zuid-Holland ..... 29
6.3 Kansrijke gebieden / koppeling warmtenet ..... 29

7 Conclusies ..... 30

8 Aanbevelingen ..... 34

Bijlage 1 Potentieelkaarten

Bijlage 2 Technische kaarten

Bijlage 3 Toelichting opstellen kaarten

# 1

# Introductie

## 1.1 Aanleiding

De provincie Zuid-Holland zet zich sterk in voor het verduurzamen van de warmtevoorziening. Aardwarmte of geothermie is een duurzame energiebron. De provincie wil bijdragen om het hoge potentieel van aardwarmte in Zuid-Holland zo duurzaam en efficiënt mogelijk te benutten. Hierbij heeft ze de ambitie om in 2020 9 petajoule (PJ) aan duurzame warmte te leveren, waarvan uit geothermie 5 – 7 PJ. Dit heeft zij concreet verwoord in de Energieagenda “Watt anders” (vastgesteld door Provinciale Staten op 12 oktober 2016).

Sinds 2007 zijn er in Zuid-Holland diverse (praktijk)ervaringen opgedaan met realisatie van geothermieprojecten, regionale verkenningen en vergunningaanvragen. De volgende twee regionale studies hebben eerder gekeken naar de toepassingsmogelijkheid van geothermie in de provincie:

- 2009: “Potentieelstudie geothermie voor de provincie Zuid-Holland” door IF, DWA en TNO (IF Technology 2009).
- 2012: “Geotechnisch potentieel van de diepe ondergrond voor Zuid-Holland” door TNO (in opdracht van ministerie van Infrastructuur en Milieu, in aanloop van de STRONG) www.nlog.nl/resources/VRODO/provinciaal/**Zuid-Holland**.pdf.

Voor een totaal overzicht van alle geraadpleegde literatuur wordt verwezen naar de literatuurlijst.

**Praktijkkennis**

De huidige aardwarmteprojecten in Zuid-Holland zijn met name geïnitieerd door de glastuinbouwsector, gericht op de winning van 65 - 85 °C op 2 - 3 kilometer diepte en vanuit een lokale vraag ontwikkeld. De aanwezigheid van veel nieuwe praktijkervaring maakt dat de provincie Zuid-Holland de voormalige potentieelkaarten wil actualiseren.

**Bredere inzet geothermie mogelijk**

Niet alleen de praktijkervaring speelt een rol in de wens voor het actualiseren en uitbreiden van de bestaande potentiekaarten. De provincie is bezig met de realisatie van een groot collectief warmtenetwerk (gebied Dordrecht-Rotterdam-Den Haag-Leiden), ook wel “De Warmterotonde” genoemd. De verwachting is dat de restwarmtelevering door industrie en afvalverbranding in de toekomst afneemt en dan door -met name- geothermische bronnen vervangen gaat worden. Kijkend naar de meest kansrijke gebieden uit eerdere potentieelstudies (2009 en 2012) komen deze niet helemaal overeen met de huidige locaties waar projecten gerealiseerd zijn. Dit kan betekenen dat op andere locaties in Zuid-Holland mogelijk een hogere aanwezig is.

Om te zorgen dat het netwerk ook in de toekomst voldoende wordt gevoed is het belangrijk om te weten hoeveel potentie er in de ondergrond is. Daarbij speelt ook de ontwikkeling van Laag Temperatuur Verwarming (LTV) en strategisch warmteopslag. Dit vergroot het aardwarmte potentieel. Enerzijds door toename van het temperatuurverschil tussen bron en afgifte, anderzijds omdat ook ondiepere aardlagen met lagere onttrekkingstemperaturen benut kunnen worden. Daarnaast biedt ultradiepe geothermie kansen voor warmte/stoom voor industriële processen en voor warmte voor bestaande hoge temperatuur warmtenetten.

De provincie wil met gebruik van de zogenoemde 'Warmterotonde' (duurzame) warmteleveranciers en afnemers aan elkaar koppelen (zie kader volgende bladzijde). De voorliggende potentieelkaarten kunnen een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van de warmterotonde. In het uiterste geval kan de geothermie potentie zelfs bepalend zijn voor de locatie van de ontwikkeling van de warmterotonde.

## 1.2 Doel

Het doel van dit project is de regionale variatie en de totale potentie van geothermie in Zuid-Holland in beeld te brengen. De potentie is in beeld gebracht voor:

- Hogetemperatuuroplag (HTO).
- Ondiepe geothermie (OGT).
- Diepe Geothermie (GT) (in het vervolg kortweg geothermie).
- Ultradiepe geothermie (UDG).

Er zijn voor hoge temperatuuropslag en per type geothermie twee soorten kaarten beschikbaar:

(1) de **potentieelkaart**, gebaseerd op technische kennis, die gebruikt kan worden door de professional die werkzaam is op het gebied van duurzame energie. Deze kaart geeft op hoofdlijnen inzicht waar in potentie mogelijkheden zijn voor de toepassing van geothermie in Zuid-Holland;

(2) de **technische kaarten** die als onderlegger gebruik zijn voor de totstandkoming van potentieelkaart. Met deze technische kaarten kunnen de professionals die werkzaam zijn in de geothermiesector, de resultaten van de potentieelkaart duiden en verfijnen.

Een toelichting op de verschillende typen kaarten en de verschillende typen geothermie is te vinden in hoofdstukken 3 tot en met 6. De potentieelkaarten zijn te vinden in bijlage 1. De kaarten met technische informatie zoals diepte, dikte en temperatuur staan in bijlage 2.

**De Warmterotonde**

De Warmterotonde is de infrastructuur voor collectieve warmte in het zuidelijk deel van de provincie Zuid-Holland voor de komende 30-50 jaar. Hiermee kan maximaal worden bespaard op fossiele energie. De Warmterotonde is een flexibel systeem, waarop meerdere aanbieders en meerdere bronnen van verschillende herkomst toegang krijgen. Er wordt naar gestreefd om steeds meer lokale duurzame bronnen te ontsluiten en toe te voegen. Bronnen zijn bijvoorbeeld het Rotterdamse haven- en industriecomplex en bronnen van geothermie: hernieuwbare warmte die bestaat onder het aardoppervlak. (bron: http://warmopweg.nl/programma/warmterotonde/ )

## 1.3 Doel van de rapportage

Het doel van deze rapportage is tweeledig:

(1) Inzichtelijk maken van de potentiële bijdrage geothermie aan de verduurzaming van de warmtevoorziening in Zuid-Holland. Op hoofdlijnen informeren van de initiatiefnemers en de inwoners in Zuid-Holland over de kansen voor geothermie (in het bijzonder voor de Warmterotonde). De kaart inspireert en onderbouwt waarom men in bepaalde gebieden juist wel of juist niet zou moeten inzetten op het gebruik van geothermie.

(2) Daarnaast bevat dit rapport in bijlage 3 een technische toelichting op de totstandkoming van de kaarten. Deze toelichting is met name bedoeld voor de ingewijde lezer. De rapportage dient als achtergronddocument bij het lezen van de GIS-kaarten op de viewer van de provincie Zuid-Holland.

## 1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft het grotere kader rondom de toepassing van geothermie in Zuid-Holland: welke wetgeving is van toepassing, wat zijn de belangrijkste randvoorwaarden? Vervolgens wordt in de hoofdstukken 3 tot en met 6 per techniek toegelicht wat de belangrijkste kansen zijn. In hoofdstuk7 worden de belangrijkste conclusies samengevat en in hoofdstuk 8 zijn de aanbevelingen voor vervolgonderzoek toegevoegd.

De technische opbouw van de potentieelkaarten is beschreven in bijlage 3. Deze bijlage is geschreven voor de meer technisch onderlegde lezer.

# 2

# Kader

## 2.1 Technieken

Door de inzet van geothermie kan met behulp van de ondergrond duurzame warmte geleverd worden of elektriciteit opgewekt. Geothermie kent een breed spectrum van technieken en toepassingen. In de potentieelkaarten zijn de volgende typen beschouwd:

- hogetemperatuuropslag (HTO), opslagtemperaturen in de bron tussen 60 - 90 °C[1]. in Zuid-Holland mogelijk tot een diepte van 1.000 meter minus maaiveld;
- ondiepe geothermie (OGT), onttrekken van warmte tot maximum diepte 1.500 meter minus maaiveld in Zuid-Holland, warmte tussen de 20 - 40 °C[2];
- geothermie (GT), onttrekken van warmte tussen 40 - 100 °C, diepte ligging van geschikte formaties in Zuid-Holland tussen 1.000 - 4.000 meter minus maaiveld;
- ultradiepe geothermie (UDG), formaties dieper dan 4.000 meter minus maaiveld.

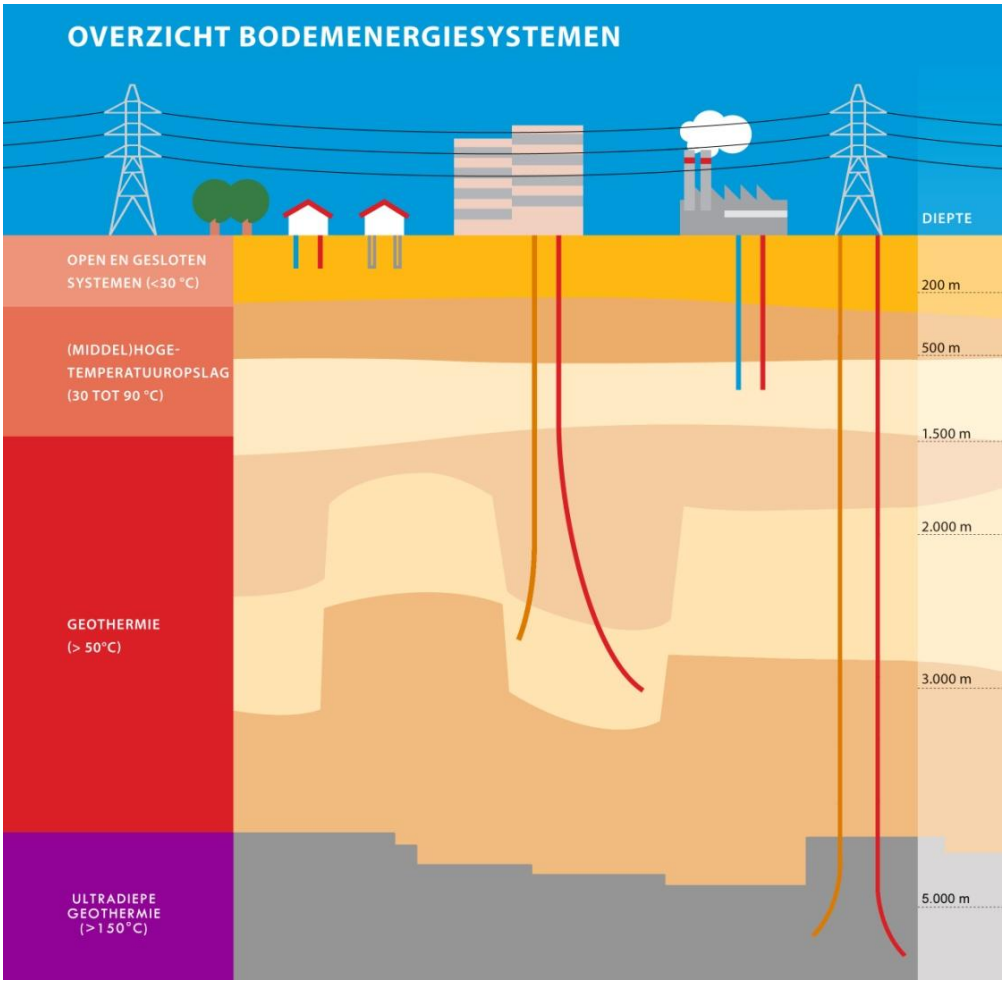
In Figuur 1 zijn de verschillende technieken schematisch weergegeven. De technieken zijn gericht op de levering van warmte, waarbij wordt uitgegaan van een maximum temperatuur van ca. 100 °C aan de vraagzijde. UDG vormt hierop een uitzondering: met UDG kan ook gebruikt worden om electriciteit te produceren. Indien gewenst kan deze techniek ook prima gebruikt worden om temperaturen van boven de 150°C te leveren. De werking en randvoorwaarden van de verschillende technieken wordt in hoofdstuk 3 tot en met 6 nader toegelicht.

*De ondiepe technieken warmte-/koudeopslag (WKO), ook wel open en gesloten bodemenergiesystemen genoemd, vormen geen onderdeel van deze studie. De potentie van deze technieken worden separaat aan dit project, in een aparte studie inzichtelijk gemaakt. De resultaten van deze studie komen vermoedelijk eind 2016 beschikbaar.*

## 2.2 Wettelijk kader

Voor de open bodemenergiesystemen tot een diepte van 500 meter minus maaiveld is de provincie Zuid-Holland het bevoegd gezag. Het wettelijk kader hiervoor wordt gevormd door de Waterwet, het Waterbesluit en de Waterregeling. Voor de gesloten bodemenergiesystemen zijn de gemeenten het bevoegd gezag.

[1] Dit zijn op dit moment gebruikelijke temperatuurtrajecten, bij de huidige geothermie concepten. De onderzoekers sluiten niet uit dat deze concepten in de toekomst nog wijzigen en/of temperaturen nog wijzigen.
[2] Lokaal temperaturen lager dan 20 ºC aanwezig in de formatie van Maassluis en Oosterhout.




*Figuur 1*
*Schematisch overzicht geothermie- en bodemenergie-systemen.*
*OGT bevindt zich in dezelfde diepte als hogetemperatuur-opslag*

### 2.2.1 Mijnbouwwet

Voor alle bodemenergiesystemen die dieper dan 500 meter minus maaiveld worden gerealiseerd is het Ministerie van Economische Zaken bevoegd gezag. Het wettelijk kader hiervoor wordt gevormd door de Mijnbouwwet en het Mijnbouwbesluit. Tevens is volgens de Wet Algemene Bepalingen Omgevingsrecht (WABO) een omgevingsvergunning nodig.

De procedure voor het aanvragen van een vergunning is opgenomen in Hoofdstuk 2 van de Mijnbouwwet en is uitgewerkt in Hoofdstuk 1 van de Mijnbouwregeling.

Aan de verlening van een vergunning voor de opsporing van aardwarmte zijn geen kosten verbonden. Dat geldt ook voor de vergunning voor het winnen van aardwarmte. Hoewel de Mijnbouwwet de mogelijkheid kent om een afdracht te verbinden aan de winning van aardwarmte, wordt door de minister geen gebruik gemaakt van de mogelijkheid, omdat het beleid gericht is op het bevorderen van het gebruik van aardwarmte. Ook voor andere

administratieve lasten van de Minister van Economische Zaken op het gebied van opsporing en winning van aardwarmte op basis van de Mijnbouwwet worden geen afdrachten (of leges) gevraagd.

**Procedure**
De procedure voor het aanvragen van alle opsporingvergunningen verloopt volgens het volgende schema:

- Na een aanvraag voor een opsporingsvergunning wordt hiervan melding gemaakt in de Staatscourant;
- Tot 13 weken hierna kunnen anderen een concurrerende aanvraag indienen;
- Over de opsporingsvergunning wordt beslist binnen 6 maanden + 13 weken (ca. 9 maanden) na aanvraag;
- Deze termijn kan met nog eens 6 maanden worden verlengd.

Na het verkrijgen van de opsporingsvergunning (en WABO) kan begonnen worden met de realisatie van het geothermiesysteem. Nadat het systeem is gerealiseerd en de putten zijn beproeft, wordt de winningsvergunning aangevraagd. Een overzicht van alle procedures in relatie tot een geothermie project is weergegeven in het handboek geothermie en kan gevonden worden op de website van het programma ‘Kas als energiebron’: https://www.kasalsenergiebron.nl/content/docs/Aardwarmte/Documenten_deel_3/Bijlage_A_Tijdschema_v10.pdf

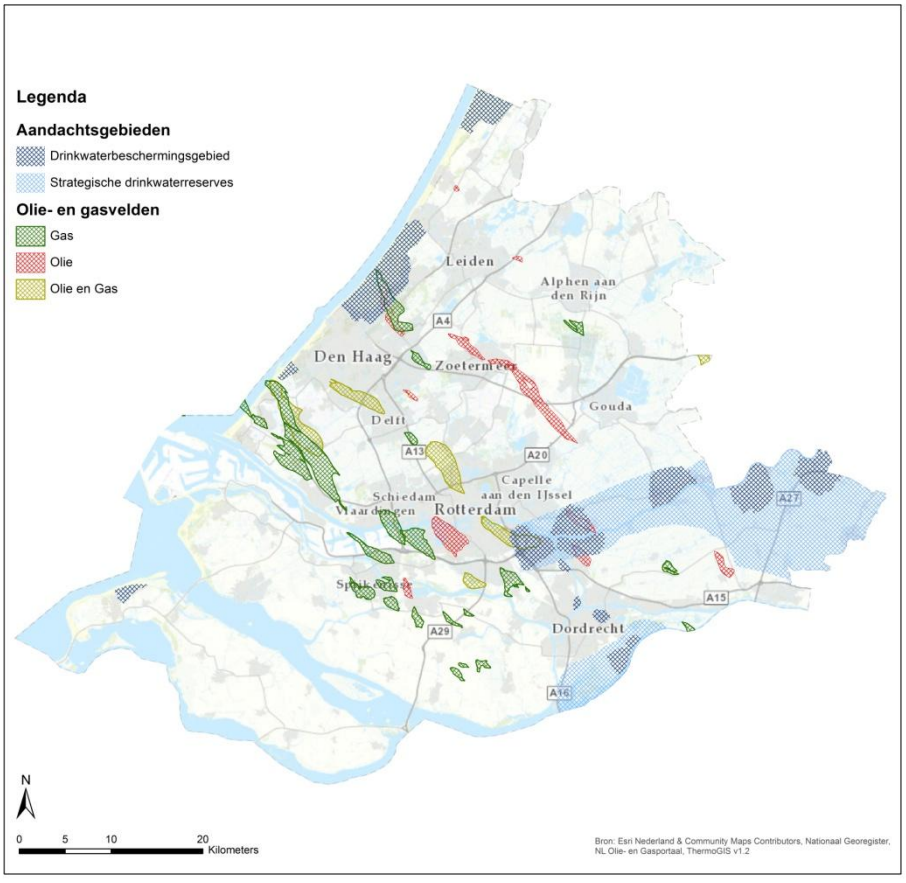
Indien men aan de slag wil gaan met de realisatie van een geothermiesysteem zal men de regelgeving van alle bevoegde gezagen (EZ, Provincie en Gemeente) moeten kortsluiten om alle benodigde vergunningen te verkrijgen en om te voorkomen dat men bijvoorbeeld onverhoopt aan de slag gaat in een restrictiegebied. Een beknopte toelichting leest u in de volgende paragrafen.

