



## Geo-energie voor vergroening bedrijfsvoering in de procesindustrie

Openbaar rapport Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

**Kenmerk:** 3911142DR01 Openbaar rapport

**Datum:** 27 juli 2021



# Geo-energie voor vergroening bedrijfsvoering in de procesindustrie

Openbaar rapport Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

**Kenmerk** 3911142DR01 Openbaar rapport  
**Datum** 27 juli 2021  
**Relatienummer** 4028.00 (Tata), 2623.00 (CvG), 23608 (CMF)

## Opdrachtgever

Tata Steel IJmuiden B.V.  
Crown van Gelder B.V.  
Central Mudplant and Fluid Services B.V.

## Adviseur(s)

A. ten Hove MSc. & L. Schutte MSc.



## Bewerkt

ATH/km/ist

## Gecontroleerd

15-07-2021

## Initialen

L/S

## Paraaf



KWA Bedrijfsadviseurs B.V.  
Regentesselaan 2  
Postbus 1526  
3800 BM Amersfoort

t 033 422 13 00  
e desk@kwa.nl  
www.kwa.nl

Rabobank Amersfoort  
NL86RABO0372977669  
KvK Gooi en Eemland 320 69286

## Inhoudsopgave

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>1</b> | <b>Inleiding project</b> .....  | 5  |
| 1.1      | Gegevens project.....   | 5  |
| 1.2      | Inleidende tekst publiek rapport.....                                 | 5  |
| 1.3      | Samenvatting .....  | 5  |
| 1.4      | Inleiding .....   | 6  |
| 1.5      | Leeswijzer .....  | 7  |
| 1.6      | Stand van geothermie in Nederland .....                               | 7  |
| <b>2</b> | <b>Inventarisatie uitgangspunten</b> .....                            | 9  |
| 2.1      | Lokale eisen geothermisch systeem.....                                | 9  |
| 2.2      | Eisen aan het project vanuit de omgeving.....                         | 13 |
| 2.3      | Actoren en stakeholders .....   | 14 |
| 2.4      | Financiële uitgangspunten .....                                       | 18 |
| 2.5      | Overzichtelijke lijst met uitgangspunten.....                         | 21 |
| <b>3</b> | <b>Inventarisatie ondergrond en omgeving</b> .....                    | 21 |
| 3.1      | Algemene Bodemopbouw Velsen .....                                     | 21 |
| 3.2      | Geothermie uit de Slochteren Formatie .....                           | 28 |
| <b>4</b> | <b>Wet- en regelgeving</b> .....                                      | 31 |
| 4.1      | Verkennen/Initiatief.....   | 33 |
| 4.2      | Opsporen en realiseren.....   | 33 |
| 4.3      | Winnen .....  | 34 |
| 4.4      | Opruimen .....  | 36 |
| 4.5      | Mijnbouw en de Omgevingswet .....                                     | 37 |
| <b>5</b> | <b>Potentie geothermie</b> .....                                      | 37 |
| 5.1      | Geothermische systeem-typen .....                                     | 37 |
| 5.2      | Conventionele geothermie .....  | 38 |
| 5.3      | Businesscase Tata Steel.....  | 47 |
| 5.4      | Businesscase Crown van Gelder.....                                    | 55 |
| <b>6</b> | <b>Oplösungen rond probleemstelling</b> .....                         | 63 |
| 6.1      | Algemene doel en probleemstelling .....                               | 63 |
| 6.2      | Haalbaarheidsvragen.....  | 64 |
| 6.3      | Eisen aan het project vanuit de omgeving.....                         | 68 |
| 6.4      | Conclusie probleemstelling.....                                       | 69 |
| <b>7</b> | <b>Aanbevelingen en innovatievraagstukken</b> .....                   | 72 |
| 7.1      | Innovatie Inpassing en schakelen tussen duurzame alternatieven .....  | 72 |
| 7.2      | Aanbeveling Detailengineering bovengronds in vervolgfase.....         | 73 |
| 7.3      | Innovatie Aminestripper op lage druk met geothermie .....             | 73 |
| 7.4      | Aanbeveling Lage druk stoom bij Crown van Gelder .....                | 73 |
| 7.5      | Aanbeveling Onderzoek naar corrosie in bovengrondse installatie ..... | 73 |
| 7.6      | Aanbeveling Onderzoek geologische onzekerheden .....                  | 74 |
| 7.7      | Innovatie Onderzoek naar Closed-Loop geothermie .....                 | 74 |
| 7.8      | Aanbeveling Samenwerking met HVC.....                                 | 74 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 7.9  | Aanbeveling Slagingskansen subsidieaanvragen .....        | 74 |
| 7.10 | Aanbeveling Samenwerking met regionale warmtenetten ..... | 75 |
| 7.11 | Aanbeveling Externe realisatie en exploitatie.....        | 75 |
| 7.12 | Innovatie Seizoensopslag restwarmte met HTO .....         | 76 |
| 7.13 | Aanbeveling Maatschappelijke samenwerkingen.....          | 76 |

#### **BIJLAGEN**

- 1**    **Overzicht geothermieprojecten in Nederland**
- 2**    **Input voor 1D doubletberekening**
- 3**    **Input voor 2D doubletberekeningen**
- 4**    **Generiek stappenplan haalbaarheid geothermie**

# 1 Inleiding project

## 1.1 Gegevens project

Projectnummer: TESN119009

Projecttitel: Geo-energie voor vergroening bedrijfsvoering in de procesindustrie

Penvoerder: Tata Steel IJmuiden B.V.

Medeaanvrager: Crown van Gelder B.V.

Medeaanvrager: Central Mudplant and Fluid Services B.V.

Deelnemer: KWA Bedrijfsadviseurs B.V.

Projectperiode: 1 september 2019 – 1 mei 2021

Het project is met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

## 1.2 Inleidende tekst publiek rapport

Deze studie, uitgevoerd dankzij een subsidie van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, betreft een eerste verkennende studie om na te gaan of geothermie (ook wel aardwarmte genoemd) potentie heeft voor de deelnemende bedrijven. Geothermie biedt kansen om, naast de gebouwde omgeving, ook de industrie te helpen in hun uitdaging om zoveel mogelijk te verduurzamen. Deze studie wordt door de deelnemende bedrijven dan ook gezien als een kans om een mogelijke voortrekkersrol te vervullen binnen de Nederlandse industrie op het gebied van verduurzaming.

Vanwege het verkennende karakter van deze studie is het te vroeg gebleken om reeds contact te leggen met omwonenden en andere belanghebbende organisaties. Wanneer het komt tot een vervolgfase is het van het grootste belang om een breed maatschappelijk draagvlak creëren en te behouden. Hierbij staan het minimaliseren van overlast en het maximaliseren van de veiligheid voor mens en milieu voorop.

## 1.3 Samenvatting

Met behulp van subsidie van de RVO is er een studie uitgevoerd naar de toepasbaarheid van geothermie in de industrie. Het voornaamste doel van deze studie, naast het opbouwen en delen van kennis, is om te bepalen of er kansen zijn voor geothermie in de industrie en op welke manier geothermie kan worden ingezet om de productieprocessen te verduurzamen.