### 2.2.2 Gas- en olievelden

Bestaande koolwaterstofwinningen, opsporings- en winningsvergunningen vormen een aandachtspunt voor het ontwerp en realisatie van een geothermiesysteem. Het is namelijk niet toegestaan in of door een gas-of olieveld te boren om vervolgens geothermische warmte te onttrekken. Boven of naast een bestaande koolwaterstofwinning een geothermiesysteem aanleggen en/of aardwarmte winnen mag wel, mits aangetoond wordt dat geen wederzijdse negatieve invloed optreedt.
In de provinciale Visie Ruimte en Mobiliteit zijn gebieden opgenomen waarbinnen het grondwater wordt gereserveerd voor de toekomstige drinkwatervoorziening: strategische drinkwaterreserves. In de

potentiekaarten is per laag aangeven of er interferentie kan optreden met een gas- of olieveld of dat een grondwaterbeschermingsgebied aanwezig is. Zie Figuur 2 voor kaartje met de olie- en gasvelden, de provinciale beschermingsgebieden voor drinkwaterwinning en strategische drinkwatereserves.

*Figuur 2 Overzicht aandachtsgebieden (bron: nlog.nl, overzicht januari 2016).*




### 2.2.3 Waterwet, beschermingsgebieden en infiltratietemperatuur

Voor bodemenergiesystemen, inclusief systemen voor hoge temperatuur opslag (HTO), die boven de 500 meter minus maaiveld worden gerealiseerd is de Waterwet van toepassing. De provincie Zuid-Holland is hiervoor bevoegd gezag. Voor bodemenergiesystemen gelden een maximale infiltratietemperatuur van 25°C en het vereiste van geen warmteoverschot.

Voor systemen voor hoge temperatuur opslag kunnen pilots worden opgezet met een uitgebreide monitoring van de effecten.

Aandachtspunt bij realisatie van bodemenergiesystemen vormen de beschermingsgebieden voor drinkwaterwinning. Deze beschermingsgebieden voor drinkwater vormen het totaal van de onderdelen waterwingebied, grondwaterbeschermingsgebied en boringsvrije zones (zie figuur 2). Op basis van de Provinciale Milieuverordening (PMV) zijn bodemenergiesystemen in de milieubeschermingsgebieden voor grondwater niet toegestaan.

Voor bodemenergiesystemen in de strategische drinkwaterreserves, waarvoor de gebieden in de Visie Ruimte en Mobiliteit zijn aangewezen, zullen in de PMV regels met betrekking tot plaatsing worden opgenomen. In 2016 is een herzieningstraject voor de PMV in gang gezet.

Ten aanzien van plaatsing van systemen voor hoge temperatuur opslag beneden 500 m minus maaiveld en geothermiesystemen in de drinkwaterbeschermingsgebieden en de strategische drinkwaterreserves wordt in het kader van Structuurvisie Ondergrond (STRONG) en de herziening van de PMV beleid en regels ontwikkeld met betrekking tot plaatsing. Gelet op het belang van een duurzame drinkwatervoorziening worden voorstellen gedaan om deze gebieden uit te sluiten van activiteiten die onder de Mijnbouwwet vallen.

## 2.3 Randvoorwaarden

Rond de verduurzaming van de warmtevraag met behulp van bodemenergie spelen een aantal overkoepelende randvoorwaarden die van invloed kunnen zijn op de inzetbaarheid van de verschillende geothermietechnieken:

- **Temperatuurniveaus**. De in dit document beschreven geothermie systemen leveren warmte met een temperatuur tussen de 30 en 200°C. Bestaande bouw wordt op dit moment in veel gevallen verwarmd met temperaturen van circa 90 °C, waarbij de retourtemperatuur vaak hoger is dan 50 C. Voor de toepassing van ondiepe of diepe geothermie is het wenselijk dat afgiftesystemen met hoge temperaturen worden aangepast naar afgifte op lagere temperaturen, waarbij de retourtemperatuur cruciaal is. Afhankelijk van de hoogte van de aanvoertemperatuur vanuit geothermie moeten meer of minder ingrijpende maatregelen worden genomen, bijvoorbeeld vloerverwarming aanleggen in plaats van radiatoren. Of het nemen van bouwfysische maatregelen zoals bijvoorbeeld isolatie, om de vraag naar (hoge temperatuur) warmte te verlagen. Verder geldt een wettelijk vereiste vanuit de Drinkwaterwet dat tapwater minimaal een

aanvoertemperatuur van 60°C moet hebben. Dit betekent dat voor systemen waarbij verwarmd wordt met temperaturen tussen de 35 en 50°C, het tapwater (veelal elektrisch) moet worden naverwarmd.

- **(Stads)Warmtenet**. In de bestaande bouw zijn gebouwen meestal individueel verwarmd (veelal een CV-ketel). Geothermiesystemen zijn dusdanig van omvang dat met één systeem meerdere gebruikers worden voorzien van warmte (een conventioneel geothermieproject kan bijvoorbeeld 2.000 tot 4.000 woningen van warmte voorzien). Aanleg of uitbreiding van warmtenetten, of aansluiting op bestaande warmtenetten zijn dus een vereiste. Een warmtenet vraagt echter een hoge investering die vaak over een zeer lange tijd (> 50 jaar) wordt afgeschreven. Financiering van dit warmtenetwerk kan niet alleen worden opgebracht door de eindgebruikers (van warmte) en vraagt veelal andere investeerders, zoals netbeheerders of overheidspartijen. Hierdoor moeten ook andere eigendomsstructuren rondom een warmtenet gevormd worden. De aanpak van de provincie Zuid-Holland om met verschillende partijen in te zetten op een warmterotonde komt tegemoet aan deze wens.
- **Energieprijs**. De financiële haalbaarheid van een geothermieproject wordt meestal vergeleken met een conventionele installatie. Door de - op dit moment - lage gas en elektriciteitsprijzen is de kostprijs van geothermische warmte vaak hoger dan die van fossiele warmte. De SDE+ subsidie is in het leven geroepen om het gat tussen marktprijs en de kostprijs van duurzame energie te dekken.

Naast deze algemene randvoorwaarden heeft elke geothermische toepassing nog zijn eigen specifieke randvoorwaarden. Deze worden in de volgende hoofdstukken toegelicht.

In de volgende hoofdstukken wordt ingegaan op de specifieke randvoorwaarden per techniek en de potentie van de verschillende technieken in Zuid-Holland.

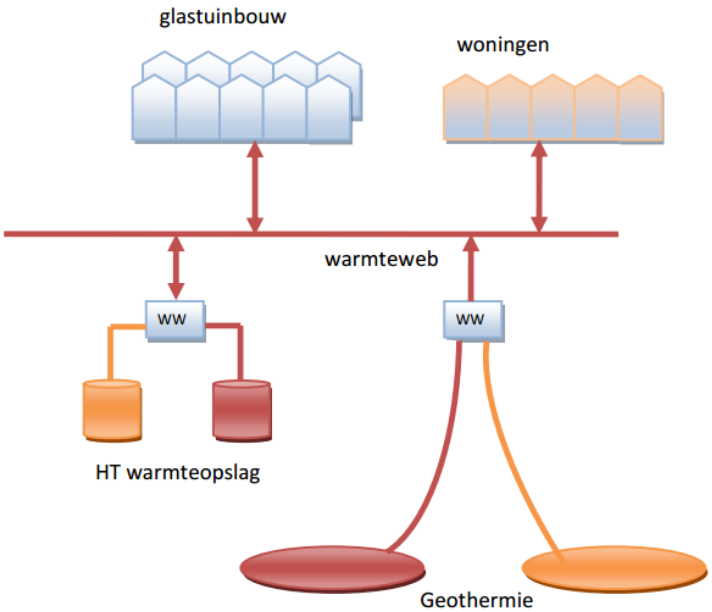
# 3

# Hogetemperatuuropslag (HTO)

## 3.1 Wat is het en waar kan je het toepassen?

HTO is een opslagtechniek, waarbij overtollige warmte met een hoge temperatuur (circa 60 tot 90 °C)[3] tijdelijk wordt opgeslagen in een fijnzandige laag in de ondergrond. Bij voorkeur in een pakket met een scheidende laag erboven om warmteverliezen te beperken. De opgeslagen warmte wordt in een latere periode onttrokken en gebruikt voor lage temperatuur verwarming van bijvoorbeeld gebouwen en kassen (zie Figuur 3). De temperatuur is zodanig hoog dat geen gebruik gemaakt hoeft te worden van een warmtepomp. HTO zal in de regel zodanig diep moeten worden geplaatst dat de. de temperatuur aan de basis van het eerste watervoerende pakket niet hoger wordt dan 25 ºC. Deze voorwaarde is door de provincie Zuid-Holland gesteld bij een pilotproject HTO in Zuid-Holland. De hoge opslagtemperaturen maken een chemische behandeling van het grondwater nodig om de neerslag van mineralen in het systeem (bronnen, warmtewisselaar en leidingen) te voorkomen.

*Figuur 3 Schematische weergave van het HTO project Vierpolders*




[3] Overigens wordt op dit moment wel onderzoek gedaan naar het opslaan van 140ºC. Dit is technisch complex en een innovatieve ontwikkeling, maar biedt wel kansen: bijvoorbeeld het opslaan van hogere temperaturen vanuit vuilverbranding in de ondergrond, om later een hogetemperatuur warmtenet te kunnen voeden.

De belangrijkste markt voor HTO ligt bij het grootschalig opslaan van restwarmte van de industrie, afvalverbranding, energiecentrale of WKK's. Verder kan HTO toegepast worden in combinatie met stadswarmtenetten en geothermieputten waardoor het rendement vergroot wordt.

**Randvoorwaarden**

Een randvoorwaarde om de businesscase van HTO rond te krijgen is dat de restwarmte vrijwel gratis ter beschikking wordt gesteld, of dat de waarde/marktprijs van de geleverde warmte relatief hoog is (bijvoorbeeld door toekenning van SDE+ subsidie) . Verder moet de schaalomvang voldoende groot zijn om een acceptabel opslagrendement te behalen. Een vuistregel voor de vraagkant is een thermisch vermogen van minimaal 10 MW. Een ander aandachtspunt is de retourtemperatuur van de afname: deze moet aanzienlijk lager zijn dan de temperatuur die opgeslagen wordt omdat er gedurende opslagperiode temperatuurdaling optreedt. In Zuid-Holland is ervaring opgedaan met het ontwerp van een HTO voor het pilotproject Vierpolders. Dit project is nog niet gerealiseerd. Bij dit project wordt de warmte vanuit een geothermisch systeem opgeslagen in de formatie van Maassluis met een temperatuur van 85°C. De verwachte onttrekkingstemperatuur varieert dan tussen 85°C en 60°C. Het thermisch vermogen bedraagt ongeveer 15 MW en de totale hoeveelheid warmte die jaarlijks geleverd wordt vanuit de opslag bedraagt circa 25.000 MWh.

Bovenstaande randvoorwaarden zijn gebaseerd op diverse studies naar de mogelijkheden van HTO (IF Technology 2001; Elswijk and Willemsen 2003; IF Technology 2011; IF Technology 2002).

Lukt het om aan alle randvoorwaarden te voldoen, dan is theoretisch het behalen van een Coëfficiënt of Performance (COP) van 40 haalbaar. Dit betekent dat men met 1 deel elektriciteit 40 delen warmte kan leveren en dat men overtollige warmte nuttig kan inzetten in plaats van deze te vernietigen.

## 3.2 Potentie in Zuid-Holland

De toepasbaarheid van HTO hangt af van de beschikbaarheid van restwarmte en van de aanwezigheid van geschikte lagen. De beschikbaarheid van geschikte ondergrondse lagen is in dit rapport in kaart gebracht. De opbouw van de kaarten is toegelicht in bijlage 3, hoofdstuk 2.

Bijlage 1 – kaarten B1.1a t/m 1c Potentiekaarten HTO – geven het potentieel voor HTO in Zuid-Holland weer voor de formatie van Maassluis, Oosterhout en Zand van Brussel

(*officieel 'Zand van Brussel laagpakket'*). De formatie van Breda (leek voorafgaand aan de studie ook een geschikte formatie (IF Technology, KEMA, DLV Glas en Energie 2012)) is niet op de kaart gezet omdat uit de analyse is gebleken dat door het hoge kleihgehalte in de formatie de potentie zeer laag is.

Op de kaarten is te zien dat de formaties van Maassluis en Oosterhout in de gehele provincie aanwezig zijn. De formatie van Maassluis biedt nagenoeg in de gehele provincie Zuid-Holland de grootste opslagcapaciteit qua debiet. Een aandachtspunt bij het gebruik van de formatie van Maassluis vormt de aanwezigheid van scheidende lagen in of boven het pakket om de opgeslagen warmte op zijn plaats te houden en daarnaast de effecten op bovenliggende watervoerende pakketten te minimaliseren.

De formatie Zand van Brussel, aanwezig op grotere diepte dan de andere twee formaties, biedt alleen in het zuidelijk deel van de provincie Zuid-Holland potentie voor opslag maar de opslagcapacitiet is zeer beperkt (minder dan 50 m³/u).

Informatie over de diepteligging van de verschillende formaties is te vinden in bijlage 2 technische kaarten: kaart B2.1 tot en met B2.3.

## 3.3 Kansrijke gebieden / koppeling warmtenet

Gezien de wijd verspreide potentie van de formatie van Maassluis en Oosterhout over de Provincie lijkt de inzet van HTO een kansrijke aanvulling voor de Warmterotonde in Zuid-Holland. Met name voor lokale –lage(re) – temperatuurnetten kan HTO een welkome aanvulling zijn om overtollige restwarmte nuttig in te zetten en tijdelijk op te slaan. Dit betekent dat HTO met name in de gebieden met nieuwe ontwikkelingen/nieuwe netten toegepast kan worden.

Inzet van HTO bij de bestaande warmtenetten is bodemtechnisch gezien wel mogelijk. Maar zoals toegelicht in paragraaf 3.1 zijn er een aantal randvoorwaarden (mede-) bepalend voor de haalbaarheid van HTO op een specifieke locatie:

- Het is aan te bevelen om een aantal van deze randvoorwaarden in kaart te brengen: zoals de aanwezigheid van overtollige gratis restwarmte of overtollige aardwarmte in de regio. Wanneer deze informatie wordt gekoppeld aan de potentiekaart kan op locatieniveau verder uitgezocht worden wat de mogelijkheden zijn.
- De haalbaarheid van de koppeling van HTO met de bestaande netten in Den Haag, Rotterdam en Leiden is sterk afhankelijk van de temperaturen van de HTO in combinatie met de temperaturen van de betreffende netten.

# 4

# Ondiepe geothermie (OGT)

## 4.1 Wat is het en waar kan je het toepassen?

Bij ondiepe geothermie wordt gebruik gemaakt van de natuurlijke warmte in de aarde. Als vuistregel kan aangehouden worden dat de bodemtemperatuur iedere 100 meter circa 3 °C toeneemt, vervolgens dient bij de berekende temperatuur nog 10°C opgeteld worden. Dit is de gemiddelde atmosferische jaartemperatuur in Nederland. Bij OGT wordt deze warmte direct onttrokken (20 tot 40 ºC) aan de ondergrond. Een warmtepomp kan worden ingezet om de temperatuur te verhogen tot hogere temperaturen, bijvoorbeeld tot 40 tot 60 °C, afhankelijk van het gewenste temperatuurniveau. Het water wordt in de ondergrond geretourneerd met een temperatuur van 10 a 15°C. Het is dus geen opslagtechniek zoals HTO, er wordt netto warmte aan de bodem onttrokken. De werking van OGT is vergelijkbaar met een WKO recirculatiesysteem. Het verschil met WKO is dat bij OGT gebruik gemaakt wordt hogere temperaturen omdat het systeem dieper gerealiseerd wordt.

De formaties waaraan in Zuid-Holland warmte kan worden onttrokken zijn de formaties van Maassluis, Oosterhout en Zanden van Brussel (allen gelegen < 1.000 meter minus maaiveld). De temperaturen in de formaties van Maassluis en Oosterhout zijn lokaal lager dan 20 °C. En is de Zuid-Hollandse bodem in verhouding met andere regio's "aan de koude kant" voor OGT. Echter, door toepassingen van een warmtepomp kunnen deze formaties wel gebruikt worden voor OGT.

*Figuur 4 thermisch bad Arcen (bron: www.thermaalbad.nl)*

OGT is in Nederland alleen toegepast bij het verwarmen van thermische baden (o.a. Arcen (Limburg) 35 °C op 900 meter minus maaiveld, zie Figuur 4). In de gebouwde omgeving zijn nog geen toepassingen gerealiseerd. Dit komt voornamelijk door het moeilijk rond krijgen van de businesscase en het hoge temperatuurniveau dat veelal gewenst is in de bestaande bouw.

Uit onderzoek uitgevoerd naar de toepassing van Ondiepe Geothermie voor de glastuinbouw (IF Technology, KEMA, DLV Glas en Energie 2012) is gebleken dat de techniek wel kansen biedt. De belangrijkste markt voor OGT ligt bij gebruikers die vooral lage temperatuur warmte nodig hebben, zoals woningen, bedrijfshallen of kassen. Het voordeel van OGT is dat de investering in een systeem in verhouding met geothermie een stuk kleiner is. Het verschil tussen HTO en OGT is dat een OGT systeem alleen warmte wint, terwijl een HTO warmte opslaat. De beide technieken kunnen eventueel gecombineerd worden, waarbij meer warmte gewonnen wordt dan wordt opgeslagen.

### Randvoorwaarden

Een OGT systeem levert ongeveer 1 tot 5 MW aan warmte. Indien ervan uitgegaan wordt dat met 1 MW ongeveer 700 woningen van warmte kunnen worden voorzien, kan een OGT systeem 700 tot 2.000 woningen bedienen. In de glastuinbouw (groenteteelt) wordt als vuistregel vaak aangehouden dat de warmtevraag per hectare ongeveer 1 MW is.

De belangrijkste randvoorwaarde voor de inzet van OGT is dat de afnemer warmte met een lage temperatuur nodig heeft. Gelet op het temperatuurniveau van OGT zal de temperatuur veelal moeten worden verhoogd door middel van een warmtepomp. Om de financiële haalbaarheid van het systeem te vergroten is het van belang zoveel mogelijk draaiuren te maken met het OGT systeem. In vergelijking met bijvoorbeeld een HTO project heeft OGT een lagere COP (4 tot 8 in plaats van 20 tot 40). Daar staat tegenover dat OGT schaalbaar is en ook toegepast kan worden bij kleinere warmtevragers en projecten. HTO is bovendien alleen toepasbaar als er lokaal een seizoenmatig warmteoverschot is. OGT is daardoor op veel meer locaties inzetbaar dan HTO.