Uit de studie is gebleken dat geothermie wel degelijk kans van slagen heeft op de bedrijfslocaties. Door een innovatieve combinatie van warmtepompen en compressoren, gevoed met geothermie kan er stoom worden gegenereerd op de gewenste temperatuur en druk.

Uit de geologische evaluatie van de ondergrond is gebleken dat er op de projectlocatie niet direct stoom uit de ondergrond gewonnen kan worden met behulp van ultra diepe geothermie. Conventionele geothermie is wel mogelijk. Dit blijkt onder andere uit het succesvolle nabije project van Floricultura. Omdat er niet direct stoom gewonnen kon worden, is er gezocht naar een installatietechnische oplossing waarbij de geothermische potentie maximaal benut wordt. Hierbij is er gekeken naar een oplossing van respectievelijk twee en acht doubletten in combinatie met warmtepompen.

De verwachte verduurzaming, die met de geothermiesystemen bereikt zou kunnen worden, is dat er per doublet circa 8,15 ton stoom per uur kan worden opgewekt. Hierbij is uitgegaan van een brondebiet van 175 m<sup>3</sup>/uur en 5,41 MW aan vermogen voor stoomgeneratie. Voor de levering van restwarmte aan regionale warmtenetten is circa 4,76 MW per doublet beschikbaar. De mogelijke CO<sub>2</sub>-besparing is op jaarbasis circa 124.500 ton.

Uit de businesscases is gebleken dat er grote investeringen nodig zijn; de basecase CAPEX investering voor de twee projecten is € 22,5 mln. en € 104,7 mln. Uit de analyse voor de OPEX en de opbrengsten is naar voren gekomen dat deze investeringen tussen de 8 à 11 jaar kunnen worden terugverdiend. De factoren met de grootste impact op de terugverdiëntijd zijn:

- Ontwikkeling in de boorkosten van de bronnen;
- Onzekerheid in potentiële subsidiebedragen;
- Risico's rond de afzet van restwarmte.

Daarnaast is in de businesscase de prijs voor de uitstoot van CO<sub>2</sub> € 46 per ton aangehouden (10-jaarlijks gemiddelde). Het is niet te voorspellen hoe deze prijs zich zal gaan ontwikkelen. De verwachting is dat de prijs richting 2030 en 2050 zal stijgen, wat de terugverdiëntijden drastisch zou kunnen verkorten.

Naast de technologische factoren, spelen er ook andere zaken:

- Het creëren en behouden van maatschappelijk draagvlak;
- De relatief lange terugverdiëntijden voor de investering;
- Het risico op het vinden van mogelijke externe financierende partij;
- Afhankelijkheid van het succesvol realiseren van een regionaal warmtenet om restwarmte aan te leveren.

Door middel van het opstellen van een generiek stappenplan voor het uitvoeren van een dergelijke haalbaarheidsstudie, proberen we het uitvoeren van andere haalbaarheidsstudies te vergemakkelijken en daardoor bij te dragen aan het ontwikkelen van geothermie in de industriële sector. Hiervoor zijn ook aanbevelingen en innovatie-vraagstukken gedefinieerd.

## 1.4 Inleiding

### *Doel van de subsidieverlener*

Het klimaatakkoord van Parijs (2015) en het daaruit voortvloeiende nationaal klimaatbeleid van de Nederlandse overheid, vereisen een sterke reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie. Om de procesindustrie te verduurzamen tot een industrietak die geen netto CO<sub>2</sub>-uitstoot heeft in 2050, moeten enerzijds energiebesparende- en CO<sub>2</sub>-emissiereducerende maatregelen worden doorgevoerd en anderzijds moet de energievoorziening worden verduurzaamd. Middels de subsidieregeling TSE-studies Industrie 2019, worden bedrijven geholpen om verbeteringen en innovaties binnen de procestechniek te realiseren.

### *Aanleiding geo-energie*

Veel projecten hebben een focus op de opslag van de CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij industriële processen (CCUS), zogenoemde emissiereductie. Stoom, opgewekt met aardgas, wordt van oudsher als warmtemedium voor de warmtevraag gebruikt, hierdoor is de warmtevraag vaak gerelateerd aan CO<sub>2</sub>-emissie. Wanneer deze hoogwaardige energievoorziening kan worden verduurzaamd, kan er in potentie vele tonnen aan CO<sub>2</sub>-uitstoot per jaar worden vermeden. Geothermische warmte (geothermie, red.) heeft zich zowel in het binnen- als buitenland al bewezen als een stabiele bron van warmte, maar kent in Nederland nog weinig toepassingen voor industriële processen.

### *Doel van deelnemende bedrijven*

De papier- en kartonindustrie behoort tot een van de meest energie-intensieve productiesectoren. Crown van Gelder B.V. heeft aangegeven dat geo-energie een mogelijkheid kan zijn om de bedrijfsvoering te vergroenen. Hierbij wordt er idealiter direct stoom uit ondergrond onttrokken en in de fabriek toegepast.

Tata Steel geeft aan de energievoorziening te willen vergroenen met een continue energiebron die ingezet kan worden om fluctuaties in de energievraag of energielevering door bijvoorbeeld wind- of zonne-energie op te vangen.

Daarnaast kan geo-energie een significante rol spelen in de energievoorziening die nodig is om toekomstige CO<sub>2</sub>-afvangprojecten mogelijk te maken. Hierbij wordt ook gekeken naar CCUS waarbij op lange termijn (10-20 jaar) een duurzame productie van nafta of waterstof mogelijk kan zijn.

Ook vanuit Central Mudplant and Fluid Services komt de vraag naar voren om bijvoorbeeld het destilleren van boorafval te vergroenen. Hierbij kan direct geo-energie worden benut of gebruik worden gemaakt van de restwarmte die bij de andere deelnemers vrijkomt.

Omdat de drie bedrijven relatief vlak bij elkaar liggen en elk op vergelijkbare wijze invulling willen geven aan de vergroening van hun bedrijfsvoering, willen zij samen onderzoek doen naar de mogelijkheden voor het toepassen van geo-energie. Hiermee kan hopelijk de CO<sub>2</sub>-emissie voor de opwekking van warmte worden geëlimineerd.

#### *Doel van KWA*

De missie van KWA is om haar competenties om te zetten in toegevoegde waarde voor haar (> 400) industriële klanten. KWA weet dat de procesindustrie op zoek is naar innovatieve oplossingsrichtingen om hun warmtevraag CO<sub>2</sub>-neutraal te krijgen, alsmede het in compliance zijn met wet- en regelgeving van de bedrijfsvoering. Deze milieustudie levert een belangrijke toegevoegde waarde voor de industrie door het bepalen van de kansen/mogelijkheden om geo-energie effectief in te zetten. Het ontwikkelen van een blauwdruk voor toekomstige geo-energie projecten is hierbij één van de uitkomsten.

### **1.5 Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten van het project beschreven. Er wordt ingegaan op installatietechniek (zowel bovengronds als ondergronds), energie, omgeving, actoren en stakeholders en de financiën. In hoofdstuk 3 wordt de ondergrond geïnventariseerd. In hoofdstuk 4 wordt de vigerende wet- en regelgeving besproken. In hoofdstuk 5 worden de thermische potentie en de (financiële) haalbaarheid van een geothermieproject uitgewerkt. In hoofdstuk 6 staat het overzicht van de antwoorden op de haalbaarheidsvragen en de conclusie. Innovatievraagstukken en aanbevelingen voor een vervolg op deze milieustudie staan in hoofdstuk 7.