Voor OGT is het daarnaast van belang dat er vanaf een diepte van 500m SDE+ subsidie kan worden verkregen. Dat verbetert de haalbaarheid van OGT op grotere dieptes aanzienlijk.

## 4.2 Potentie in Zuid-Holland

Of OGT kan worden toegepast hangt af van de aanwezigheid van geschikte bodemlagen en van de diepteligging van deze lagen. Voor deze studie zijn de aanwezige lagen bekeken tot een diepte tot 1.000 meter minus maaiveld. Hiervoor zijn verschillende databronnen gebruikt: een toelichting op de totstandkoming van de kaarten is te lezen in hoofdstuk 7.

Bijlage 1 – kaarten B1.2a t/m 2c Potentiekaarten OGT – geven het potentieel voor HTO in Zuid-Holland weer voor de formatie van Maassluis, Oosterhout en Zand van Brussel (*officieel 'Zand van Brussel laagpakket'*) en de daaronder gelegen Rijnland Groep.
Om de potentie van OGT te bepalen is het van belang om een combinatie te maken van de potentiekaart en daarnaast de temperaturenkaart: hoe dieper de formatie aanwezig is, hoe hoger de onttrekkingstemperatuur. Per specifiek project zal gekeken moeten worden of behoefte is aan een hoger debiet in combinatie met lagere onttrekkingstemperatuur (zoals in de formatie van Maassluis) of juist een laag debiet in combinatie met een hogere onttrekkingstemperatuur (zoals in de Zanden van Brussel. In verhouding met andere regio's in Nederland bevinden de voor OGT geschikte bodemlagen zich ondieper, en bevatten lagere temperaturen. Opgemerkt wordt dat de Zanden van Brussel weinig voorkomen in Zuid-Holland (alleen nabij Spijkernisse en in de Hoeksche Waard).

Informatie over de diepteligging van de verschillende formaties is te vinden in bijlage 2 technische kaarten: kaart B2.1 tot en met B2.3.

## 4.3 Kansrijke gebieden / koppeling warmtenet

De temperatuurniveaus van de Warmterotonde zijn op dit moment nog niet exact bekend. Voor de traditionele temperatuurniveaus van warmtenetten (90 C en hoger) heeft OGT weinig te bieden. Cascadering van warmte vanuit zo'n net biedt wel mogelijkheden: een centraal hoge temperatuurnet met hieraan gekoppeld diverse netten met lagere temperaturen die bijvoorbeeld nieuwbouwwoningen of kassen van laagwaardige warmte voorzien. Deze lage temperatuurnetten kunnen dan (deels) gevoed gaan worden vanuit OGT. Daarnaast biedt OGT op de locaties waar het net van Warmterotonde *niet aanwezig* is, een duurzame bron van warmte. Met als twee grote voordelen: de warmte is gedurende het jaar beschikbaar en de afname van de warmte is goed schaalbaar. Dit maakt de techniek een flexibele aanvulling op het duurzame warmtenet dat gerealiseerd wordt.

# 5

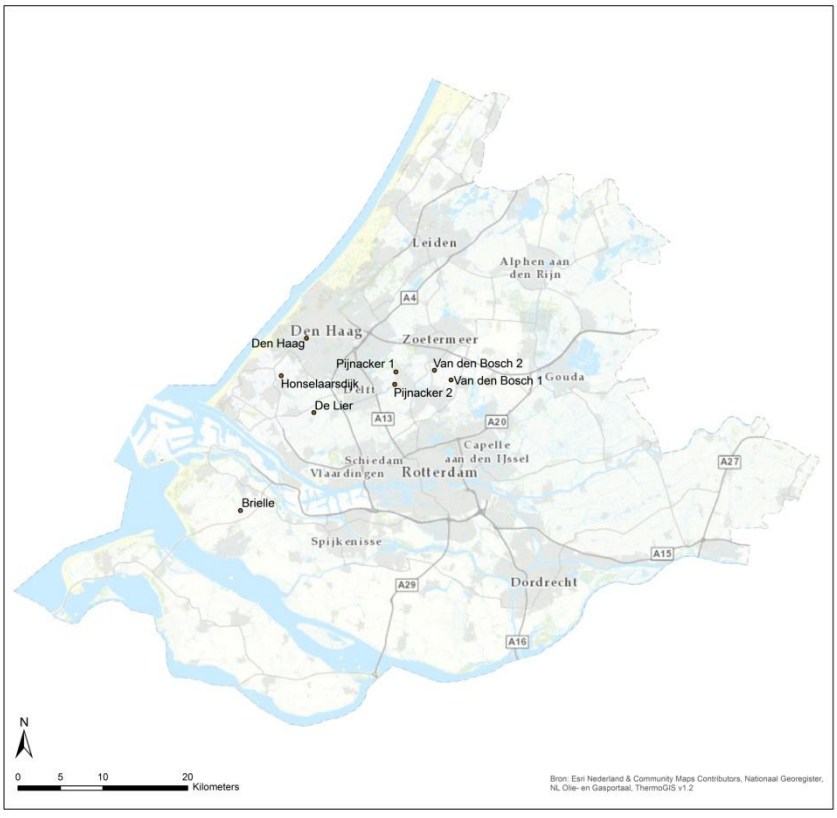
# Geothermie (GT)

## 5.1 Wat is het en waar kan je het toepassen?

Bij geothermie of aardwarmte wordt de warmte (40 tot 100 °C) uit diepere aardlagen gebruikt om huizen of kassen te verwarmen. De warmte wordt *direct* gebruikt. Het afgekoelde water wordt vervolgens weer terug de ondergrond in gebracht.

In Nederland zijn in de jaren tachtig van de vorige eeuw de eerste onderzoeken gedaan naar deze techniek. Het eerste commerciële project is gerealiseerd in 2007 bij een tomatenkweker in Bleiswijk. Op dit moment zijn in Zuid-Holland 8 systemen gerealiseerd (zie Figuur 5). Dit zijn vrijwel allemaal tuinbouwprojecten. Er is één geothermie systeem ten behoeve van woningbouw gerealiseerd (Den Haag). Dit systeem ligt sinds de realisatie in 2012 stil. De verwachting is dat begin 2017 een herstart van dit systeem gaat plaatsvinden. Een van de systemen in Pijnacker levert naast warmte aan de kas, ook warmte aan 500 woningen. In Figuur 5 is een kaartje met de ligging van de huidige al gerealiseerde geothermieprojecten weergegeven.

*Figuur 5*
*Ligging projecten in Zuid-Holland (september 2016).*



*Figuur 6 Bovengrondse installatie Aardwarmte Den Haag (bron: http://www.rvo.nl/initiatieven/energiezuinig gebouwd/erasmusveld-leywegzone)*

De diepte waarop in Zuid-Holland de warmte kan worden onttrokken, varieert tussen de 1.000 – 3.500 meter minus maaiveld afhankelijk van de formatie waaruit het water onttrokken wordt. De onttrekkingstemperatuur correleert met de diepte: hoe dieper de bodemlaag, hoe hoger de temperatuur van het onttrokken grondwater. Gezien de grotere dieptes waarop geboord moet worden zijn de boorkosten en de financiële risico's in vergelijking met OGT en HTO relatief hoog.

### Randvoorwaarden

Met de huidige verdienmodellen is geothermie pas economisch rendabel vanaf een afzetmarkt van 6 à 8 hectare glastuinbouw of een minimum van 2.000 woningen. Geothermie projecten die gerealiseerd zijn en die nu ontworpen worden liggen veelal in de range van 5 tot 25 MWth. Als vuistregel kan een minimale omvang van 5 $MW_t$ aangehouden worden voor een geothermiesysteem. Hiermee is een gemiddeld GT project minimaal vijf keer zo groot als een gemiddeld OGT project en kent daarmee ook een andere doelgroep. Doordat GT hoge temperaturen kan leveren, is deze zeer geschikt voor het verduurzamen van de *bestaande bouw.* De organisatie om te komen tot een levering aan (minimaal) 2.000 woningen (zowel in de koop als huursector) blijkt in de praktijk echter complex te zijn. Voor de inzet en het rendement van een geothermie systeem is het van belang dat het systeem zoveel mogelijk draaiuren per jaar maakt. In de gebouwde omgeving is de warmtevraag echter sterk seizoensafhankelijk. Het financieel rendement

kan dan verbeterd worden door een combinatie met HTO, of door alleen de basislast te leveren vanuit geothermie (waardoor nog meer woningen nodig zijn voor een project).

## 5.2 Potentie in Zuid-Holland

Geothermie kan worden toegepast in de zandige lagen tussen 1.500 en 4.000 meter minus maaiveld. In Zuid-Holland wordt gebruik gemaakt van drie groepen: de Rijnland-, de Schieland en de germaanse Trias Groep. Deze laatste formatie komt lokaal soms nog dieper dan 4.000 meter minus maaiveld voor. Voor het inschatten van de potentie in Zuid-Holland is het dus van belang om de verschillende fomaties te bekijken. Elke formatie heeft zijn eigen kenmerken qua diepte en temperatuur. Derhalve is het niet mogelijk om alle formaties zondermeer te combineren.

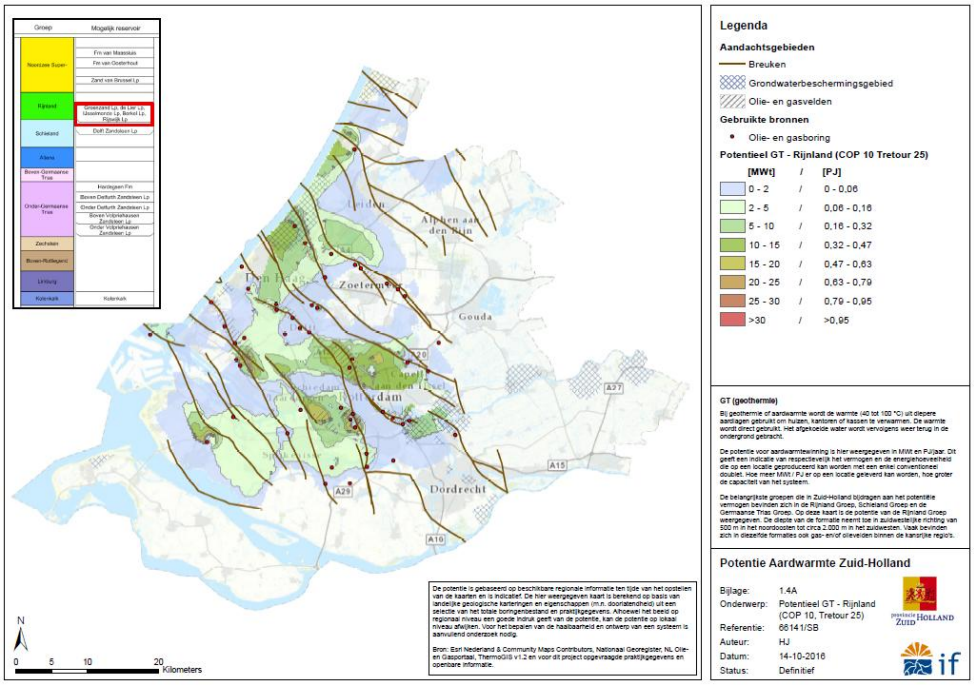
Voor het maken van de potentieelkaarten is gebruik gemaakt van diverse bestaande geohydrologische modellen en informatie uit de praktijk. Deze laatste stap levert voor Zuid-Holland nieuwe inzichten op: er zijn duidelijke verschillen met de oude potentieelkaarten. De praktijkgegevens zijn gebruikt bij het actualiseren van de Delft Zandsteen en de Trias groep. In bijlage 3 is toegelicht hoe de kaarten zijn gemaakt en waar de verschillen met oude kaarten zijn ontstaan.

In bijlage 1 – kaarten B1.3a t/m 3c Potentiekaarten GT – is het potentieel voor geothermie in Zuid-Holland te zien voor de volgende drie formaties: Rijnland Groep, Schieland Groep (Delft Zandsteen genoemd) en de Germaanse Triasgroep. Deze kaarten zijn gebaseerd op de huidige standaard geothermie doublet met retourtemperatuur 35 ºC en een COP van 15.

Kaarten B1.4a t/m B1.4c bevatten een tweede serie potentiekaarten GT, hiervoor zijn ruimere uitgangspunten per doublet gebruik (retourtemperatuur 25, COP 10). De reden om deze tweede variant te berekenen is het feit dat de projectgroep verwacht dat in de toekomst concepten met een lagere retourtemperatuur en lagere COP haalbaar zijn. Hiermee wordt geothermie economisch gezien sneller haalbaar. Dit heeft een positief effect op het potentieel in Zuid-Holland: dit neemt toe. Op meer locaties zal het mogelijk zijn om geothermische warmte te winnen. Zie bijlage 3, paragraaf 3.1 voor een toellichting op de verschillende concepten.

*De Rijnland Groep* - geologisch gezien de jongste groep - bevind zich op verschillende dieptes in Zuid-Holland. De diepte van de top van formatie neem toe in zuid-westelijke richting van 500 meter in het noordoosten tot circa 2.000 meter onder maaiveld in het zuid-westen. Uit de vermogenskaart blijkt dat de verspreiding van deze formatie zeer heterogeen is: in de hele provincie zijn plukjes te vinden waar de potentie voor geothermie aanwezig is.

Het maximale vermogen van deze formatie wordt ingeschat op circa 10 $MW_t$ per doublet (zie figuur 7).
De potentie van het Delft Zandsteen, *onderdeel van de Schieland Groep*, concentreert zich rond de regio Den Haag - Delft en de Westkust van Zuid-Holland. De diepte van de formatie varieert tussen de 1.000 en 2.000 meter onder maaiveld. Het vermogen van deze formatie wordt ingeschat op maximaal 20 á 25 $MW_t$. per doublet. Wanneer de ruimere uitgangspunten in acht worden genomen (retourtemperatuur 25 ºC en COP 10) neemt het vermogen toe naar meer dan 30 $MW_t$.




*Figuur 7*
*Voorbeeld potentiekaart Rijnlandgroep (scenario COP 10, retourtemperatuur 25 C*

De formaties van het Trias zijn het diepst gelegen tussen de 2.000 en 4.000 meter minus maaiveld. Hierdoor bieden deze formaties wellicht ook kansen voor het onttrekken van warmte voor hogere net-temperaturen. De hoogste potentie van het Trias bevindt zich ten westen en rondom Spijkenisse, een vermogen tussen de 20 - 35 $MW_t$.per doublet. Maar ook in andere delen van Zuid-Holland is het Trias aanwezig en biedt heeft het een vermogen van circa 10 $MW_t$ per doublet. Ten zuid-oosten van Gouda is te zien dat de Triasformatie ineens ophoud: de oorzaak hiervan ligt vermoedelijk in de oorspronkelijke modelopbouw van thermoGIS en de gekozen interpolatietechnieken.

Ten noorden van de lijn Hoek van Holland, Rotterdam en Dordrecht ligt het Trias een stuk dieper dan ten zuiden van deze lijn. De temperatuur zal hierdoor aan de noordkant hoger zijn dan aan de zuidkant. Op basis van de huidige data wordt echter een lage permeabiliteit verwacht waardoor ook de potentie laag is. In 2017 wordt er bij FloraHolland in Naaldwijk een boring gezet die meer data gaat opleveren over het Trias.Uit deze data kan blijken dat de in deze studie berekende potentie te laag is.

Uit bovenstaande analyse blijkt dat er binnen de provincie Zuid-Holland een aanzienlijke potentie voor de toepassing van geothermie is. De specifieke locatie en wensen van de afnemer zullen bepalend zijn in welke formatie een project gerealiseerd kan worden.

## 5.3 Indicatie aantal systemen

Op verzoek van de provincie is ook het aantal potentiele geothermiesystemen in de provincie Zuid-Holland gekwantificeerd. Hiervoor is een raster van 1,5 bij 3,0 km over de provincie heengelegd (de afmeting die overeenkomt met het ruimtebeslag van een doublet). De beschermingsgebieden voor drinkwater en de olie- en gasvelden zijn hierbij uitgesloten beschouwd. Op basis van het gewogen gemiddelde in het vak heeft het vak een waarde toegekend gekregen – in lijn met de potentiekaarten (variant COP 10 en retourtemperatuur 25°C, en variant COP 15 en retourtemperatuur 35°C).

In de praktijk worden de geothermiesystemen natuurlijk nooit netjes naast elkaar geplaatst. Als we naar de potentiekaart en het bijbehorend raster kijken, kunnen door slimme ordening op bepaalde plaatsen misschien meer geothermiesystemen geplaatst worden . Op andere plaatsen kunnen misschien minder systemen geplaatst worden. De verwachting is dat de rasterkaart een overschatting geeft van het aantal geothermiesystemen dat daadwerkelijk geplaatst kunnen worden. De overschatting heeft te maken met geologische, financiele, ruimtelijke planningtechnische en juridische factoren. Op dit moment is nog niet bekend waar toekomstige geothermieprojecten ontwikkeld gaan worden. De rasterkaart geeft dan ook een *indicatie* van het maximale totale potentieel. Op basis van praktijkervaring gaan we er vanuit dat tussen de 30 – 50% van de clusters gerealiseerd kan worden. Rekening houdend met de inpassing zullen lokaal meer of minder doubletten ingepast worden.

Op de kaarten zijn ook de opsporings- en winningsvergunningen weergegeven. Hier zal een toekomstig initiatiefnemer rekening mee moeten houden bij het ontwikkelen van geothermie op een bepaalde locatie.

*Tabel 1*
*aantal potentiële doubletten ZH*

| Vermogen [MWt] | Energie per doublet [PJ] | Aantal doubletten Rijnland* | | Aantal doubletten Schieland* | | Aantal doubletten Trias* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *COP 15 T ret. 35* | COP 10 T ret. 25 | *COP 15 T ret. 35* | COP 10 T ret. 25 | *COP 15 T ret. 35* | COP 10 T ret. 25 |
| 2 – 5 | 0,06 - 0,16 | *23* | 63 | *25* | 23 | *60* | 43 |
| 5 – 10 | 0,16 - 0,32 | *3* | 25 | *16* | 25 | *36* | 49 |
| 10 – 15 | 0,32 - 0,47 | *0* | 6 | *6* | 14 | *12* | 15 |
| 15 – 20 | 0,47 - 0,63 | *0* | 0 | *8* | 6 | *5* | 20 |
| 20 – 25 | 0,63 - 0,79 | *0* | 0 | *4* | 8 | *10* | 8 |
| 25 – 30 | 0,79 - 0,95 | *0* | 0 | *0* | 12 | *7* | 7 |
| >30 | >0,95 | *0* | 0 | *0* | 0 | *0* | 14 |
| **Totaal** | | ***3*** | **31** | ***34*** | **65** | ***70*** | **113** |

* Getelde systemen met een capaciteit van 5 MWt en hoger, per formatie op basis van de ondergrondse potentie, zonder rekening te houden met andere bestaande systemen of ruimtelijke belemmeringen.