In de originele subsidieaanvraag is de term geo-energie gebruikt. In de rest van het rapport worden hiervoor de meer gangbare termen geothermie of aardwarmte gebruikt.

### **1.6 Stand van geothermie in Nederland**

In Nederland zijn inmiddels reeds 22 geothermieprojecten gerealiseerd, zie tabel 1.1. Van deze 22 projecten zijn er 18 die alleen warmte voor de glastuinbouw produceren. Van de resterende vier projecten zijn er twee die zowel warmte leveren aan de glastuinbouw als de gebouwde omgeving en twee die alleen warmte leveren aan de gebouwde omgeving. Daarnaast zijn er 13 projecten in ontwikkeling, zie tabel 1.2. Hiervan worden er drie ontwikkeld voor de glastuinbouw en de resterende tien projecten worden ontwikkeld voor de gebouwde omgeving. Er worden nog geen projecten ontwikkeld voor de industrie. (bron: geothermie.nl, d.d. 23-6-2021) Tabel 1.1 geeft een overzicht van de potentie van geothermie op het gebied van vermogen en temperatuur.

**Tabel 1.1: gerealiseerde geothermieprojecten in Nederland (bron: geothermie.nl, d.d. 23-6-2021)**

| Project                   | Categorie* | Vermogen (MW) | Temperatuur (°C) | Diepte (m-mv) | Extra informatie        |
|---------------------------|------------|---------------|------------------|---------------|-------------------------|
| Agriport A7               | GTB        | 28            | 92               | 2.250         |                         |
| Het Grootslag Andijk      | GTB        | 14            | 92               | Ca 2.000      |                         |
| Hoogweg Aardwarmte        | GTB        | 15            | 78               | 1.800         | 350 m <sup>3</sup> /uur |
| Aardwarmte Koekoekspolder | GTB        | 7,4           | 73               | 1.950         |                         |

| Project                   | Categorie* | Vermogen (MW) | Temperatuur (°C)          | Diepte (m-mv)  | Extra informatie                                      |
|---------------------------|------------|---------------|---------------------------|----------------|---|
| Floricultura Heemskerk    | GTB        | 10            | 100                       | 2.700 – 2.900  |   |
| Greenbrothers Zevenbergen | GTB        | 6 – 9         | 25 – 45<br>(+ warmtepomp) | 500 – 1.250    | Warmte wordt opgewaardeerd naar 70°C.                 |
| Haagse Aardwarmte Leyweg  | GO         | 7             | 76                        | >2.000         |   |
| Van den Bosch 3 & 4       | GTB        | 7,3           | 70                        | 1.800          | 130 m <sup>3</sup> /uur                               |
| Van den Bosch 1 & 2       | GTB        | 9             | 60                        | 1.600          |   |
| Wayland Energy            | GTB        | 18            | 67                        | 2.000          | 400 m <sup>3</sup> /uur                               |
| Ammerlaan TGI             | GTB & GO   | 7             | 70                        | >2.000         |   |
| Duijvestijn               | GTB        | 8             | 70                        | 2.300 en 2.950 |   |
| Aardwarmte Vogelaer       | GTB        | 18            | 85                        | 2.500          |   |
| Green Well Westland       | GTB        | 11,5          | 85                        | 3.000          | 180 m <sup>3</sup> /uur                               |
| Nature's Heat             | GTB        | 16            | 85                        | 2.500          |   |
| Trias Westland 2          | GTB & GO   | 15            | 90                        | 2.300          |   |
| Trias Westland 1          | GTB        | 25 – 45       | 90                        | 2.300          |   |
| Geothermie De Lier        | GTB        | 16            | 87                        | 2.400          |   |
| GeoPower Oudcamp          | GTB        | 18            | 95                        | 2.800          |   |
| Duurzaam Voorne           | GTB        |               |                           |                | Is geboord. Zal in Q4 2021 in gebruik worden genomen. |
| Aardwarmte Vierpolders    | GTB        | 16            | 82                        | 2.200          |   |
| Mijnwater Heerlen         | GO         | N.v.t.        | 28/16                     | >500           |   |

\*GTB = Glastuinbouw, GO = Gebouwde omgeving

**Tabel 1.2: verwachte geothermie projecten in Nederland (bron: geothermie.nl, d.d. 23-6-2021)**

| Project                           | Categorie* | Opsporingsvergunning | Beschikbare informatie, verwachting.                    |
|-----------------------------------|------------|----------------------|---|
| Warmte van Leeuwarden             | GO         | Ja                   | Vermogen 25 MW, temperatuur 92°C.                       |
| Aardwarmte Combinatie Luttelgeest | GTB        | Ja                   | Diepte 1.800 meter. Medio 2021 ingebruikname.           |
| Geothermie Zwolle                 | GO         | Ja                   | Vermogen 5 MW, temperatuur 80°C.                        |
| Aardwarmte Castricum              | GO         | Nee                  |   |
| Aardwarmte voor Almere            | GO         | Aangevraagd          |   |
| Haarlem - Schalkwijk              | GO         | Ja                   |   |
| Aardwarmte regio Eemland          | GO         | Ja                   | Planning 160.000 huizen en 72 putten.                   |
| Rotterdamse Haven                 | GO         | Ja                   |   |
| Warmtebron Utrecht                | GO         | Ja                   |   |
| Aardwarmte in de Vallei           | GO         | Ja                   |   |
| Geothermie Delft                  | GO         | Ja                   |   |
| Aardwarmteproject Polanen         | GTB        | Ja                   | Vermogen 12 – 18 MW, diepte 2.300, SDE subsidie binnen. |
| Aardwarmteproject Maasdijk        | GTB        | Ja                   | Vermogen 40 – 60 MW, diepte 2.900, SDE subsidie binnen. |

\*GTB = Glastuinbouw, GO = Gebouwde omgeving



## 2 Inventarisatie uitgangspunten

Om een helder beeld te krijgen van de eisen die aan een mogelijk geothermieproject worden gesteld is een inventarisatie-fase ingezet. Het doel is het opstellen van een overzicht van de uitgangspunten, inclusief stakeholderanalyse en financiële uitgangspunten. Wanneer in de latere fasen van het project nieuwe inzichten zijn verworven die invloed hebben op de uitgangspunten, zijn deze hier toegevoegd.

Een samenvatting van het doel en de resultaten van de inventarisatie-fase (werkpakket 1) staan weergegeven in tabel 2.1.