Uitgaande van het scenario COP10, retourtemperatuur 25 °C zijn 209 doubletten geteld met een capaciteit van 5 MWt en hoger. Dit aantal systemen komt overeen met 88 PJaan potentiele energie dat door geothermie geleverd kan worden. Dit is berekend aan de hand van het gewogen gemiddelde per raster. Wanneer je alle minimum - en maximum waardes per cel bij elkaar opteld, kom je uit op respectievelijk 77 PJ en 109 PJ. Het gewogen gemiddelde past binnen deze range.

De energiehoeveelheden die bij het scenario COP15, retourtemperatuur 35 °C in potentie geleverd kunnen worden liggen iets lager: in totaal zijn 107 rasters geteld die gezamenlijk 41 PJ aan potentiele energie kunnen leveren. De minimale energiehoeveelheid die geleverd kan worden is 35 PJ, de maximale waarde is 52 PJ.

De twee scenario's samen laten zien dat er een flinke bandbreedte aanwezig is bij het bepalen van de potentie middels de rastersystematiek. Een aantal kanttekeningen kunnen genoemd worden bij het plaatsen van de rasters en de inschatting van het potentieel:

- systemen met een vermogen 5-10 $MW_t$ zijn op dit moment vaak finacieel niet rendabel. Dit kan in de toekomst veranderen wanneer de techniek om de warmte te produceren zich ontwikkeld (bijvoorbeeld door *one-hole drilling*), maar ook door kwalitatief goede, maar wel goedkopere warmtepompen.
- daarnaast bevinden zich een groot aantal doubletten nabij een locatie waar nu een opsporings- of winningsvergunning aanwezig is. Omdat het nu nog niet bekend is

of er daadwerkelijk onttrokken wordt op de locaties waar geothermie gewonnen of opgespoord wordt, kan hier nog extra ruimte “vrij” komen.

- de bestaande geothermiesystemen zijn nu ook meegerekend in de calculatie, omdat bij het plaatsen van het raster geen rekening is gehouden met de aanwezigheid van opsporinings- en winningsvergunningen, Deze PJ’s zijn dus eigenlijk al gerealiseerd.

Het is aan te raden een vervolganalyse op gebiedsniveau te maken om de daadwerkelijke ruimte en hiermee de mogelijk beschikbare PJ in een gebied inzichtelijk te maken. Bijvoorbeeld door gebruik te maken van een dynamisch reservoirmodel wat in eerdere studies voor het Westlandgebied gesuggereerd is (PanTerra 2015).

## 5.4 Kansrijke gebieden / koppeling warmtenet

Op basis van de drie formaties kan geconcludeerd worden dat er twee regio’s uitspringen qua potentie voor de toepassing van geothermie. Opgemerkt wordt dat aanvullend onderzoek noodzakelijk is voor het bepalen van de exacte capaciteit van een geothermiesysteem in deze regio. De capaciteit en de haalbaarheid is namelijk sterk afhankelijk van een aantal andere niet ondergrondse factoren zoals afnamepatroon, organisatie etc.

De volgende locaties hebben een bijzonder hoog potentieel:

- Regio Den Haag / Delft (*Schieland Groep)*
- Regio Spijkernisse – Westzijde Voorne-Putten (*Trias*)

Verspreid over de provincie zijn er diverse andere kansrijke locaties die verhoudingsgewijs een lager vermogen kunnen leveren (tussen de 5 $MW_t$ - 10 $MW_t$) maar nog steeds een significante bijdrage kunnen leveren om lokale warmtelevering te verduurzamen.

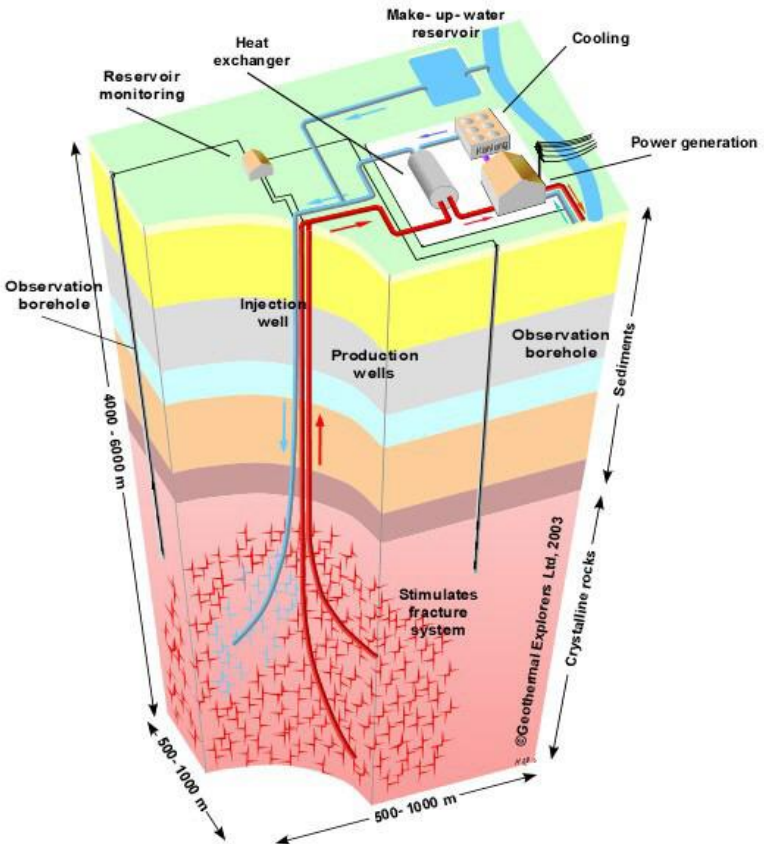
# 6

# Ultradiepe Geothermie (UDG)

## 6.1 Wat is het en waar kan je het toepassen?

Met ultradiepe geothermische warmte kan een productieproces verwarmd worden of er kan elektriciteit mee geproduceerd worden. Bij UDG wordt op zeer grote diepte warmte (vanaf circa 4000 m-mv) onttrokken. Om elektriciteit te produceren moet de warmte omgezet worden: de onttrokken warmte wordt aan het oppervlak gebracht en kan door middel van specifieke conversietechnologieën (bijvoorbeeld met behulp van Kalina Cycle of ORC) worden omgezet in elektriciteit. Hiervoor is minimaal een temperatuur van 100°C nodig. Bij de elektriciteitsproductie kan de restwarmte gebruikt worden om woningen mee te verwarmen (zie Figuur 8).

*Figuur 8 schematische weergave elektriciteitsproductie uit geothermie.*



Een belangrijk aspect bij UDG is de doorlatendheid van de ondergrond: of men maakt gebruik van natuurlijke breuksystemen of deze wordt door middel van reservoirstimulatie gecreerd.
De potentie van deze vorm van geothermie is enorm. De grote onbekendheid van de geschiktheid van de lagen op deze dieptes in de ondergrond maakt het inschatten van het risico en het bepalen van een businesscase op dit moment echter niet eenvoudig.

**Randvoorwaarden**
UDG wordt interessant op het moment dat er een grote warmtevraag is. Hierbij kan gedacht worden aan de voeding van een warmtenet, of de levering van warmte (stoom) aan een industriele toepassing.

## 6.2 Potentie in Zuid-Holland

Of UDG kan worden toegepast hangt af van de aanwezigheid van geschikte bodemlagen. De potentie voor UDG wordt het grootst ingeschat in de kalksteen uit het Dinantien (onder-carboon) tussen 4.000 - 6.000 meter minus maaiveld. Het gaat hier om de laag de Kolenkalkgroep, deze laag is doorlatend. In Venlo en in Mol (Belgie) zijn geothermie projecten gemaakt in dit gesteente. In bijlage 1 – kaart B1.5 A is de diepteligging en de aanwezigheid van de Kolenkalk weergegeven Op de kaart is te zien dat deze laag met name in het zuidelijke deel van de provincie aanwezig is. Uit de projecten in Mol en Venlo is gebleken dat het onttrekkingsdebiet voor dit pakket voorlopig kan worden ingeschat wordt op 150 – 300 $m^3$/h.

In andere delen van de provincie is de Kolenkalk wel aanwezig, op andere dieptes, en heeft de formatie geen natuurlijke doorlatendheid. Derhalve zijn deze locaties niet als potentieel kansrijk meegenomen in de kaarten

## 6.3 Kansrijke gebieden / koppeling warmtenet

Uit kaart B1.5 A blijkt dat de meest kansrijke locaties voor UDG liggen aan de zuidkant van Zuid-Holland. De meest kansrijke locaties worden gevormd door de carbonaat platformen van de Kolenkalk. De platformen zijn het meest interessant omdat hier de kans op secundaire permeabiliteit[4] het hoogst is. Hierdoor kunnen mogelijk, zonder aanvullende stimulatie, grote debieten onttrokken worden.

[4] Secundaire permeabiliteit = permeabiliteit die later ontstaan is door gedeeltelijk oplossende formatie.

# 7

# Conclusies

“Een actueel inzichten verbreding naar ondiepere en diepere lagen te krijgen in de potentie van aardwarmte in de provincie Zuid-Holland”, deze wens was de aanleiding voor de provincie Zuid-Holland om opnieuw naar de ondergrond te kijken en de beschikbare kennis op een rij te zetten en te interpreteren. Hoeveel warmte is beschikbaar en kan ontsloten worden om bijvoorbeeld gebruikt te worden om duurzame warmte te leveren aan de Warmterotonde? En wat kan hoge temperatuuropslag in de ondergrond hierin betekenen?

**Hogetemperatuurwarmteopslag (HTO)**
De ondergrond in Zuid-Holland biedt vrijwel overal mogelijkheden om een hoge temperatuur warmteopslagsysteem te realiseren, in die gebieden waar restwarmte aanwezig is of in combinatie met een geothermiebron. Met name voor lokale –lage(re) – temperatuurnetten kan HTO een welkome aanvulling zijn om overtollige restwarmte nuttig in te zetten en tijdelijk op te slaan. Met name de ondiep gelegen formatie van Maassluis biedt een goede capaciteit (basis tussen 150 - 250 meter minus maaiveld). Een belangrijk aandachtspunt vormt hierbij wel de ondiepe ligging en het al dan niet aanwezig zijn van scheidende lagen in de ondergrond ter voorkoming van warmteverliezen en kans op dichtheidsstroming. De formatie van Oosterhout is dieper gelegen (basis tussen 200 - 400 meter minus maaiveld), waardoor dit een minder groot risico is, echter de capaciteit van het pakket is ook lager.

**Ondiepe geothermie (OGT)**
Ondiepe geothermie kan een uitkomst zijn als een project een te kleine warmtevraag heeft voor een “gewoon” geothermie project, of waar de ondergrond alleen ondiep geothermisch potentieel heeft. Denk aan een warmtevraag tussen de 1 tot 5 MW, en onttrekkingstemperaturen van minder dan 40 ºC. De formaties van Maassluis en Oosterhout zijn verspreid over de provincie aanwezig en bevinden zich redelijk ondiep (t/m 400 meter minus maaiveld) maximaal. De onttrekkingstemperaturen variëren tussen 14 - 20 ºC. Het voordeel van deze geringe diepte zijn de kosten in de realisatiefase. Het nadeel is dan dat er geen aanspraak gemaakt kan worden op SDE+. De dieper gelegen Zand van Brussel lang niet overal aanwezig, maar biedt bijvoorbeeld in Rotterdam e.o. goede mogelijkheden waar andere reservoirs dat niet doen.

OGT biedt op de locaties waar het net van Warmterotonde *niet aanwezig* is, een duurzame bron van warmte. Met als twee grote voordelen: de warmte is gedurende het jaar beschikbaar en de afname van de warmte is goed schaalbaar. Dit maakt de techniek een flexibele aanvulling op het duurzame warmtenet dat gerealiseerd wordt.

**Geothermie**

*De Rijnland Groep* bevindt zich op verschillende dieptes in Zuid-Holland. De verspreiding van deze formatie is daarnaast zeer heterogeen: in de hele provincie zijn plukjes te vinden waar de potentie voor geothermie aanwezig is. Het maximale vermogen van deze formatie wordt ingeschat op circa 10 $MW_t$ (uitgaande van een conventioneel concept). De maximale energiehoeveelheid die geleverd kan worden middels een conventioneel doublet ligt tussen de 0,15 – 0,30 PJ/jaar. Ten noordwesten van Capelle aan den IJssel kan deze formatie wel de meest relevante zijn, gezien het feit dat de dieper gelegen formaties (met hogere temperaturen) hier niet geschikt zijn.

De potentie van het Delft Zandsteen, *onderdeel van de Schielandgroep*, concentreert zich rond de regio Den Haag - Delft en de Westkust van Zuid-Holland. De diepte van de top van de formatie varieert tussen 1.000 en 3.000 meter onder maaiveld. Het maximale vermogen dat deze formatie kan leveren op basis van een conventioneel doublet wordt ingeschat op maximaal 20 á 25 $MW_t$. De maximale energiehoeveelheid die geleverd kan worden middels een conventioneel doublet ligt tussen de 0,75 – 0,90 PJ/jaar.

De top van de formaties van het Trias zijn het diepst gelegen tussen de 2.000 en 4.000 meter minus maaiveld en lokaal nog iets dieper. Hierdoor bieden deze formaties wellicht ook kansen voor het onttrekken van warmte voor hogere net-temperaturen. De hoogste potentie van het Trias bevindt zich ten westen en rondom Spijkenisse, een vermogen tussen de 20 – 35 $MW_t$. Maar ook in andere delen van Zuid-Holland is het Trias aanwezig en biedt het een goede potentie voor geothermie – circa 10 $MW_t$.). De maximale energiehoeveelheid die geleverd kan worden middels een conventioneel doublet ligt tussen de 0,75 – 0,90 PJ/jaar. En op de meest kansrijke locatie is het meer dan 0,90 PJ per jaar.

In alle gevallen geldt dat de energiehoeveelheid die geleverd kan worden vergroot wordt wanneer bijvoorbeeld een lagere retourtemperatuur gebruikt wordt bij het ontwerp van het doublet en bijbehorende afnemers. Ook kan het vermogen vergroot worden door bijvoorbeeld reservoir stimulatie of radial drilling toe te passen.

Bij geothermie wordt warmte aan de ondergrond onttrokken en na afkoeling weer teruggebracht in de laag waaraan het ontrokken is. Na verloop van tijd zal dit afgekoelde water de productiebron bereiken, waardoor de onttrekkingstemperatuur afneemt. Hoe lang dit duurt hangt af van het ontwerp. Gebruikelijk is om voor deze zogenoemde doorbraaktijd uit te gaan van een periode van 30 jaar. Na 30 jaar kan de put nog steeds gebruikt worden, maar kunnen de onttrekkingstemperaturen iets minder hoog zijn dan oorspronkelijk berekend. Deze temperaturen zijn echter geschikt om te gebruiken voor lage(re)

temperatuurverwarming. Daarnaast zal de temperatuur van het grondwater in de injectiepunt door de natuurlijke opwarming ook weer toenemen.

**Warmterotonde**

De globale contouren voor de warmterotonde zijn zichtbaar in het kader op bladzijde 7. Op dit moment is nog niet exact duidelijk welke temperatuurniveaus gehanteerd zullen worden in het net.

Vanuit de ondergrond is duidelijk dat eventuele geothermie doubletten langs het tracé op verschillende dieptes gerealiseerd kunnen worden en dat ze gebruik maken van de verschillende formaties:

- Aan de noordzijde (regio leiden) de *formatie van Rijnland* – per doublet varieert het vermogen in deze regio tussen 2 – 10 $MW_t$ temperaturen tussen 25 – 50 ºC. of de *formatie van Schieland* (ook wel Delft Zandsteen genoemd) – per doublet bedraagt het vermogen in deze regio tussen 5 – 20 $MW_t$ (temperaturen tussen 50 – 75 ºC).
- In het midden van de beoogde oostelijke tracé, ten westen van Capelle aan de IJssel, bieden de *formatie van Rijnland* en de *formatie van Schieland* mogelijkheden. De beschikbare vermogens zijn echter lager dan de vermogens aan de noordzijde van het tracé. De ruimte in deze regio om nieuwe geothermie projecten te realiseren is op dit moment relatief beperkt omdat er een groot aantal opsporingsvergunningen aanwezig is in deze regio. Door in dit gebied in detail te kijken naar de mogelijkheden verwachten de onderzoekers nog wel ruimte te creëren.
- Aan de zuidkant van het tracé – ten oosten en westen van Dordrecht – biedt de *Trias formatie* de hoogste vermogens per geothermie doublet (tussen de 2 – 10 $MW_t$).

Ten westen en rondom van Spijkenisse zijn de allerhoogste vermogens waargenomen (>30 $MW_t$). Hier zou aangesloten kunnen worden op de zuidelijke tak van de warmterotonde nabij de AVR.

**Aantal systemen**

Uit de analyse blijkt dat er in Zuid-Holland tussen de 100 en 200 geothermiesystemen, geplaatst kunnen worden in een gelijkmatig raster (fictief). Deze systemen vertegenwoordigen samen tussen de 41 - 88 PJ aan potentiële warmte dat door middel van geothermie opgewekt kan worden, gebaseerd op het gewogen gemiddelde in een raster. Wanneer uitgegaan wordt van de maximumwaardes kan met dit aantal rasters tussen de 52 – 109 PJ aan potentiele energie geleverd worden. De bandbreedte wordt veroorzaakt door

keuzes in het energieconcept: een scenario COP15 en retourtemperatuur 35 °C of scenario COP10 en retourtemperatuur van 25 °C.

Een deel van deze warmte (20 PJ) wordt nu nog als ´financieel onrendabel´ beschouwd omdat het systemen betreft met kleine vermogens (tussen 5 – 10 $MW_t$). Daarnaast is het van belang om je te realiseren dat er geen rekening is gehouden met daadwerkelijk inpassing, het aantal gerealiseerde systemen zal in de toekomst uitpakken. De potentie is echter aanwezig en door slimme ordening en inrichting kan het benut worden.

Het winbare potentieel aan geothermie in Zuid-Holland is tenminste even groot als de nu ingeschatte wenselijke omvang van warmtelevering in de Zuidelijke Randstad in 2050, namelijk 40 PJ. Dit is exclusief ondiepe en ultradiepe geothermie. Op termijn kunnen geothermiebronnen, met name bij Voorne-Putten- direct aangesloten worden op de warmteronde en restwarmtebronnen vervangen.