**Tabel 2.1: samenvatting inventarisatie-fase van het project**

| <b>Werkpakket 1. Inventariseren uitgangspunten</b> |   |   |
|--|---|---|
| Taakverdeling                                      | Crown van Gelder B.V.<br>Tata Steel IJmuiden B.V.<br>CMF services B.V.  | Aanleveren uitgangspunten voor vergroening bedrijfsvoering via geo-energie, inclusief stakeholders en financiële uitgangspuntenreview van overzichten.                |
|  | KWA   | Opstellen overzicht uitgangspunten voor vergroening bedrijfsvoering via geo-energie, inclusief stakeholderanalyse en financiële uitgangspuntenreview van overzichten. |
| Activiteiten/<br>methode                           | Vaststellen eisen beoogd geothermisch systeem.<br>In kaart brengen alle actoren (stakeholders).<br>Vaststellen financiële uitgangspunten.<br>Vaststellen uitgangspunten voor beheer/samenwerking. |   |
| Knelpunten   | Uitgangspunten moeten worden gebaseerd op nog te ontwikkelen wetgeving/onbekende randvoorwaarden.   |   |
| Oplossingsrichtingen                               | Doen van aannames met betrekking tot toekomstige wetgeving/randvoorwaarden.   |   |
| Resultaat  | Overzichtelijke lijst van uitgangspunten voor het geo-energiesysteem.   |   |
| Planning   | Deze procesfase duurt 2 maanden.  |   |

### 2.1 Lokale eisen geothermisch systeem

Op een geothermisch project zijn een groot aantal (omgevings-)aspecten van belang. Hoe aan deze aspecten invulling kan worden gegeven wordt grotendeels bepaald door de lokale eisen die aan het systeem worden gesteld. De eisen zijn opgedeeld vanuit een installatietechnisch oogpunt waarbij de huidige bovengrondse processen en installaties voor nu apart van de toekomstige geothermische energievraag zijn geanalyseerd.

#### 2.1.1 Installatietechnische uitgangspunten bovengronds

De bovengrondse installaties van de drie deelnemende bedrijven zijn op dit moment niet gekoppeld en zijn daarom hieronder apart beschreven. Het doel is om een overzicht te creëren van de verschillen in de productieprocessen bij de deelnemende bedrijven en de daarbij horende infrastructuur. Er wordt enkel gekeken naar de processen die middels een geothermieproject verduurzaamd kunnen worden. Voor gedetailleerde technische specificaties is het te vroeg. In figuur 2.1 staat een schematische weergave van het samenspel van de installaties en geothermie.

#### **Tata Steel**

Bij Tata Steel IJmuiden wordt hoogwaardig staal geproduceerd. Hier komen productiegassen vrij die veel CO<sub>2</sub> bevatten. Tata Steel is gestart met de voorbereidende plannen voor een project om op relatief korte termijn CO<sub>2</sub> af te vangen uit de hoogovens en voor opslag te transporteren naar lege gasvelden onder de Noordzee.

Eén van de manieren om de productie te verduurzamen is om de CO<sub>2</sub> uit de rookgassen te wassen, deze te concentreren en af te voeren. Het afvangen van CO<sub>2</sub> zal gebeuren middels een aminestripper:

- Beschrijving proces van de aminestripper:
  - Productiegas uit het blast furnace bevat 23% CO<sub>2</sub> en wordt de aminestripper ingeleid.
  - Een aminestripper bindt door middel van amines CO<sub>2</sub> aan water, waardoor de CO<sub>2</sub> uit het rookgas gewassen wordt.
  - Het mengsel van CO<sub>2</sub>, amine en water wordt door middel van stoom ingedampt waardoor een condensaat ontstaat van 99,9% CO<sub>2</sub>. Dit condensaat wordt vervolgens afgevoerd naar CO<sub>2</sub>-opslagprojecten, zoals het Athos CCUS-project.
  - Wanneer de stoom voor het indampen geleverd wordt vanuit een niet-duurzame bron, zoals bijvoorbeeld aardgas of productiegas, vervalt het netto effect van de CO<sub>2</sub>-afvang. Door de stoomvoorziening van geo-energie te voorzien, kan er wel een grote bijdrage geleverd worden aan de emissiereductie.
  - Geschat wordt dat hiermee circa 3 miljoen ton per jaar aan CO<sub>2</sub> kan worden afgevangen.

Op het terrein van Tata Steel bevinden zich veel processen met een hoge energievraag en met een behoefte aan (zeer) hoge temperaturen. Hierdoor is er geen gebrek aan restwarmte, maar deze zijn niet van een dergelijk hoog temperatuurniveau of voldoende continue en stabiel dat ze voldoende kunnen bijdragen aan het indampen van het CO<sub>2</sub>-mengsel (CCS). Er bestaan ook plannen voor een tweede project, waarbij (na 2030) een deel van de CO<sub>2</sub> wordt omgezet in CO wat weer wordt omgezet in waterstof (CCUS).

Het realiseren van de aminestripper is een significante verandering in het huidige productieproces, maar er kan in het ontwerpproces goed rekening gehouden worden met een energievoorziening op basis van geothermie.

### ***Crown van Gelder***

Bij het productieproces van papier worden natte vezels in verschillende fasen op een papierbaan gedroogd. Met name dit droogproces op de papierbaan kost veel energie: ruim de helft van het totale energieverbruik. Bij Crown van Gelder, en vele andere producenten, wordt de benodigde energie door middel van stoom geleverd. In verschillende temperatuurtrappen wordt stoom langs de papierbaan geleid, waarna de gecondenseerde stoom teruggevoerd wordt naar de warmtekrachtcentrale (WKC) om weer omgezet te worden naar stoom. De WKC is nu nog aardgas gestookt.

Door het inpassen van geothermie zouden er geen grote aanpassingen aan de productielijn nodig zijn. Stoom zal het energie-overdragende medium blijven. Enkel de opwekking van de stoom zal veranderen. Hiervoor zal het ondergrondse geothermiesysteem worden gescheiden van de bovengrondse stoom leidingen middels een platenwisselaar. Het is economisch interessant om een geothermische bron als basislastvoorziening voor de stoomvraag bij CVG in te zetten. Dit betekent dat de piekvraag moet worden voorzien door een aanvullende (back-up-)installatie. Dit zou de huidige WKC kunnen zijn, maar bijvoorbeeld ook een nieuw stoomketelsysteem, liefst gevoed met een zo duurzaam mogelijke energiedrager (groene elektra of waterstof, biogas of evt. vloeibare/vaste biomassa afkomstig uit reststromen).

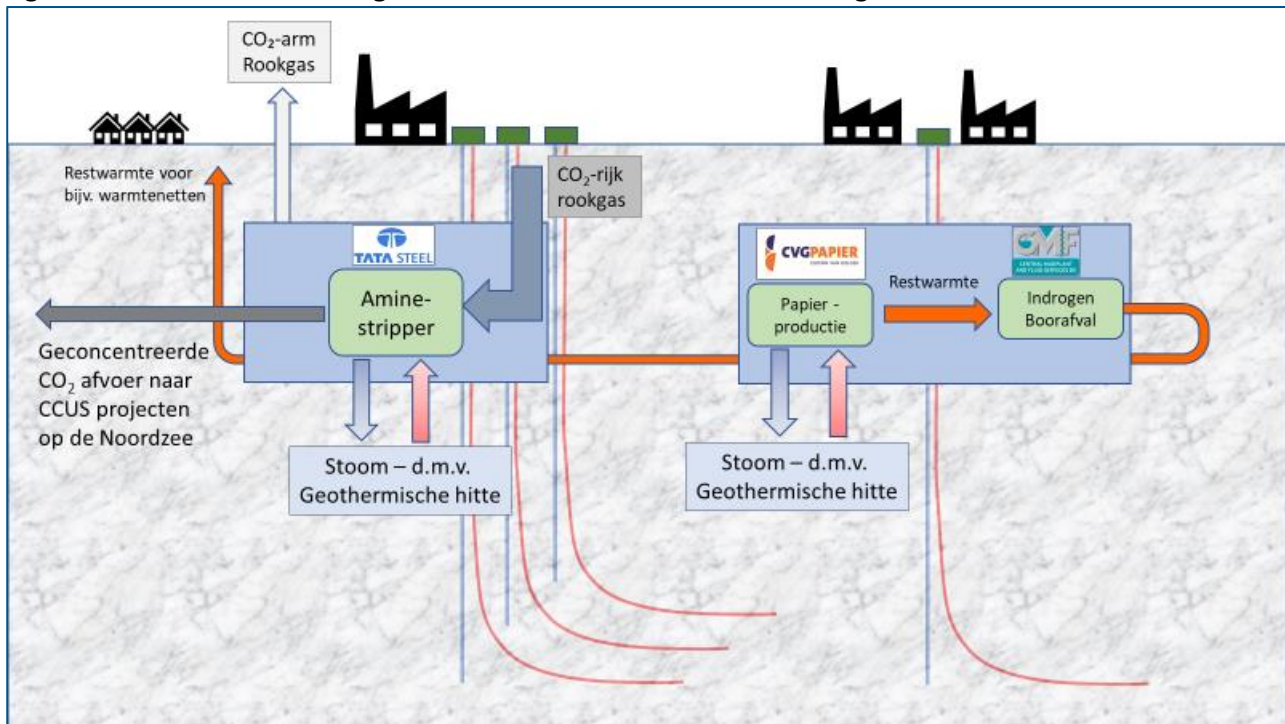
### ***Central Mudplant and Fluid Services***

Bij het boren van olie-, gas-, geothermie- en zoutbronnen komt boorafval vrij. Dit afval bestaat hoofdzakelijk uit boorgruis met daarin gesteente, (zout-)water en boorspoeling (Base Oil). De verwerking van dit afval is een complexe opeenvolgende serie van destillatie- filterings- en reinigingsprocessen. De eerste stap is het destilleren van het boorgruis. Dit proces destilleert het water en Base Oil deel uit het gesteente. In de huidige thermische installatie wordt een rotordroger met thermische olie gebruikt.

Deze olie wordt verwarmd middels een brander die wordt gestookt op traditionele brandstof/destillaat. Bij het destilleren worden Base Oil en water afgedampt voor hergebruik. Base Oil als boorspoelingsadditief en water voor reinigingswerkzaamheden.

Overschakelen op een op stoom gebaseerd destillatieproces zal een grote verandering aan de huidige installatie betekenen. Daarnaast is het nog onzeker of stoom of restwarmte, bijvoorbeeld van één van de andere geo-energie installaties, de beste optie is voor het verduurzamen van het destillatieproces.

**Figuur 2.1: schematische weergave van installaties in combinatie met geothermie**



### 2.1.2 Installatietechnische uitgangspunten geo-energiesysteem

Omdat in deze studie de focus ligt op de algemene potentie en haalbaarheid van een geo-energiesysteem, is het te vroeg om al in technische details naar de koppeling van de ondergrondse en bovengrondse installaties te kijken. Om een goed beeld te kunnen vormen van de ondergrondse installatie, worden de verschillende componenten hieronder beschreven.

#### *Algemene beschrijving van een conventioneel geo-energie (of geothermie-)systeem*

In principe is het doel van deze systemen om zo veel mogelijk nuttige thermische energie (warmte) te winnen. Deze thermische energie kan vervolgens ingezet worden voor verwarming in gebouwen of voor industriële processen. Bij een gemiddeld geothermiesysteem wordt er middels een onttrekkingsput water opgepompt uit diepgelegen aardlagen. Omdat de temperatuur in de ondergrond met de diepte toeneemt, kan er op een diepte van een paar kilometer zeer warm water (tot boven 100°C) worden gewonnen. Dit warme water, zogeheten formatiewater, bevat naast zeer hoge concentraties zout, vaak resten van (opgelost) gas en olie en andere mineralen. Daarom wordt er altijd voor gekozen om dit formatiewater in de ondergrondse installatie door middel van een warmtewisselaar te scheiden van de bovengrondse installatie. De bovengrondse installatie kan daardoor met bijvoorbeeld 'gewoon' water gevuld zijn. De warmtewisselaar zorgt voor de warmteoverdracht van het ondergrondse naar het bovengrondse leidingsysteem.

Nadat het formatiewater zijn warmte heeft afgegeven, wordt het afgekoelde water via een infiltratieput weer teruggebracht in dezelfde aardlaag als waaruit dit gewonnen wordt.

#### *Putten*

Een conventioneel geothermieproject bestaat uit een zogeheten doublet met een onttrekkingsput en een infiltratieput. Deze twee putten kunnen vanaf dezelfde locatie geboord worden, maar zullen in de diepte in verschillende richtingen geboord worden zodat ze ter hoogte van het reservoirgesteente circa 1 – 1,5 km uit elkaar liggen. Deze afstand is nodig om ervoor te zorgen dat het geïnfilterde koude water niet direct weer opgepompt wordt, wat het thermische rendement van het systeem ernstig zou verlagen.

#### *Bronpompen*

Om het warme water uit de diepte aan de oppervlakte te krijgen, wordt er een pomp in de onttrekkingsput geïnstalleerd op circa 500 meter diepte. In de infiltratieput wordt een pomp geïnstalleerd om het afgekoelde water weer in de diepe ondergrond te infiltreren.

#### *Warmtewisselaar*

Om op een effectieve manier warmte uit het zoute formatiewater te kunnen overdragen aan een leidingcircuit dat warmte kan leveren aan industriële processen of de gebouwde omgeving is een warmtewisselaar nodig. De warmtewisselaar wordt ook wel aangeduid met de term Tegenstroomapparaat (TSA). In de warmtewisselaar stromen twee vloeistoffen in tegengestelde richting langs elkaar, maar blijven van elkaar gescheiden. Hierdoor wordt de warmte van de ene vloeistof overgebracht op de andere.

#### *Filtersystemen*

Het grondwater dat uit geothermische putten omhoog komt, is niet geschikt om direct in (productie-)installaties toe te passen. Hierdoor zal het ondergrondse leidingcircuit van het bovengrondse circuit gescheiden moeten worden door middel van een warmtewisselaar. Vaak bevat formatiewater naast zeer hoge concentraties zout, resten van (opgelost) gas en olie. Om verstopping te voorkomen en om olie- en gasresten van het water te scheiden, dienen er verschillende filtersystemen te worden opgesteld. Eventueel dient er ook een installatie te worden aangebracht om vrijkomende olieresten en/of gasresten af te voeren. Dit kan eventueel door verbranding of het kan verwerkt worden als chemisch afval.