**UDG**

Op basis van de bestaande informatie lijkt het zuidelijkste deel van Zuid-Holland het meest geschikt voor de toepassing van UDG (diepte > 4 km; temperatuur > 130 ºC). Uit andere haalbaarheidsstudies is gebleken dat het onttrekkingsdebiet ingeschat wordt tussen de 150 – 300 $m^3/h$ per doublet, maar de mate van onzekerheid hierin is erg groot, en er zal meer studiewerk aan de bestaande data gedaan moeten worden om de onzekerheid te reduceren. In andere delen van de provincie is de Kolenkalk wel aanwezig maar ontbreekt de natuurlijke doorlatendheid.

# 8

# Aanbevelingen

De potentie voor de inzet van geothermie is aanwezig in de provincie. Hoe zorg je er als provincie voor dat de beschikbare potentie zo goed mogelijk wordt ontsloten? Om op deze wijze een bijdrage te leveren aan de verduurzaming van de warmtevraag in Zuid-Holland.

Onze aanbevelingen richten zicht op twee sporen: de korte termijn: zoveel mogelijk kansen benutten en deze als voorbeeldfunctie gebruiken. De lange termijn het verbinden van de verschillende warmteafnemers en de aanleg van een gezamenlijk collectief net.

Breng de warmtevragers in beeld in de kansrijke gebieden en faciliteer de realisatie van nieuwe geothermiesystemen:

(1) Kijk naar aanbod en warmtevraag door beide lagen over elkaar heen te leggen: maakt een match met de provinciale warmtetransitiekaarten.
Wees daarnaast alert op alle kansen die zich aandienen in de regio's: aanleiding om geothermie te agenderen zijn: renovatieplannen, herontwikkelingsplannen, realisatie van gasloze wijken. Creëer hiermee voorbeeldprojecten en ervaring, zodat alle geothermieprojecten die hierna volgen hiervan leren.

(2) Focus op de bestaande warmtenetten. Indien deze netten niet aanwezig zijn, de provincie kan helpen projecten tot stand te brengen door warmtevragers samen te brengen, zodat er voldoende lokale vraag ontstaat voor een geothermie project. Werk in deze projecten samen met locale partners zoals gemeentes.

(3) Breng op lokaal niveau de daadwerkelijke ruimte en inpassing van geothermiesystemen in kaart. En ga in gesprek met het bevoegd gezag om daar waar eventuele knelpunten zijn – de ruimte rondom bestaande opsporing- en winningsvergunningen te verruimen. Een concreet voorbeeld hiervan vormt het opstellen van een dynamisch thermisch reservoirmodel om de inpassing te optimaliseren. Andere aandachtspunten hiervoor zijn het verbeteren van de putsimulatie, slim ordenen en het voorkomen dat onnodige ruimteclaims geplaatst worden.

(4) Breng in beeld waar restwarmte (gratis!) over is om HTO systemen te voeden.

Uit de studie is gebleken dat het aanbod en de vermoedelijke vraag regionaal niet zodanig verdeeld zijn dat op elke plaats met een hoge potentie, er ook daadwerkelijk een vraag aanwezig is. Het grootste aanbod voor warmtelevering vanuit de ondergrond is ten zuiden van Rotterdam aanwezig. De warmtevraag is meer in de noordelijke regio aanwezig. Het is dus gewenst om eea aan elkaar te kunnen koppelen. Hieronder een aantal suggesties.

(5) Zet in op het versterken van de aanwezigheid van een collectief net op langere termijn (zoals de Warmterotonde), hierop kan geothermie vervolgens aangesloten worden.

(6) Zorg dat je als provincie op de hoogte blijft van de ontwikkelingen op het gebied van OGT en UDG. Wellicht dat deze technieken op termijn nieuwe kansen bieden.

(7) Zorg als provincie dat kennis rondom de inzet van geothermie gedeeld wordt. Zoals het ontsluiten van de potentieelkaarten via de digitale portal zodat deze kennis gebruik wordt door initiatiefnemers in de provincie. Door een interactieve portal te gebruiken kunnen de verschillende kaarten uit deze studie gecombineerd worden en kan locatiespecifiek alle kennis gebundeld worden. Zokrijgt een initiatiefnemer snel inzicht op zijn locatie.

Naast de vertaling naar de praktijk en nieuwe projecten, willen de onderzoekers een aantal aanbeveling meegeven voor het geologisch onderzoek in de toekomst:

(8) Tijdens de studie is een verschil van interpretatie van gegevens ontdekt. In het bijzonder bij de *Trias formatie*. We adviseren om de resultaten van de boring in Naaldwijk af te wachten en deze daarna te vergelijken met de huidige onderzoeken die beschikbaar zijn en ook de voorliggende potentieelkaarten. Vervolgens kan de provincie dan een bijeenkomst organiseren – zoals de provincie zelf heeft aangegeven - waarbij de geologische bureaus aan de hand van de nieuwe resultaten met elkaar het gesprek aangaan. Een vervolgactie kan dan zijn dat de huidige potentieelkaarten aangepast worden naar nieuw verkregen praktijkinformatie.

(9) Uit de studie blijkt dat praktijkinformatie cruciaal is voor het bijstellen van de voorspellingen in de potentieelstudie. De provincie kan een rol spelen of lobby starten voor het *direct* ontsluiten van kennis uit diepe boringen. Het ontsluiten van data rondom lopende geothermieprojecten vergroot het inzicht in de daadwerkelijke systeemconcept.

(10) De bestaande olie- en gasvelden bieden kansen om in de toekomst warm water naar boven te halen. Deze gebieden zijn nu niet meegenomen in de studie. Aangezien niet door deze velden heen geboord mag worden, zijn ze zelfs als ristrictiegebied opgenomen. Aanbevolen wordt om met een partij als NAM (Nederlandse Aardolie Maatschappij) dit verder te gaan verkennen.

(11) Tijdens het traject is gesproken over de doorbraaktijd van een geothermiesysteem in relatie tot de inschatting van het aantal geothermiesystemen. Om te komen tot betere aannames over de doorbraaktijd is onderzoek naar de aannames van de huidige formules gewenst.

# Bijlage 1

## Potentieelkaarten

| Potentieelkaarten | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bijlage | 1 | 1 | A | Potentieel HTO Maassluis |
| | 1 | 1 | B | Potentieel HTO Oosterhout |
| | 1 | 1 | C | Potentieel HTO Zand van Brussel |
| | | | | |
| | 1 | 2 | A | Potentieel OGT Maassluis |
| | 1 | 2 | B | Potentieel OGT Oosterhout |
| | 1 | 2 | C | Potentieel OGT Zand van Brussel |
| | 1 | 2 | D | Potentieel OGT Rijnland |
| | | | | |
| 15/35 | 1 | 3 | A | Potentieel Rijnland Groep GT |
| | 1 | 3 | B | Rasterkaart Rijnland Groep GT |
| | 1 | 3 | C | Potentieel Schieland Groep GT |
| | 1 | 3 | D | Rasterkaart Schieland Groep GT |
| | 1 | 3 | E | Potentieel Germaanse Trias Groep GT |
| | 1 | 3 | F | Rasterkaart Germaanse Trias Groep GT |
| | 1 | 3 | G | Potentieel Totaal GT |
| | | | | |
| 10/25 | 1 | 4 | A | Potentieel Rijnland Groep GT |
| | 1 | 4 | B | Rasterkaart Rijnland Groep GT |
| | 1 | 4 | C | Potentieel Schieland Groep GT |
| | 1 | 4 | D | Rasterkaart Schieland Groep GT |
| | 1 | 4 | E | Potentieel Germaanse Trias Groep GT |
| | 1 | 4 | F | Rasterkaart Germaanse Trias Groep GT |
| | 1 | 4 | G | Potentieel Totaal GT |
| | | | | |
| | 1 | 5 | A | Potentieel Kolenkalk |

# Bijlage 2

## Technische kaarten

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bijlage | 2 | 1 | A | Maassluis diepte | | |
| | 2 | 1 | B | Maassluis dikte | | |
| | 2 | 1 | C | Maassluis temperatuur | | |
| | | | | | | |
| | 2 | 2 | A | Oosterhout diepte | | |
| | 2 | 2 | B | Oosterhout dikte | | |
| | 2 | 2 | C | Oosterhout temperatuur | | |
| | | | | | | |
| | 2 | 3 | A | Zand van Brussel diepte | | |
| | 2 | 3 | B | Zand van Brussel dikte | | |
| | 2 | 3 | C | Zand van Brussel temperatuur | | |
| | | | | | | |
| | 2 | 4 | A | Rijnland Groep diepte | | |
| | 2 | 4 | B | Rijnland Groep dikte | | |
| | 2 | 4 | C | Rijnland Groep temperatuur | | |
| | | | | | | |
| | 2 | 5 | A | Delft Zand diepte | | |
| | 2 | 5 | B | Delft Zand dikte | | |
| | 2 | 5 | C | Delft Zand temperatuur | | |
| | | | | | | |
| | 2 | 6 | A | Germaanse Trias Groep diepte | | |
| | 2 | 6 | B | Germaanse Trias Groep dikte | | |
| | 2 | 6 | C | Germaanse Trias Groep temperatuur | | |
| | | | | | | |
| | 2 | 7 | A | Kolenkalk diepte | | |
| | 2 | 7 | B | Kolenkalk temperatuur | | |

# Bijlage 3

## Technische toelichting kaarten

# Bijlage 3

| | |
|---|---|
| Project: | Potentieel geothermie in Zuid-Holland |
| Datum: | 14 november 2016 |
| Referentie: | 66141/SB/201661114 |
| Auteur: | Nick Buik |
| Gecontroleerd door: | Sanne de Boer |

## 1 Introductie

Deze bijlage beschrijft de totstandkoming van de verschillende kaarten, de bronnen waarop de kaarten gebaseerd zijn en de werkwijze van de analyses. Het is geschreven voor de lezer die meer van de materie weet en een technische achtergrond heeft.

De technische- en potentieelkaarten zijn gebaseerd op verschillende databronnen. De databronnen zijn:

- waterboringen,
- gerealiseerde koude-/warmteopslag projecten,
- olie- en gasputten,
- ThermoGis 1.2 (2013),
- de regionale kartering (DGM v4, 2014),
- diverse geothermische haalbaarheidsstudies en gegevens van gerealiseerde geothermiesystemen in Zuid-Holland,
- Geologische studie Panterra Onder krijtzanden (PanTerra 2015).

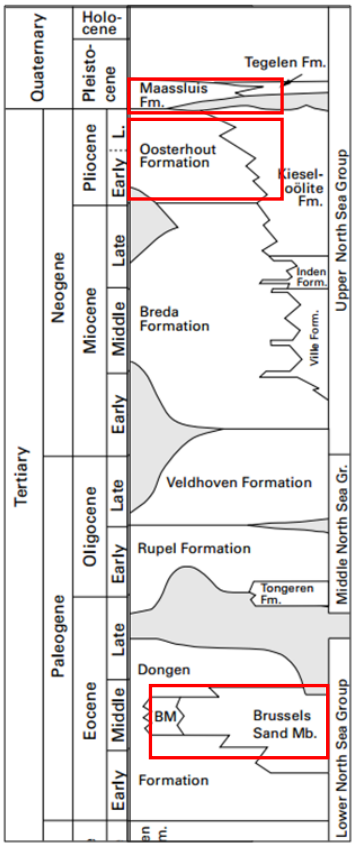
De gegevens van de gerealiseerde geothermiesystemen zijn aangeleverd door de verschillende operators in de provincie en de Provincie Zuid-Holland zelf. Daarnaast is gebruik gemaakt van de website van het Platform Geothermie en de websites van de verschillende geothermiesystemen.

Voor het opstellen van de technische- en potentieelkaarten zijn op de beschikbare data verschillende bewerkingen toegepast. Verder zijn bepaalde aannames gedaan om de geologische eigenschappen te vertalen naar een debiet ($m^3/h$), een thermisch vermogen ($MW_t$) en een energiehoeveelheid (PJ) per doublet.

In de hierna volgende paragrafen wordt per toepassing en potentieelkaart toegelicht welke bewerkingen zijn uitgevoerd.

# 2 Hogetemperatuurwarmteopslag en ondiepe geothermie

Uit een eerder uitgevoerde landelijke studie (IF Technology, KEMA, DLV Glas en Energie 2012; Rijks Geologische Dienst 1982) blijkt dat voornamelijk Kwartaire en Tertiaire formaties interessant zijn voor HTO en OGT. Voor Zuid-Holland is daarom uitgegaan van dezelfde formaties als in de landelijke studie, met uitzondering van de formatie van Breda. Uit een nadere analyse van de beschikbare gegevens binnen Zuid-Holland blijkt namelijk dat de netto zanddikte van de Formatie van Breda in Zuid-Holland beperkt is. Deze constatering, in combinatie met een lage doorlatendheid, maakt dat de hoeveelheid water die aan de formatie onttrokken kan worden zeer klein is (lager dan 25 $m^3$/h). Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat de Formatie van Breda binnen de provincie Zuid Holland geen grote potentie heeft voor HTO en OGT. Op locaties waar enig water onttrokken kan worden aan de formatie, zijn andere formaties beter geschikt. In Figuur 1 staat een overzicht van de geschikte formaties weergegeven.




*Figuur 1*
*Overzicht geschikte formaties (bron: NLOG.nl).*

De volgende formaties worden in de analyse meegenomen:

- Formatie van Maassluis
- Formatie van Oosterhout
- Zanden van Brussel
- Rijnlandgroep

## 2.1 Geologische parameters

### 2.1.1 Diepte en Dikte

De dikte en de diepte kaarten zijn gebaseerd op een eerdere kartering die door IF Technology is uitgevoerd (IF Technology, KEMA, DLV Glas en Energie 2012; Rijks Geologische Dienst 1982). Deze kartering is uitgebreid met recentelijk voor geothermie geboorde putten en een uitgebreide studie in combinatie met een proefboring die voor GeoMec Brielle is uitgevoerd (IF Technology 2011).

Op de technische kaarten in bijlage 2 – kaart 2.1A tot en met kaart 2.3C – is aangegeven welke boringen gebruikt zijn.

De interpretaties van de diepte van de basis en/of top van de NLOG-boringen zijn mogelijk niet allemaal correct. Om de verkeerde interpretaties uit de database te filteren zijn de data onderling vergeleken. Daarnaast zijn deze ook vergeleken met de kaarten van de Rijks Geologische Dienst (RGD studies), die opgesteld zijn op basis van seismiek en een gering aantal boringen. Het is mogelijk dat nog steeds een aantal foute interpretaties meegenomen zijn in de kaarten. Het Zand van Brussel en de Formatie van Maassluis komen niet overal in Zuid-Holland voor. De grenzen van het voorkomen van deze twee lagen zijn bepaald op basis van kaarten uit een RGD studie (Doorn 1984) en de NLOG-database.

Netto zanddikte

Aangezien een reservoir nooit in zijn geheel geschikt is om water aan te onttrekken, is het nodig om een netto zanddikte te bepalen. Het percentage van de totale dikte van de formatie waaraan effectief water kan onttrokken worden, hangt af van de kwaliteit van deze zanden (korrelgrootte, porositeit, kleigehalte, mate van sortering en cementatie) en de hoeveelheid klei-inschakelingen (of andere sedimentatie). Dit percentage is voor elk reservoir anders.

Formatie van Maassluis

De afzettingen van de Formatie van Maassluis zijn overwegend ondiep mariene, matig fijne tot grove kleiige zanden, die soms schelprijk zijn. Uit boorbeschrijvingen van DINOloket blijkt dat vooral in het noordwesten de sedimenten vaak kleiig zijn. De verschillen in

kwaliteit van de zandige trajecten zijn gering. Voor de netto zanddikte is op basis van beschikbare gegevens een percentage van 70% van de bruto dikte ingeschat.

Formatie van Oosterhout

De formatie bestaat uit een pakket mariene kleien, zandige kleien en kleiige zanden. De afzettingen bevatten vaak glimmers, verkoolde houtresten en vooral in het oosten veel schelpgruis. Zowel de basale lagen als de top van de formatie bestaan in grote delen van Nederland uit zandige afzettingen. Hiertussen zitten kleiige niveaus die uitwiggen naar het oosten. In het westen van Nederland ontbreekt het basale zandpakket volledig. Volgens de boorbeschrijvingen uit DINO loket zijn de regionale verschillen van de kwaliteit van de zandpakketten gering. De netto zanddikte bedraagt ongeveer 30%.

Zand van Brussel

Het Zand van Brussel is een mariene afzetting bestaande uit zeer fijn, vaak verkit, klei- en kalkhoudend zand. Deze sedimenten zijn afgezet in twee gescheiden bekkens in Nederland, waarbij de bekkens gesitueerd waren in het zuidwesten (Zeeland, West Brabant en ten zuiden van Rotterdam) en het noorden (lijn ten noorden van midden Noord-Holland, midden Flevoland, noordwest Gelderland en midden Overijssel). Uit de geïnventariseerde data blijkt dat de kwaliteit van het zand vermindert naar het noorden en de bekkenranden toe. Dit blijkt uit de toename in het kleigehalte en cementatie en een slechtere sortering. In het algemeen neemt het kleigehalte toe aan de basis en de top. Op basis van de geïnventariseerde data is bepaald dat de netto zanddikte 50% van de bruto dikte bedraagt voor het overgrote gedeelte van Zuid-Holland en 70% ten zuiden van Oud-Beijerland.

Rijnland Groep

De Rijnlandgroep is alleen meegenomen om de potentie voor OGT te bepalen (niet voor HTO). De reden hiervoor is dat sommige delen van de Rijland Groep relatief ondiep liggen waardoor de temperatuur lager is dan 35°C. Hierdoor heeft de groep geen potentie voor geothermie, maar dat wil niet zeggen dat ze geen potentie hebben voor OGT. De Rijnland Groep bestaat uit glauconiethoudende zandstenen, siltstenen, kleistenen en mergels. De groep wordt onderverdeeld in de Vlieland Zandsteen Formatie, de Vlieland Kleisteen Formatie en de Holland Formatie (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**0). De twee erstgenoemde formaties vormen tezamen de informele Vlieland subgroep. De Rijnland Groep is aanwezig in het grootste deel van het onderzoeksgebied, op het Zeeland Platform, is de groep niet afgezet. Het onderste deel van de Rijnland Groep is het (tijd-)equivalent van het bovenste deel van de Schieland Groep.

De Vlieland Zandsteen Formatie bestaat in het West-Nederlands Bekken uit een aantal zandlichamen, die in noordoostelijke richting lateraal overgaan in de Vlieland Kleisteen

Formatie. Van onder naar boven zijn dit het Rijswijk, het Berkel Zand-Kleisteen, het Berkel Zandsteen, het lJsselmonde Zandsteen en het De Lier Laagpakket.