#### *Warmtepomp*

Een conventioneel geothermiesysteem maakt doorgaans geen gebruik van een warmtepomp, omdat idealiter het onttrokken formatiewater voldoende warm is voor het beoogde eindgebruik. Omdat industriële processen vaak een (zeer) hoge temperatuur vragen kan het zijn dat het onttrokken formatiewater niet warm genoeg is voor directe toepassing. In een dergelijk geval is mogelijk om na de warmtewisselaar een warmtepomp te plaatsen. In de warmtepomp wordt door de toevoeging van (elektrische) energie de temperatuur van het water verhoogd. Deze aanpak kent wel een aantal beperkingen, waardoor bijvoorbeeld grote temperatuursprongen niet mogelijk zijn, waardoor er mogelijk meerdere warmtepompen in serie (trappen) nodig zijn. Eén van de voordelen is dat het met een combinatie van geothermie en de inzet van een warmtepomp, het mogelijk kan zijn om stoom te genereren uit de warmte uit het formatiewater met een temperatuur lager dan 100°C.

### **2.1.3 Energetische uitgangspunten**

Eén van de belangrijkste uitgangspunten binnen deze studie is de energievraag van de processen die in aanmerking komen om te verduurzamen middels geothermische warmte. Op basis van deze vraag kan een eerste inschatting worden gemaakt over de grootte van het geothermische project en kan er gericht gekeken worden naar het ontwikkelen van verschillende scenario's. De energievraag is per deelnemer uitgesplitst vanwege de verschillen in energievraag en omdat dit de mogelijkheid open houdt om eventueel per locatie een ander concept uit te werken.

### **Tata Steel**

Voor de geplande aminestripper is de geothermische warmtevraag gebaseerd op de geschatte stoomvraag. De aminestripper zal volcontinu in gebruik zijn.

- Hoeveelheid stoom: circa 300 tot 400 ton per uur.
- Gevraagde temperatuur: max. 175°C.
- Gevraagde druk: 3,5 à 5 bar (a).
- Geschatte thermische vermogen: 233 MW.

### **Crown van Gelder**

Het stoomverbruik van de afgelopen jaren en de verwachting voor de toekomst vormen de basis voor de geschatte stoomvraag. Het productieproces loopt ook hier 24/7 door.

- Hoeveelheid stoom: circa 40 ton per uur in basislast, piekbelasting 75 ton per uur. Geothermie moet vooral worden ingezet om in de basislast te voorzien. Het gat tussen basislast en piekbelasting is in de toekomst eventueel te overbruggen met een 25MW elektroboiler. Voor de berekeningen in deze studie wordt 50 ton stoom per uur aangehouden.
- Gevraagde temperatuur: max. circa 170°C.
- Gevraagde druk: moet zijn circa maximaal 8 bar(a).
- Geschatte thermisch vermogen basislast: 27 MW.

### **Central Mudplant and Fluid Services**

Omdat het huidige droogproces geen gebruik maakt van stoom is de energievraag gebaseerd op het gasverbruik en gebruik Base Oil in 2015: circa 113.000 m<sup>3</sup> gas en 833 m<sup>3</sup> Base Oil. Uitgegaan van stoom met dezelfde karakteristieken als die bij Tata Steel en Crown van Gelder gevraagd wordt, komt de stoomvraag voor CMF op circa 1.700 kg/uur. Deze energievraag is significant lager dan die van de twee andere bedrijven. Hiermee is duidelijk dat CMF waarschijnlijk geen eigen geothermiedoublet nodig heeft. Het ligt voor de hand om óf met restwarmte van het geothermiesysteem te gaan werken, of middels een (kleine) aftakking stoom van de meest dichtbij gelegen bron.

Gedurende het onderzoek is in een separaat traject naar mogelijke verduurzamingen voor de bedrijfsprocessen van CMF gekeken. Hierbij is duidelijk geworden dat door intern het productieproces aan te passen er al een zeer grote verduurzaming gerealiseerd kan worden. De verduurzaming is dermate groot dat het inkoppelen van externe restwarmte voor het productieproces niet meer nodig is. Wel kan restwarmte uit een geothermiebron gebruikt worden om bijvoorbeeld kantoorgebouwen te verwarmen.

## **2.2 Eisen aan het project vanuit de omgeving**

Voor het slagen van een geothermieproject, ongeacht de vorm waarin deze uiteindelijk gerealiseerd zal worden, is een breed draagvlak essentieel. Het project moet voldoen aan de bestaande wet- en regelgeving, zoals de Omgevingswet en Mijnbouwwet (zie hoofdstuk 4) en een positieve bijdrage leveren aan de omgeving. Hierom wordt in een vroeg stadium uitdrukkelijk aandacht besteed aan het creëren van maatschappelijk draagvlak. Gedurende het project zullen de onderstaande ontwerpen onderzocht worden en zal er advies worden gegeven over hoe eventuele risico's gemitigeerd kunnen worden of welke acties aangeraden worden om een zo breed mogelijk draagvlak te realiseren.

Eisen aan het project vanuit de omgeving:

- Minimale overlast tijdens realisatie en exploitatie; denk hierbij aan trillingen tijdens het boren, verzakkingen, stankoverlast, geluidsoverlast.
- Betrekken van omwonenden en NGO's om een breed draagvlak te creëren.
- Bijdrage van het project aan de verduurzaming van de regio door bijvoorbeeld leveren van restwarmte.
- Effecten op omliggende bodemenergiesystemen minimaliseren.
- Effecten op ondergrondse zaken als grondwater(kwaliteit), stroming en stijghoogten minimaliseren.

- Effecten op bovengrondse zaken als zettingsgevoelige objecten, grondwaterafhankelijke natuur en eventuele waterkerende constructies minimaliseren.
- De verwachte levensduur van de installaties en de bronnen maximaliseren.

Gedurende het project is duidelijk geworden dat milieustudie naar de eerste haalbaarheid te vroeg is om bevoegde gezagen, omwonenden en NGO's te betrekken (zie paragrafen 6.2.5, 6.3.2 en 7.13). In paragraaf 6.3 wordt op de zaken uit de bovenstaande lijst ingegaan.

### 2.3 Actoren en stakeholders

Bij verduurzamingsprojecten in het algemeen, en bij geothermie projecten in het bijzonder, zijn er een groot aantal stakeholders en actoren die invloed hebben op het succes van het project. Het doel is om deze stakeholders en actoren in beeld te brengen en vervolgens, op basis van de gekozen scenario's en relevantie, aan te geven hoe hiermee omgegaan dient te worden (hoofdstukken 6 en 7).

Tabel 2.2: actoren en stakeholders

|                            | Actor/stakeholder                                     | Toelichting   |
|----------------------------|---|---|
| <b>Intern (Tata Steel)</b> | Athos 2020  | In 2019 afgeronde haalbaarheidsstudie voor een CO <sub>2</sub> -opslagproject binnen Tata Steel. In samenwerking met o.a. Gasunie en EBN waarbij CO <sub>2</sub> middels compressoren naar opslaglocaties, zoals lege gasvelden op de Noordzee gepompt wordt. Het doel is om het CO <sub>2</sub> -condensaat dat uit de Aminestripper zal komen, af te voeren en op te slaan.   |
|                            | Everest   | Een pilot die Tata Steel momenteel start samen met chemieconcern Dow Chemical in Terneuzen. In deze pilot wordt CO <sub>2</sub> uit de staalproductie in IJmuiden omgezet in nafta. Dow Chemical gebruikt deze nafta als grondstof voor het maken van plastics die vervolgens weer kunnen worden gebruikt in het hoogovenproces. Het resultaat: een gesloten koolstofkringloop waarin geen CO <sub>2</sub> in de atmosfeer terecht komt.  |
|                            | Hermes H <sub>2</sub>                                 | Vooruitlopend op de groeiende vraag naar waterstof heeft Tata Steel een samenwerking aangekondigd met chemiebedrijf Nouryon en Port of Amsterdam om het grootste groene waterstofcluster van Europa te ontwikkelen. De bedrijven onderzoeken samen de haalbaarheid van een watelektrolyse-installatie voor de productie van waterstof en zuurstof in de staalfabriek van Tata Steel in IJmuiden. De geproduceerde waterstof kan dan als energiebron worden ingezet in een aantal productieprocessen bij Tata Steel. |
|                            | Board of Tata Steel (India)<br>Investeringsbeslissing | Voor langlopende projecten en investeringen dient de board toestemming te verlenen. Tevens zullen dergelijke voorstellen door een interne commissie getoetst worden.  |
| <b>Intern (CvG)</b>        | Investeringsbeslissing                                | De directie zal op basis van een projectvoorstel een eventuele investeringsbeslissing moeten nemen.   |
| <b>Intern (CMF)</b>        | Investeringsbeslissing                                | De directie zal op basis van een projectvoorstel een eventuele investeringsbeslissing moeten nemen.   |
| <b>Extern</b>              | Platform Geothermie                                   | Het Platform Geothermie is een NGO die is gericht op de bevordering van de verantwoordelijke toepassing van geothermie in Nederland. Zij doet dit door middel van kennisoverdracht en het geven van voorlichting.   |
|                            | DAGO  | Dutch Association Geothermal Operators is de brancheorganisatie voor geothermie-operators in Nederland. Zij behartigt hun belangen en draagt bij aan de veiligheid en ontwikkeling van aardwarmte. Daarnaast kunnen operators binnen DAGO ervaring en kennis delen.   |



|  | Actor/stakeholder | Toelichting   |
|--|-------------------|---|
|  | NVDE              | De Nederlandse Vereniging voor Duurzame Energie is een organisatie voor ondernemers in duurzame energie in Nederland. De organisatie beslaat qua leden de hele duurzame keten: energieproducenten, netbeheerders, leveranciers van stroom, warmte en gas en bedrijven die duurzame toepassingen en diensten aanbieden, zoals energieopslag, elektrisch vervoer en warmtepompen.   |
|  | EGEC              | De European Geothermal Energy Council is een Europese organisatie om het gebruik van geothermie te bevorderen. Zij zijn bezig met beleid, onderzoek en de zakelijke condities van geothermie.   |
|  | IGA               | De International Geothermal Association is een wereldwijd platform op het gebied van geothermie. Zij opereren op basis van vier standpunten: zichtbaarheid, duurzaamheid, samenwerking en autoriteit. Zij zien in geothermie de oplossing voor duurzame en schone energie. IGA ondersteunt de ontwikkelingen van de technologie en entrepreneurs in schone energie.   |
|  | TNO               | TNO heeft als doelstelling om wetenschappelijke kennis in de praktijk toe te passen en is door de staat aangewezen om de kennis over de Nederlandse ondergrond te delen, bijvoorbeeld door middel van ThermoGIS, DINOloket en NLOG.   |
|  | EBN               | Energie Beheer Nederland neemt tot 40% deel in het opsporen, produceren en verkopen van olie en gas in opdracht van en namens de staat. Haar taken staan beschreven in de Mijnbouwwet. Ook verstrekt EBN informatie aan de minister om de uitvoerbaarheid van het voorgenomen energiebeleid te beoordelen. Daarnaast heeft EBN sinds 2017 de rol als kennispartner in de sector geothermie en gebruikt haar kennis van ondergrond voor het maximaal benutten van deze ondergrond op het gebied van energie en voor het verduurzamen van de energiehuishouding.  |
|  | SCAN              | Door de overheid opgesteld project naar waar de Nederlandse ondergrond, in de delen waarover wij nog weinig informatie hebben, geschikt zou kunnen zijn voor de winning van aardwarmte. Hierbij komt nieuwe (seismische) data beschikbaar die een beter beeld geeft van de diepere ondergrond.  |
|  | Omwonenden        | Omwonenden zijn belanghebbende bij een besluit tot verlening of afwijzing van een vergunning. Zij kunnen vaak wel iets merken van geothermie activiteiten, zeker bij de aanleg van de putten. Vaak wordt er in het proces ook gekeken naar het participatietraject dat is gevolgd en dus of omwonenden goed zijn geïnformeerd en hun zienswijzen zijn gehoord. Daarnaast kunnen ze warmteafnemer zijn. DAGO heeft een Gedragscode Omgevingsbetrokkenheid geformuleerd om hier principes aan te geven. ( <a href="https://www.dago.nu/wp-content/uploads/2019/11/DAGO-Gedragscode-Omgevingsbetrokkenheid-bij-Aardwarmteprojecten.pdf">https://www.dago.nu/wp-content/uploads/2019/11/DAGO-Gedragscode-Omgevingsbetrokkenheid-bij-Aardwarmteprojecten.pdf</a> )   |
|  | NGO's             | Organisaties die onafhankelijk zijn van de overheid en een verondersteld maatschappelijk belang dienen. In deze context gaat het om organisaties die betrekking hebben op milieubescherming, gezondheid en belangenbehartiging van omwonenden. Zij hebben de mogelijkheid om bezwaar aan te tekenen tegen vergunningen, actie te voeren en onderzoek te doen. Door NGO's en omwonenden al vroeg mee te nemen in het project kunnen eventuele bezwaren mogelijk weggenomen worden. Enkele organisaties van toepassing op dit project zijn: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Natuur en Milieu is een organisatie gericht op politiek, bedrijven en andere belangenorganisaties in het kader van natuur en milieu.</li> <li>- Milieudefensie is een organisatie die projectgericht werkt om het milieu te beschermen. Zij zetten vaak activisme in vanuit de gemeenschap.</li> </ul> |