### 2.1.2 Temperatuur

De temperatuur in de verschillende formatie is gebaseerd op een geothermische gradiënt van 31°C/km en een gemiddelde oppervlakte temperatuur van 10°C. De temperatuurkaarten geven de temperatuur in het midden van de formatie weer.

### 2.1.3 Doorlatendheid (permeabiliteit)

Doordat bijna geen rechtstreekse permeabiliteitmetingen beschikbaar zijn, is het enkel mogelijk om een inschatting te maken van de permeabiliteit van het reservoir. Deze inschatting wordt gemaakt aan de hand van de kwaliteit van het zand (korrelgroottes, kleigehaltes, sortering, compactie en cementatie), op basis van literatuurgegevens en op basis van gerealiseerde bodemenergie projecten. De permeabiliteit is voor ieder reservoir constant gehouden. De volgende permeabiliteitswaarden[1] voor de verschillende reservoirs zijn gebruikt:

| | |
|---|---|
| Formatie van Maassluis | 10,0 m/d |
| Formatie van Oosterhout | 8,0 m/d |
| Zand van Brussel | 1,5 m/d |
| Rijland Groep | 0 tot 1,5 m/d |

## 2.2 Potentie

Voor HTO en OGT wordt de potentie bepaald door het debiet (m3/h) dat aan een formatie onttrokken kan worden. Het debiet is afhankelijk van de doorlatendheid en de netto dikte van het reservoir. Er is in dit geval gekozen om de potentie in debiet uit te drukken omdat het thermisch vermogen afhankelijk is van de retourtemperatuur en deze per project zeer kan verschillen. Om het debiet te bepalen wordt gebruik gemaakt van de NVOE-ontwerpnormen (NVOE 2006). De potentie van de Rijnland Groep is bepaald door de ontwerpnorm van de NVOE met 30% te verhogen. Deze verhoging is toegestaan omdat de laag meer geconsolideerd is dan de andere lagen. Hierdoor zijn hogere debieten toelaatbaar voordat zandlevering een risico gaat vormen.

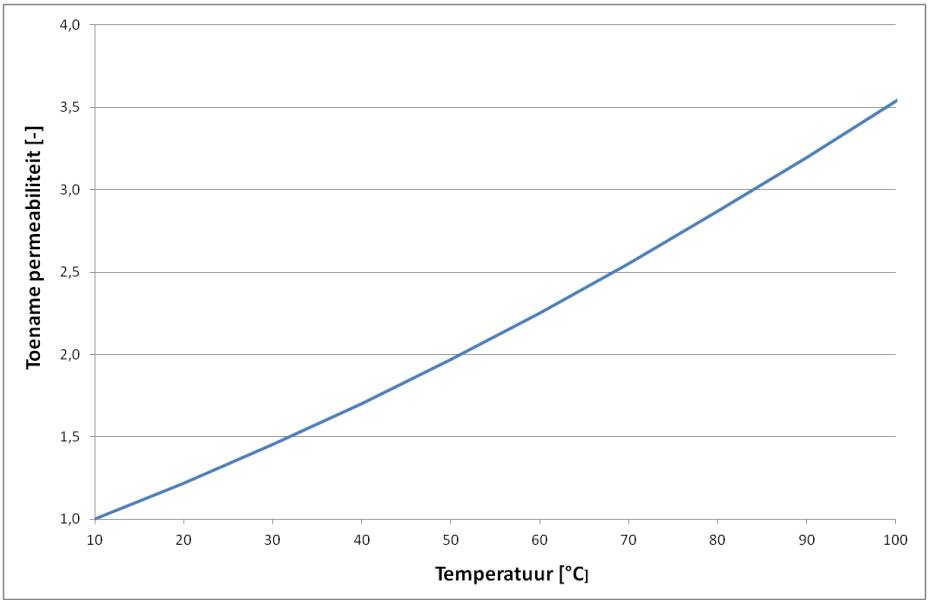
In de ontwerpnormen speelt de doorlatendheid een belangrijke rol. De doorlatendheid is afhankelijk van de temperatuur van het water. In Figuur 2 is de relatie tussen temperatuur en toename in permeabiliteit weergegeven. Voor het opstellen van deze relatie is gebruik gemaakt van de correlatie van Batzle en Wang (Batzle M. and Wang Z. 1992) en is

[1] Voor ondiepe pakketten wordt de permeabiliteit vaak uitgedrukt in m/d en bij diepe pakketten (geothemrie) in Darcy. Darcy is naar m/d om te rekenen door de eigenschappen van het formatiewater mee te nemen. Ondiep variëren de eigenschappen van het formatiewater niet zo veel waardoor hier geen rekening mee gehouden hoeft te worden.

uitgegaan van een TDS[2] van 5.000 ppm. Uit het figuur blijkt dat de permeabiliteit bij 100°C 3,5 maal zo hoog is als een de permeabiliteit bij 10°C. Naast de permeabiliteit speelt ook de brondiameter een rol. Voor het opstellen van de kaarten is een diameter van 800 mm aangehouden. Dit is een in de prakrijk zeer veel toegepaste boordiameter.

Voor de debietkaart van OGT is het temperatuur effect niet meegenomen omdat de temperaturen minder variëren dan bij HTO. Voor de debietkaart van HTO is uitgegaan van een gemiddelde temperatuur van circa 62,5°C. Deze temperatuur is gebaseerd op de temperatuur die tussen de “koude” bron (35°C) en de warme bron (90°C) in zit. Dit betekent dat voor het opstellen van de debietkaart voor HTO de permeabiliteit met een factor 2,3 is vermenigvuldigd.

*Figuur 2*
*Effect temperatuur op permeabiliteit.*




In 2012 en 2013 zijn er door zowel IF Technology als Panterra studies uitgevoerd naar de mogelijkheden van OGT voor een tuinder in Moerkapelle-Waddinxveen (Panterra 2012; IF Technology 2013a). Uit deze studies kwam naar voren dat het verwachte debiet voor deze locatie ongeveer 50 $m^3$/h bedraagt. Gezien het ontbreken van goede put data is dit debiet echter zeer onzeker. De waarde van 50 $m^3$/h komt goed overeen met de waarde op de potentiekaart van OGT Rijnland.

[2] *TDS – Total Dissolved Solids, te vergelijken met saliniteit.

# 3 Geothermie

Voor geothermie komen verschillende lagen binnen Zuid-Holland in aanmerking. In de praktijk kunnen de verschillende lagen vaak niet gecombineerd gebruikt kunnen worden in dezelfde put. Verschillende systemen kunnen wel boven elkaar gepositioneerd worden. Het eenvoudig optellen van de potentie van de verschillende lagen leidt hierdoor tot een overschatting van de potentie op een bepaalde locatie. In deze studie zijn daarom drie potentie kaarten opgesteld, voor elke formatie één. Bij het opstellen is zoveel mogelijk rekening gehouden met het uitsplitsen van deze lagen, binnen een formatie is zoveel mogelijk gecombineerd en gesommeerd. Dit is met name het geval voor lagen vanuit de Rijnland Groep en Schieland Groep. Lagen uit het Trias zullen in de praktijk niet gecombineerd worden met lagen vanuit de Rijnland Groep en Schieland Groep. In de volgende paragrafen (3.1 en 3.2) wordt per formatie beschreven hoe de potentiekaart opgesteld is.

## 3.1 Uitgangspunten potentieel berekening

In tegenstelling tot de potentiekaarten van HTO en OGT waarin de potentie wordt uitgedrukt in een debiet, worden de potentiekaarten voor geothermie uitgedrukt in een thermische vermogen. Er is gekozen om de kaarten weer te geven in thermisch vermogen omdat dit in het algemeen de parameter is waarop besloten wordt een geothermiesysteem al dan niet te gaan realiseren.  Het thermisch vermogen is bepaald door een standaard doublet door te rekenen, waarbij de uitgangspunten uit Tabel 1 zijn gehanteerd. Er zijn twee scenario's doorgerekend. Een scenario met een COP van 15 en een retourtemperatuur van 35°C en een scenario met een COP van 10 en een retour van 25°C. Dit is gedaan omdat landelijk uitgegaan wordt van een COP 15 en een retour 35°C. In praktijk zijn echter al voorbeelden van een COP 10 met retour van 25°C. Beide scenario's zijn doorberekend zodat een bepaalde range wordt verkregen.

De potentiekaarten waarbij de lagere COP in combinatie met de lagere retourtemperatuur zijn gehanteerd geven een grotere potentie dan bij de andere uitgangspunten.

*Tabel 1 Uitgangspunten vermogens berekening.*

| Laag | Put dia. [inch] | Afstand tussen de putten en gemiddelde diepte [m] | COP en Pomprendment [-] | TDS[3] [g/l] en retour temp. [°C] | Temperatuur, dikte en permeabiliteit |
|---|---|---|---|---|---|
| Rijnland | 8,5 | 1.500 / 2.000 | 15 / 0.7<br>10 / 0.7 | 100 / 35<br>100 / 25 | Locatie afhankelijk |
| Schieland | 8,5 | 1.500 / 2.500 | 15 / 0.7<br>10 / 0.7 | 100 / 35<br>100 / 25 | Locatie afhankelijk |
| Trias | 8,5 | 1.500 / 2.800 | 15 / 0.7<br>10 / 0.7 | 150 / 35<br>100 / 25 | Locatie afhankelijk |

Bij het berekenen van de thermische vermogens is geen rekening gehouden met wrijvingsverliezen in de put. Verder presenteren de kaarten het verwachte thermische vermogen. Het vermogen is sterk afhankelijk van het debiet van de productie en injectieput. Hoe groter het debiet hoe groter het positieve effect van een lagere COP op het totale putvermogen. Om de totale potentie van geothermie inzichtelijk te maken zijn de verschillende potentiekaarten gesommeerd.

Ook zijn de potentiekaarten omgerekend naar energiekaarten. De omrekening van potentie ($MW_t$) naar energie (PJ) is als volgt:

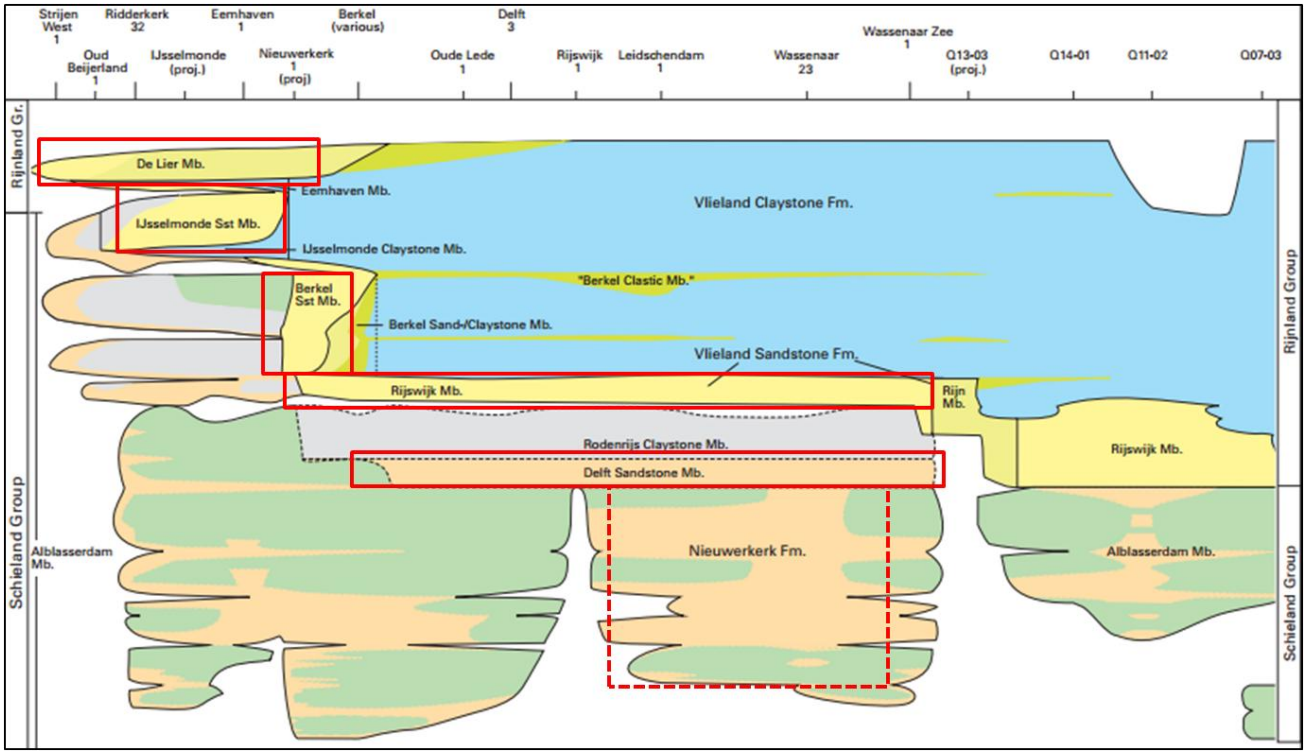
E [PJ] = potentie [$MW_t$] * 8760 [h] * 3600 [s] / $10e^9$

[3]TDS – Total Dissolved Solids, te vergelijken met saliniteit.

### 3.1.1 Rijnland en Schieland Groep

Binnen deze groepen zijn verschillende lagen aanwezig die mogelijk geschikt zijn voor de toepassing van geothermie (zie Figuur 3). Voor het opstellen van deze kaarten is als basis de kartering (DGM diep v4) en ThermoGis (v1.2) gebruikt. De gegevens uit deze karteringen zijn aangevuld met analyses van aanwezige olie- en gasputten en gerealiseerde geothermieprojecten.

*Figuur 3 Overzicht geschikte laagpakketten binnen Rijnland en Schieland Groep. (bron: NLOG.nl).*




**Rijnland Groep**

Van de Rijnland Groep zijn de volgende laagpakketten in de analyse meegenomen:

- Groenzand Lp.
- Berkel Lp.
- De Lier Lp.
- Rijswijk Lp.
- IJsselmonde Lp.

De overige laagpakketten die binnen deze groep voorkomen, zijn binnen Zuid-Holland afwezig of zijn onvoldoende ontwikkeld om gebruikt te kunnen worden.

De dieptekaart geeft de diepte van de top van de minst diep gelegen laag weer. Dit kan per locatie verschillen. Immers een locatie waar bijvoorbeeld het Groenzand Lp afwezig is, zal een ander laagpakker het meest ondiep liggen.

De temperatuur is berekend aan de top van de ondiepst gelegen laag op basis van de volgende geothermische gradiënt:

T [°C]= 0.031 [°C/m] * diepte [m] + 10 [°C]

De berekende waardes zijn gecontroleerd aan de hand van uitgevoerde temperatuurmetingen in olie- en gasputten.

Vervolgens is per laagpakket een dikte- en een permeabiliteitskaart gemaakt. De gegevens hiervoor zijn afkomstig uit ThermoGis. Voor de dikte is een cut-off van 200 meter aangehouden en voor de permeabiliteit is een cut-off van 1.500 mD aangehouden. Dit betekent dat bij een dikte groter dan 200 m, 200 m is aangehouden en bij een permeabiliteit groter dan 1.500 mD ,1.500 mD is aangehouden.

De diktekaart en de permeabiliteitskaart zijn met elkaar vermenigvuldigd om een transmissiviteitskaart (permeabiliteit maal dikte) te verkrijgen. De transmissiviteitskaarten van de verschillende laagpakketten zijn vervolgens, daar waar de lagen mogelijk gecombineerd (met één pomp filter) gebruikt kunnen worden, opgeteld. Deze gesommeerde kaart in combinatie met de temperatuurkaart is vervolgens gebruikt om het thermische vermogen te berekenen.

De technische kaarten van de Rijnlandgroep - dikte, diepte en temperatuur - zijn te vinden in bijlage 2: kaart 2.4.A t/m 2.4.C.

**Schieland Groep**

Van de Schieland Groep zijn de volgende laagpakketten in de analyse meegenomen:

- Delft zand Lp.
- Alblasserdam Lp. (zeer onzeker of deze laag potentie biedt).

De dieptekaart is gebaseerd op gegevens uit ThermoGis. Op basis van de gerealiseerde geothermische systemen, uitgevoerde geothermische studies en olie- en gasboringen, zijn vervolgens dikte en permeabiliteitskaarten geconstrueerd. Deze kaarten zijn samen met de temperatuurkaart gebruikt om het thermische vermogen te berekenen.

In Tabel 2 staan de gebruikte gegevens van de gerealiseerde geothermieprojecten en gebruikte boringen. De temperatuur en het debiet van de geothermische putten zijn afkomstig van: de Provincie, websites van de diverse projecten en de website van het

platform Geothermie. Om de transmissiviteit te berekenen is uitgegaan van een COP van 15 en een retourtemperatuur van 35°C. De transmissiviteit is vervolgens gebruikt om het thermische vermogen te berekenen. Door de aanname van een bepaalde COP en retourtemperatuur kan het voorkomen dat de potentiekaart een ander thermisch vermogen geeft bij een gerealiseerd systeem dan waar dat systeem in de praktijk op draait

*Tabel 2 gegevens gerealiseerde geothermie projecten en geanalyseerde olie- en gasputten.*

| Geothermie project | Temperatuur [°C] | Debiet [m3/h] | Transmissiviteit [Dm] |
|---|---|---|---|
| LIR-GT-01, LIR-GT-02 | 87 | 270 | 60 |
| HON-GT-01, HON-GT-01-S1, HON-GT-02, HON-GT-02-S2 | 80 | 170 | 15 |
| VDB-GT-01, VDB-GT-01-S1, VDB-GT-02, VDB-GT-02-S2, VDB-GT-03, VDB-GT-04 | 70 | 160 | 24 |
| PNA-GT-01, PNA-GT-02 | 76 | 180 | 19 |
| PPNA-GT-03, PNA-GT-03-S1, PNA-GT-03-S2, PNA-GT-04 | 71 | 200 | 19 |
| HAG-GT-01 | 78 | 240 | 47 |
| HAG-GT-02 | 78 | 240 | 71 |
| VAL-01 | 57 | - | 25 |
| MON-03 | 82 | - | 0 |
| KDZ-02 | - | - | 14 |
| DEL-03 | 67 | - | 5 |
| HAG-02 | 66 | - | 35 |
| MKP-02 | - | - | 9 |
| MKP-10 | 41 | - | 10 |
| LED-01 | 58 | - | 2 |
| RWK-01 | 62 | - | 16 |
| NKW-02 | 67 | - | 3 |
| WOB-01 | 31 | - | 11 |
| MED-01 | 60 | - | 8 |
| WAS-23-S2 | 59 | - | 22 |

De technische kaarten van de Schielandgroep – Delft Zanden - dikte, diepte en temperatuur - zijn te vinden in bijlage 2: kaart 2.5.A t/m 2.5.C. De putlocaties zijn weergegeven in kaart 2.8E.

### 3.1.2 Trias

Van het Trias zijn de volgende laagpakketten in de analyse meegenomen (zie Figuur 4):

- Hardegsen
- Detfurth
- Volpriehausen

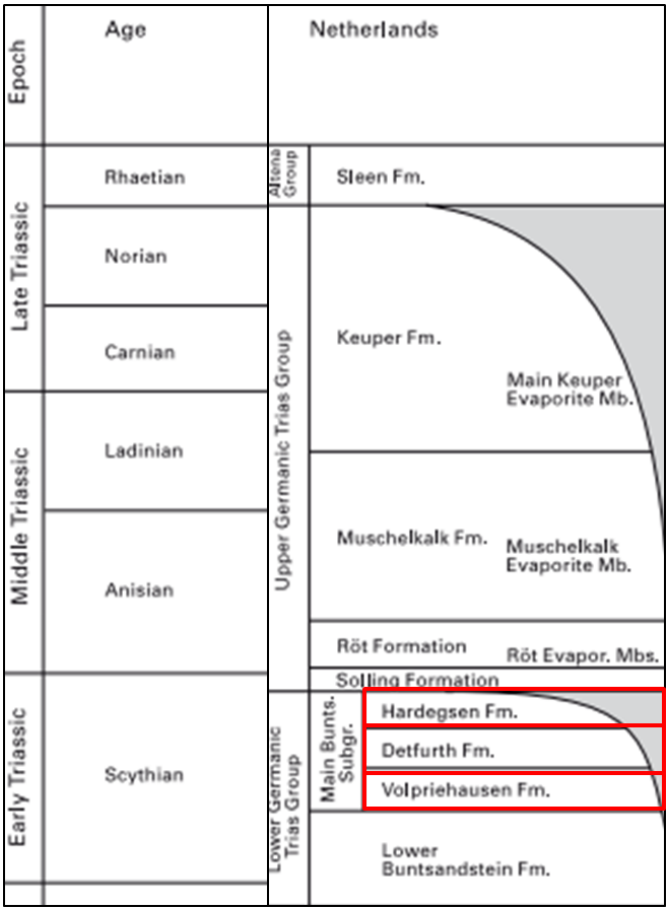
De data (dikte en diepte) van de verschillende lagen is afkomstig uit ThermoGis.
De diepte van de top van het Volpriehausen is gebruikt om de temperatuurkaart op te stellen. Hiervoor is gebruik gemaakt van de eerder genoemde geothermische gradiënt. De permeabiliteiten zijn afkomstig uit ThermoGis waarop een *cutt-off* waarde is toegepast (zie Tabel 3, kolom permeabiliteit). Als laatste stap is de permeabiliteit diepte afhankelijk gemaakt. Deze correctie betekent dat de permeabiliteit ieder 100 m ongeveer 35 % afneemt. Deze afname is het gemiddelde van een aantal in de regio afgeleide permeabiliteit-diepte relaties.

*Tabel 3 Uitgangspunten Trias.*

| laag | Dikte [m] | Permeabiliteit [mD] |
|---|---|---|
| Hardegsen | Data range[1] | 5 – 1.000 |
| Detfurth upper | Data range | 5 – 480 |
| Detfurth lower | Data range | 5 – 230 |
| Volpriehausen upper | Data range | 5 - 1.500 (max 9.800)[2] |
| Volpriehausen lower | Data range | 5 - 1.500 (max 7.800) |

1) Data range is alle data zonder cut-off gebruikt.
2) Data van 5 tot maximaal 1.500 mD gebruikt.

Per laag is vervolgens in combinatie met de netto dikte van die laag een transmissiviteitkaart gemaakt. De verschillende transmissiviteitskaarten zijn opgeteld en in combinatie met de temperatuurkaart gebruikt om een vermogenskaart te berekenen. De vermogenskaart is getoetst aan de hand van het gerealiseerde project bij Brielle (80 -85°C en 17 MW, bron: platform geothermie) en aan de hand van uitgevoerde geologische studies bij Maasvlakte en Rotterdam.




*Figuur 4*
*Lagen van het Trias (bron: NLOG.nl).*

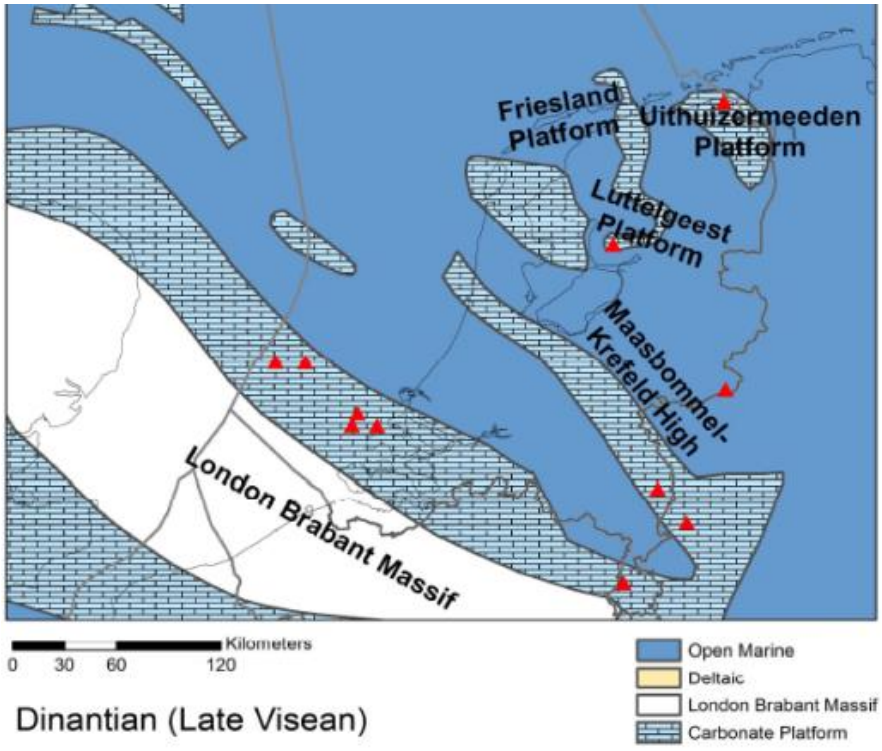
De technische kaarten van het Trias- dikte, diepte en temperatuur - zijn te vinden in bijlage 2: kaart 2.6.A t/m 2.6.C.

# 4 UDG

Voor de potentiekaart van UDG is de diepteligging van de top van de Kolenkalk gebruikt. De dieptekaart is gebaseerd op DGM-diep v4 en op basis van eerder uitgevoerde haalbaarheidsstudies van IF Technology (IF Technology 2010; IF Technology 2013b; IF Technology 2009). In Figuur 5 zijn de voorkomens van de carbonaat platformen van de Kolenkalk weergegeven (Harings 2014). De beste potentie is ter plaatse van de carbonaat platformen aangezien hier de kans het grootst is dat er natuurlijke permeabiliteit aanwezig is. In de dieper gelegen blauwe (mariene) delen bestaat de formatie met name uit klei, waardoor de permeabiliteit zeer laag is. Zonder stimulatie is hier geen rendabel UDG project te realiseren (IF Technology 2015a).

De temperatuur is gebaseerd op de geothermische gradiënt. Voor de Kolenkalk wordt op basis van de gerealiseerde projecten in Venlo en in Mol een debiet tussen de 150 en 300 $m^3$/h in geschat.

*Figuur 5 Voorkomen Kolenkalk.*



# 5 Verschillen met bestaande potentiekaarten

Er zijn op dit moment diverse andere potentiekaarten voor geothermie in omloop. Een 1 op 1 vergelijking maken met andere potentiekaarten is niet mogelijk omdat de verschillende potentiekaarten gebaseerd zijn op andere aannames en of uitgangspunten. Alle kaarten zouden natuurlijk wel een zelfde trend moeten laten zien.

### Trias

Op nlog.nl zijn de meest recente VRODO kaarten (2012) te vinden met hierin provinciale gegevens over de potentie van geothermie. Als we de kaarten van deze studie vergelijken met de VRODO kaarten uit 2012 valt op dat er in de regio Capelle aan de IJssel en Zevenhuizen een groot verschil aanwezig is tussen beide potentiekaarten op het Trias niveau. Bij nadere bestudering blijkt dat er in dit gebied maar een put aanwezig is: CAP-01. Uit zowel de put interpretatie van ThermoGis (TNO) als IF, blijkt dat de potentie van geothermie van het Trias bij deze put zeer laag is. De interpretatie in de VRODO kaart van 2012 is op deze locatie overschat. De nieuwere (gesommeerde) VRODO kaarten van 2013 laten in deze regio al een veel lagere potentie zien die beter overeen komen met ThemoGis en de interpretaties van IF.

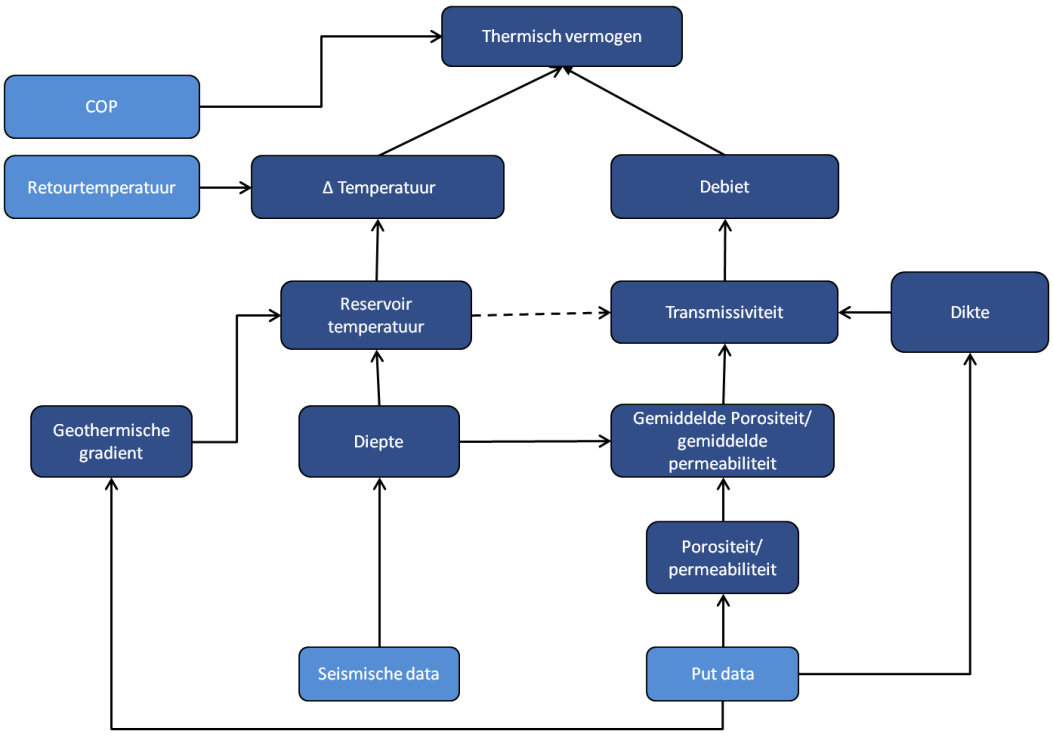
Om dit moment wordt er een boring bij FloraHolland voorbereid. Deze boring heeft mede tot doel om de potentie van het Trias te kwantificeren, zodat de huidige modellen getoetst kunnen worden. Op basis van de resultaten van de boring kan de potentiekaart indien noodzakelijk bijgesteld worden.

### Krijt

De VRODO kaarten van 2012 voor de Jura (Schieland) en Krijt (Rijland) laten in de regio van Hoek van Holland een hogere potentie zien dan de potentie kaarten van dit rapport. Omdat het Delftzand zand (Jura) zo zuidelijk niet aanwezig is, moet deze potentie komen van de lagen uit het Krijt. Als naar de beschikbare putten worden gekeken, blijkt de dat studies het eens zijn over de potentie bij de putten. Er wordt alleen anders geïnterpoleerd tussen de putten. Onderhavige studie is gebaseerd op de data, en dus ook de interpolatie van ThermoGis. De afwijkende interpolatie tussen de VRODO kaart en ThermoGis is waarschijnlijk het gevolg van een extra datapunt dat ThermoGis meeneemt (SGV-01). Dit punt laat inderdaad een lage potentie in de omgeving van ’s-Gravenzande zien.

# 6 Gevoeligheidsanalyse

Het thermische vermogen is afhankelijk van verschillende factoren. Dit zijn niet alleen geologische factoren maar ook bedrijfsvoeringtechnische factoren. Niet alle factoren hebben een even grote invloed op het thermische vermogen**.** Om de invloed van verschillende factoren op het thermische vermogen te kwantificeren is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.




*Figuur 6 Samenhang van factoren die het thermisch vermogen bepalen.*

In Figuur 6 is een flow chart weergegeven dat aangeeft van welke factoren het thermische vermogen afhankelijk is en hoe ze samenhangen.

Verder is in het schema aangegeven op basis van welke databronnen de geologische factoren bepaald worden. De bedrijfstechnische factoren zoals COP en retourtemperatuur worden aangenomen. De reservoirtemperatuur en de saliniteit van het formatiewater hebben invloed op de viscositeit van het formatiewater en dus ook op het debiet. Verder hebben beide parameters ook invloed op de warmtecapaciteit van het water. In Tabel 4 staan de voor de gevoeligheidsanalyse gebruikte factoren. Alle factoren zijn ten opzichte van een base case verhoogd en verlaagd met 25%. De parameters zijn één voor één

gevarieerd zodat goed inzichtelijk is wat de invloed van de verschillende afzonderlijk parameters is.

*Tabel 4 Input gevoeligheidsanalyse*

| Thermisch vermogen | minimum | base | maximum | eenheid |
|---|---|---|---|---|
| Diepte (druk) | 1500 | 2000 | 2500 | [mTVD] |
| Aanvoer temperatuur | 53 | 70 | 88 | [°C] |
| Permeabiliteit | 150 | 200 | 250 | [mD] |
| Dikte | 75 | 100 | 125 | [m] |
| TDS | 75 | 100 | 125 | [g/l] |
| Retour temperatuur | 26 | 35 | 44 | [°C] |
| COP | 11 | 15 | 19 | [-] |

Op basis van de factoren in Tabel 4 zijn de thermische vermogens berekend, zie Tabel 5. Om de resultaten van de gevoeligheidsanalyse beter inzichtelijk te maken zijn ze in een tornadoplot weergegeven (zie Figuur 7).

*Tabel 5 Resultaten gevoeligheidsanalyse*

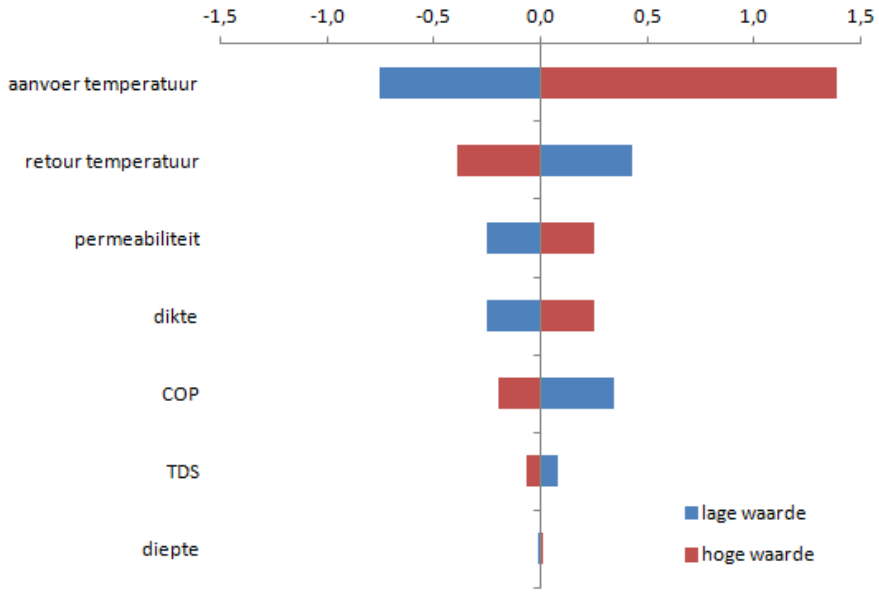
| Thermisch vermogen | minimum | base | maximum | eenheid |
|---|---|---|---|---|
| Diepte (druk) | 7,1 | 7,2 | 7,3 | [MW] |
| Aanvoer temperatuur | 1,8 | 7,2 | 17,2 | [MW] |
| permeabiliteit | 5,4 | 7,2 | 9,0 | [MW] |
| Dikte | 5,4 | 7,2 | 9,0 | [MW] |
| TDS | 7,8 | 7,2 | 6,7 | [MW] |
| Retour temperatuur | 10,3 | 7,2 | 4,4 | [MW] |
| COP | 9,7 | 7,2 | 5,8 | [MW] |

In de Tornadeplot wordt met twee kleuren gewerkt. Blauw betekent dat de waarde van een factor 25% verlaagd is ten opzichte van de base case en een rode kleur betekent een verhoging van 25% ten opzichte van de base case. Een verhoging kan zowel een positief als een negatief effect hebben op het thermische vermogen. Hetzelfde geldt voor een verlaging. Het effect staat weergegeven op de horizontale as.

Uit de tornadoplot valt op te maken dat de aanvoertemperatuur verreweg de belangrijkste factor is. De grote invloed van deze factor komt doordat hij zowel van invloed is op het temperatuursverschil (dT) als op de viscositeit. Een hogere temperatuur resulteert in een lagere viscositeit waardoor het water makkelijker door de formatie stroomt. Verder is de retourtemperatuur een belangrijke factor. De dikte en permeabiliteit zijn beide even belangrijk. Dit is logisch aangezien ze vermenigvuldigd worden met elkaar om de transmissiviteit te verkrijgen. De TDS heeft een beperkte invloed en de diepte bijna geen.

Dat de diepte bijna geen rol speelt komt omdat er bij de berekeningen vanuit is gegaan dat de diepte alleen van invloed is op de druk en hierdoor alleen de dichtheid en de viscositeit van het water beïnvloed. In werkelijkheid zullen de wrijzingsverliezen in de put toenemen met de diepte (langer put) waardoor de invloed van de diepte groter zal zijn. Het putontwerp is echter buiten beschouwing gelaten in deze gevoeligheidsanalyse.

*Figuur 7 Tornadoplot gevoeligheidsanalyse verschillende parameters op het thermisch vermogen*



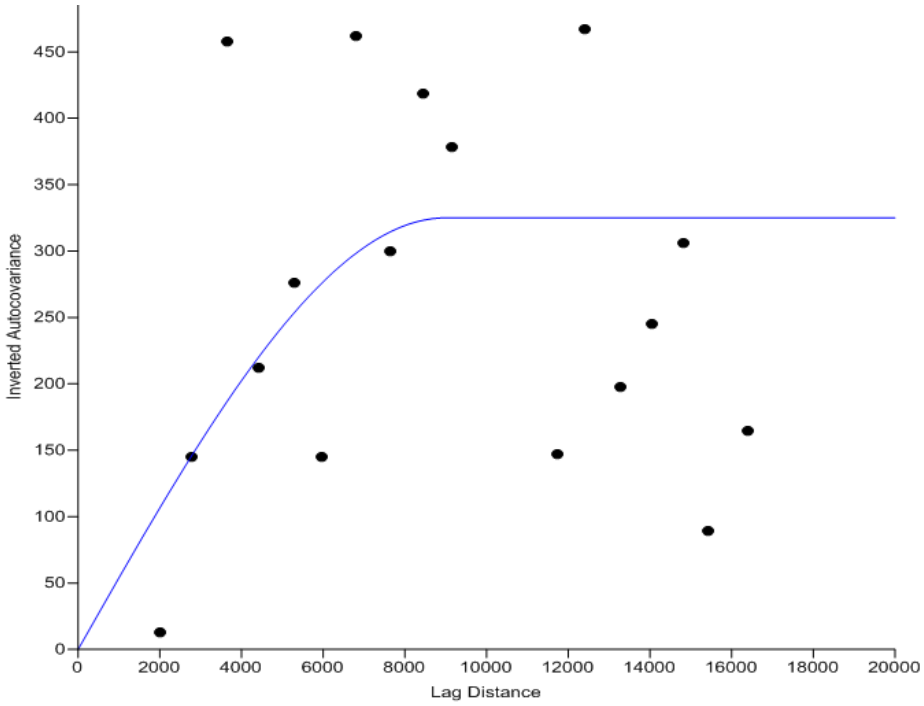

# 7 Onzekerheidsanalyse

De onzekerheidsanalyse is uitgevoerd door aan de datapunten een voorspellende reikwijdte toe te kennen. Deze reikwijdte is bepaald per laag aan de hand van een variogram. In een variogram wordt de variantie van puntenparen uitgezet tegen de afstand tussen de punten van dat puntenpaar. Een voorbeeld van een variogram is weergegeven in Figuur 8. Uit deze analyse bleek dat de voorspelde waarde voor een put voor OGT en HTO ongeveer 15 km is, en de voorspellende waarde van een put voor geothermie ongeveer 10 km. Dit betekend dat binnen deze straal de mate van voorspelling verhoudingsgewijs hoog is. Dit wil niet zeggen dat bijvoorbeeld het vermogen binnen een straal van 10 km rondom de put even hoog is.

Deze afstanden komen overeen  met de afstanden die genoemd worden in een studie van TNO naar de te nemen maatregelen om de onzekerheid in de geologische parameters te

verkleinen (TNO 2010). De afstanden in de TNO studie zijn ook gebaseerd op variogrammen.

*Figuur 8*
*Voorbeeld variogram.*




De onzekerheidkaarten, te vinden in bijlage 2: kaart 2.8A T/M 28F. De kaarten zijn opgesteld door rondom ieder data punt een cirkel te tekenen met een straal van respectievelijk 10 of 15 km. Binnen deze cirkel neemt de voorspelde waarde met de afstand tot het data punt af (onzekerheid neemt toe). Dit wordt geïllustreerd door een steeds lichter worden kleur. Hoewel de voorspellende waarde van een datapunt met de afstand afneemt, kunnen de cirkels van verschillende datapunten elkaar overlappen, in deze gebieden is de onzekerheid weer kleiner omdat er gebruik gemaakt kan worden van meerdere datapunten.

# 8 Hernieuwbaarheid

Bij geothermie wordt warmte aan de ondergrond onttrokken en na afkoeling weer teruggebracht in de laag waaraan het ontrokken is. Na verloop van tijd zal dit afgekoelde water de productiebron bereiken, waardoor de onttrekkingstemperatuur afneemt. Na hoeveel tijd de doorbraak van koude plaatsvindt hangt af van: debiet, draaiuren, dikte van de laag, eigenschappen van de laag en afstand tussen de putten. Er bestaan eenvoudige analytische formules om een indicatie te krijgen van de benodigde afstand tussen de putten (Brigham 2001):

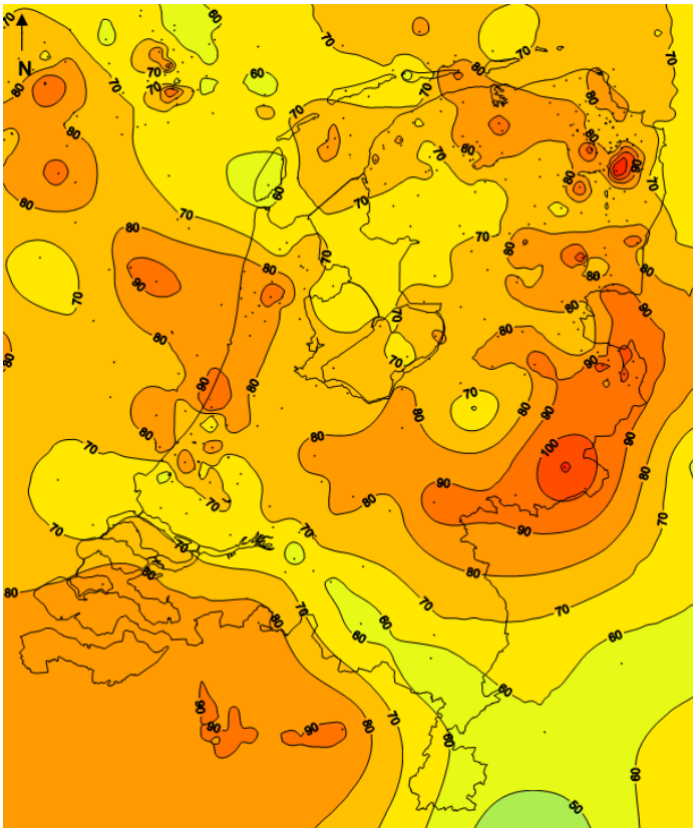
$$t_b = \frac{\pi\, C_t L^2 h}{3\, C_f q}$$

$t_b$ : doorbraak tijd [jaar]
$C_t$ : warmtecapaciteit reservoir [MJ/m3 K]
$C_f$ : warmtecapaciteit water [MJ/m3 K]
L : afstand tussen de putten [m]
h : dikte reservoir [m]
q : water verplaatsing op jaarbasis [$m^3$]

Deze analytische formules kunnen echter alleen gebruikt worden als eerste indicatie. Een aantal processen zoals geleiding naar boven- en onderliggende lagen en stroming in de laag worden namelijk niet meegenomen. Verder geeft de analytische formule geen inzicht in hoe de temperatuur van de productie put daalt in de tijd. De formules om dit te berekenen zijn een stuk ingewikkelder, of er moet gebruik gemaakt worden van een reservoirmodel. Na doorbraak begint de onttrekkingstemperatuur te dalen. Dit betekent dat het thermische vermogen afneemt, maar nog niet dat de levensduur van het systeem ten einde is.

De afgekoelde stukken worden door de warmteflux vanuit de aarde weer opgewarmd. De warmteflux varieert door Nederland, zie Figuur 9. Met behulp van de warmteflux kan berekend worden hoe snel de afgekoelde stukken weer opwarmen.

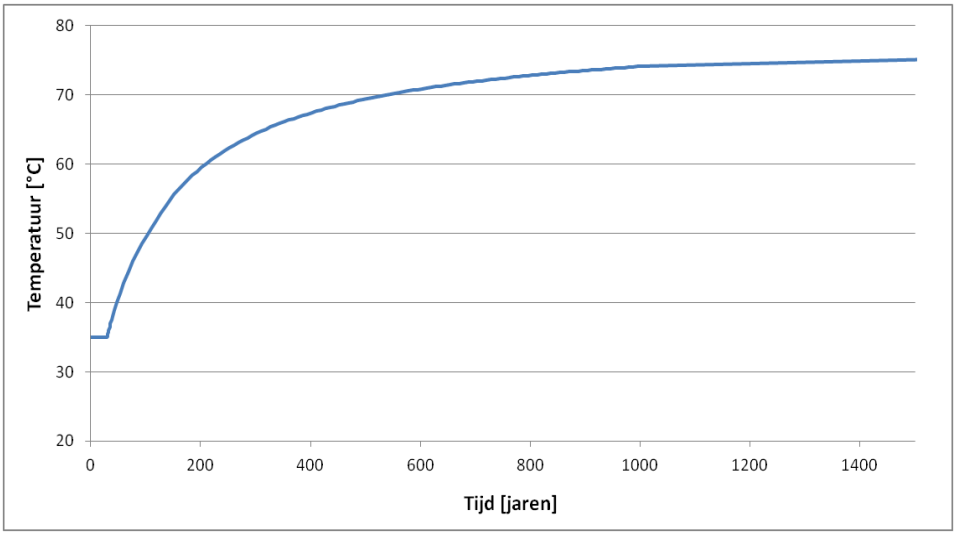
Om een idee te krijgen van het lang het duurt voor de beginsituatie zich weer hersteld heeft, is een modelberekening uitgevoerd. In het model is een reservoir van 100 m dikte met een gemiddelde temperatuur van 80°C aangehouden. Verder wordt er van uitgegaan dat er 30 jaar lang 6.000 u per jaar water met een debiet van 200 m3/u onttrokken en met een temperatuur van 35° geïnfiltreerd wordt. In het model is conform deze studie een temperatuurgradiënt van 0,031 °C per meter aangehouden.



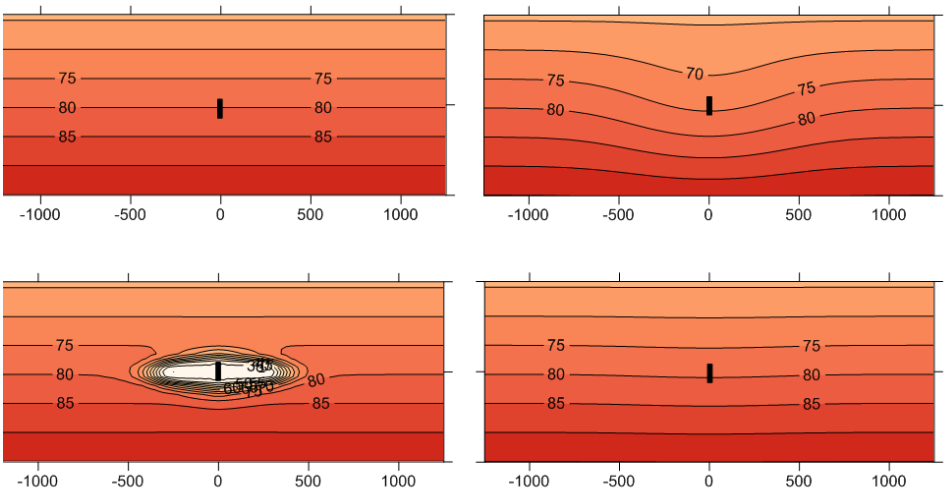

*Figuur 9 Warmte flux [mW/m2] kaart Nederland. Bron: Hurter and Haenel, 2002.*

In Figuur 10 is het verloop weergegeven van hoe de temperatuur van het reservoir zich hersteld na 30 jaar warmteproductie. In Figuur 11 zijn voor 4 tijdstippen dwarsdoorsnedes van het model weergegeven. Uit de grafiek is op te maken dat het herstel de eerste 400 jaar het snelst gaat en dat het hierna langzamer verloopt.

*Figuur 10 Temperatuur herstel reservoir na 30 jaar warmte onttrekking en koude injectie.*




*Figuur 11 Temperatuur van het reservoir. links boven initieel, links onder na 30 jaar, rechts boven na 1000 jaar en rechts onder na 2000 jaar.*



# 9 Reservoirstimulatie

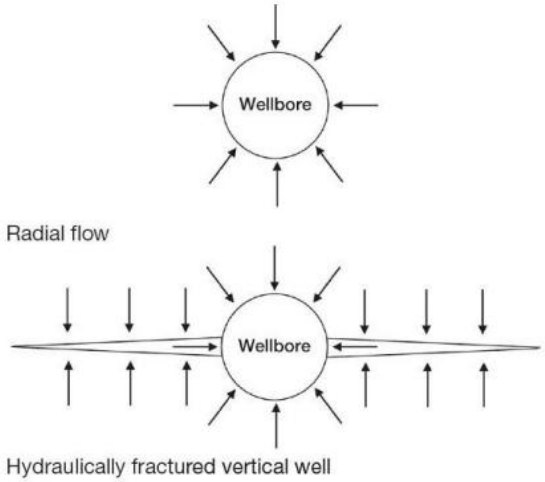
Om de potentie van geothermie te bepalen is in deze studie uitgegaan van de natuurlijke permeabiliteit die in de ondergrond aanwezig is. Echter, in de praktijk is het mogelijk om de natuurlijke permeabiliteit te verbeteren of zelfs aan te brengen daar waar hij afwezig is. Hiermee kan de potentie van geothermie toenemen. Hieronder een korte toelichting over hoe dit in zijn werk gaat.

De term reservoirstimulatie is erg algemeen en omvat vele stimulatietechnieken die allen een specifiek doel dienen. Zo zijn er onder andere stimulatie door middel van zuurinjectie, thermische stimulatie en stimulatie door geluid. De meest toegepaste - en in de meeste gevallen meest succesvolle - techniek is hydraulic fracturing, fraccing of het hydraulisch breken van het reservoirgesteente. Deze techniek wordt met succes al tientallen jaren in de olie en- gasindustrie toegepast.

Bij deze techniek wordt een vloeistof in het reservoir geïnjecteerd met een snelheid die groter is dan de snelheid waarmee het reservoir de vloeistof kan opnemen en afvoeren. Door de drukopbouw zal het reservoirgesteente breken. De breuk (frac) die ontstaat wordt vervolgens gevuld met zand of een keramisch materiaal, bekend als proppant. De frac dient vervolgens als een stromingspad waardoor een grotere stroming mogelijk is dan via de rotsmatrix van het reservoir. De frac die gecreëerd wordt is enkele tientallen tot honderden meters lang en hoog en enkele millimeters tot centimeters dik. Deze frac creëert in principe een sterk negatieve skin - een mate van weerstand rond het boorgat - en daarmee een verbetering van de productiviteit.

In veel gevallen wordt uitgegaan van een skin van 0 voor een onvervuild, onverstoord reservoir. Er kan echter ook een positieve skin optreden, wanneer een reservoir - vaak dichtbij de put - vervuild is. Dit zorgt voor een verslechtering van de productiviteit, ook al zijn de natuurlijke porositeit en permeabiliteit van het reservoir hoog. Ook in deze gevallen kan fraccen verbetering opleveren. Niet door de hierboven 'grote' frac te creëren, maar door een kleinere stimulatie die alleen doorgevoerd wordt in een omtrek van centimeters tot enkele meters rondom de put. Dit vermindert de positieve skin van het vervuilde reservoir en zorgt op die manier voor een verbetering van de productiviteit.

In Figuur 12 staat schematisch weergegeven op welke wijze een frac positief bijdraagt aan de productie capaciteit van een put. Door het fraccen kan het debiet in een productie-/injectieput toenemen. Zonder frac is richting de put alleen radiale (cirkelvormige) stroming mogelijk.




*Figuur 12*
*Verschil in stroming naar een niet-gestimuleerde put (boven) en een wel-gestimuleerde put (onder). Bron: Economides and Martin (2007).*

Bij een frac met een totale lengte van 100 m (2x50 m) en een hoogte van 100 m, bedraagt dit contactoppervlak 10.000 $m^2$. De opbrengst van de put wordt hierdoor niet direct verhoogd met een factor 330 (10.000/30), maar het leidt wel tot een aanzienlijke verbetering van de putopbrengst. Afhankelijk van de reservoireigenschappen en het frac ontwerp kan een verbetering van een factor 2 tot 7 gerealiseerd worden (IF Technology 2015b).

# Literatuur


Batzle M., and Wang Z. 1992. “Seismic Properties of Pore Fluids.” *Geophysics* Vol. 57, Nr. 11: 1396–1408.

Brigham, W.E. 2001. *Doublets and Other Allied Well Patterns*. Tulso, Oklahoma: U.S. Department of Energy, National Petroleum Technology Office.

Doorn, drs Th H. M. van. 1984. “Geologische En Hydrogeologische Inventarisatie van Tertiaire En Onder-Kwartaire Afzettingen in Noord-Nederland T.b.v. Ondergrondse Opslag En Winning van Warm Water.” Haarlem: RGD.

IF Technology. 2009. “De Mogelijkheden Voor Elektriciteit Uit Geothermie in Nederland, EOS KTO Haalbaarheidsstudie.” Arnhem.

———. 2010. “Geothermie Hoogeveen, Aanvraag Opsporingsvergunning Aardwarmte.” Arnhem.

———. 2011. “Hoge Temperatuuropslag GeoMEC Vierpolders Te Vierpolders (Gemeente Brielle).”

———. 2013a. “Gebroeders Bac Moerkapelle Waddinxveen: Haalbaarheid Ondiepe Geothermie.”

———. 2013b. “Geothermal Energy Parenco: Flow Rate Risk Study.”

———. 2015a. “Haalbaarheidsstudie Geothermie Zoeterwoude, Ondergronds Deel.”

———. 2015b. “Meer Druk Op Geothermie.”

IF Technology, KEMA, DLV Glas en Energie. 2012. “Kansen voor Ondiepe Geothermie voor de glastuinbouw.” Arnhem.

NVOE. 2006. “NVOE-Richtlijnen Ondergrondse Energieopslag.” Woerden.

Panterra. 2012. “Notitie - Permeabiliteitsbepaling Doublet Gebr. Bac Moerkapelle-Waddinxveen.” G971.

PanTerra. 2015. “Overzicht van Het Geothermie Potentieel in de Gemeente Westland van Onder Krijt Zanden.”

Rijks Geologische Dienst. 1982. “Geologische Inventarisatie van Tertiaire Afzettingen in Zuid-Nederland T.b.v. Ondergrondse Opslag En Winning van Warm Water.” Haarlem.

TNO. 2010. “Inventarisatie Aardwarmtepotentie Nederlandse Ondergrond; Geologische Onzekerheden En Te Nemen Maatregelen.”

TNO VRODO-kaarten voor Zuid-Holland (Voorbereiding Ruimtelijke Ordening Diepe Ondergrond) ten behoeve van de Structuurvisie van de ondergrond (STRONG); TNO in opdracht van ministerie I&M, 2012, http://www.nlog.nl/resources/VRODO/provinciaal/Zuid-Holland.pdf

Kamp, H.G.J.- Brief Warmtevisie - DGETM-ED / 15042827 – 2 april 2015