|  | Actor/stakeholder  | Toelichting  |
|--|--------------------|--|
|  |                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Greenpeace is een bekende organisatie gericht op natuurbescherming. Greenpeace opereert internationaal en heeft als doel een groene, duurzame en vreedzame wereld. Zij richt zich daarvoor op zowel bedrijven als overheden.</li> <li>- Urgenda is overtuigd van de mogelijkheid dat in 2030 de gehele energievoorziening duurzaam kan zijn. Zij heeft hiervoor een actieplan ontwikkeld met de bijbehorende kosten en baten. Urgenda is bekend geworden door het winnen van de rechtszaak tegen de staat over het landelijke klimaatbeleid.</li> <li>- EcoHeemskerk is initiatief van inwoners van Heemskerk om bij te dragen aan de verduurzaming, respectievelijk de energietransitie. EcoHeemskerk is een energiecoöperatie. Voorsnog is deze vereniging vooral gericht op zonnepanelen.</li> <li>- Energiek Velsen is een coöperatie voor iedereen in Velsen die duurzame energie een warm hart toedraagt. Zij zijn gericht op energiebesparing, gezamenlijke inkoopacties en zonne-energie.</li> <li>- Beverwijk Duurzaam is een lokaal duurzaamheidsplatform. Zij bouwen een lokaal netwerk op rond duurzaamheid.</li> <li>- EcoBeverwijk is een initiatief van Beverwijk Duurzaam. Zij is een energiecoöperatie. Voorsnog zijn ze bezig met energiebesparing. In de toekomst ligt ook energieopwekking in het verschiet in verschillende vormen.</li> </ul> |
|  | HVC                | <p>HVC is een duurzaam energie- en afvalbedrijf. HVC heeft bijgedragen aan het aardwarmtebedrijf Trias Westland en is bezig met partners om aardwarmteproject op te zetten in Monster en Maasdijk. Daarnaast ontwikkelt zij in opdracht van gemeenten warmtenetten en is op dit moment in bezit van een exploratievergunning geothermie voor het gebied rond Velsen. Na overleg met HVC is duidelijk geworden dat zij graag met de deelnemende bedrijven meedenken over een mogelijke samenwerking of het delen van de exploratievergunning. Voor meer informatie, zie paragrafen 6.2.4 en 7.8.</p>  |
|  | Hydreco Geomec     | <p>Geothermie ontwikkelaar en operator. Ook begeleiden zij het opzetten van een aardwarmte-installatie als projectleider en kunnen zij het technisch beheer op zich nemen.</p>   |
|  | ENCI               | <p>Cement producent, gelegen aan het terrein van Tata Steel. In het productieproces wordt hoogovenslak (een rest product van Tata Steel) gebruikt en wordt het cement tot zeer hoge temperaturen 800 tot 1800°C verhit en later weer afgekoeld. Een dergelijke energievraag is wellicht ook interessant als extra afnemer van energie of als leverancier van hun restwarmte.</p>   |
|  | WINDOW project     | <p>Het WINDOW project richt zich op ondergrondse opslag van warmte (HTO).</p>  |
|  | TDD                | <p>Tipper Deep Detection is een bedrijf dat magneto-tellurische meting gebruikt om de ondergrond in kaart te brengen. Ze stellen ongeveer elke mogelijke anomalieën te kunnen detecteren en karteren. Hierbij wordt dus geen gebruikgemaakt van seismische energiebronnen, maar van natuurlijke magneetvelden. Er worden twee problemen voorzien voor het gebruiken van deze technologie in Nederland. In Nederland is sprake van veel kunstmatige elektromagnetisme. Hierdoor kan het signaal verstoord worden. Ook bestaat de ondergrond in Nederland uit conductorende gesteenten. Hierdoor worden de contrasten minder groot en worden de resultaten moeilijker te interpreteren.</p>  |
|  | EAVOR Technologies | <p>EAVOR Technologies is een geothermiebedrijf dat een gesloten systeem heeft ontwikkeld voor diepe geothermie, de EAVOR-Loop. Een pilot project in Canada is succesvol aangelegd en getest door TNO.</p>  |



|                  | Actor/stakeholder                  | Toelichting   |
|------------------|------------------------------------|---|
|                  |                                    | Een intentieverklaring voor het ontwikkelen van een EAVOR-loop is getekend door ENEX in München. Voor meer informatie, zie paragrafen 3.1.3, 6.2.2 en 7.7.  |
|                  | RVO                                | De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland stimuleert ondernemend Nederland bij duurzaam en innovatief ondernemen. Dit doet zij door subsidies, het vinden van zakenpartners en kennis. RVO is onderdeel van het ministerie van EZ&K en werkt ook in opdracht van de Europese Unie, het ministerie van BuZa en BiZa en Koninkrijksrelaties.  |
|                  | Mijnraad                           | De Mijnraad adviseert de minister over het verlenen van opsporings- en winningsvergunningen. Zij is onafhankelijk. De Mijnraad wint voor het beoordelen van de aanvraag advies in van TNO, EBN en eventueel een provincie. Daarnaast toetst ze de aanvraag aan de Mijnbouwwet.  |
|                  | Technische commissie bodembeweging | De Tcbb beoordeelt het verband tussen winning en bodembeweging. Zij is een onafhankelijke commissie met adviestaken die verband houden met de gevolgen die mijnbouwactiviteiten hebben op de beweging van de aardbodem en de schade die daaruit kan volgen.   |
|                  | Green Deal UDG                     | Om de ontwikkeling van ultra diepe geothermie te bevorderen is er een Green Deal gemaakt. Het doel hiervan is om de kennis te vergroten en toepasbaar te maken. Er zijn 7 consortia gevormd die UDG zijn gaan onderzoeken: UDG Heerenveen, UDG Leeuwarden, GOUD, Renkum, Geothermie Oost Brabant, UDG Schiedam en UDG Haven Rotterdam.  |
|                  | Overige dwarsverbanden in de regio | In een vervolgfase zijn deze dwarsverbanden mogelijk ook interessant om mee te nemen in de communicatie: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Techport</li> <li>- Greenbizz</li> <li>- Economische Samenwerking IJmond (ESIJ)</li> </ul>  |
| <b>Wetgevend</b> | Provincie                          | Provincies kunnen in verschillende hoedanigheden betrokken zijn bij geothermie. Zij kunnen grondeigenaar, adviserend bestuursorgaan en belanghebbende zijn. Op het gebied van stikstofemissie is de Provincie Noord-Holland toezichthouder.   |
|                  | Rijkswaterstaat                    | Rijkswaterstaat is de beheerder van hoofdvaarwegen en hoofdwatersystemen in Nederland. Bij het ontwikkelen van een geothermiebron komt boorwater en formatie water vrij. Bij lozingen op rijkswater is Rijkswaterstaat bevoegd gezag. In het geval van ontwikkelwater van geothermie is het zoutgehalte van belang en andere verontreinigingen die aanwezig zijn in het ontwikkelwater. Overleg met Rijkswaterstaat zal nodig zijn om de minimale waterkwaliteit van het te lozen water te bepalen. Zeer waarschijnlijk zal dit water afgevoerd en door een specialistisch bedrijf, als CMF, verwerkt moeten worden.<br><br>Note: Crown van Gelder loost momenteel water op rijkswater en valt daarmee onder Rijkswaterstaat voor alle lozingen op het terrein. |
|                  | Omgevingsdienst                    | Voor bedrijven vaak het contactpunt van de provincie op het gebied van milieuvergunningen. Dit speelt vaak een rol bij veranderingen in productieprocessen of uitbreidingen en aanpassingen aan installaties. De omgevingsdienst is ook het aanspreekpunt voor ondiepe bodemenergiesystemen als WKO's. In het geval van dit project is Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied bevoegd gezag. Het verdient aanbeveling om ook Omgevingsdienst IJmond mee te nemen in het proces en de communicatie.<br><br>Toezichthouders per bedrijf:<br>Tata Steel– Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied<br>Crown van Gelder – Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied   |

|  | Actor/stakeholder | Toelichting  |
|--|-------------------|--|
|  |                   | CMF – Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied   |
|  | SodM              | Staatstoezicht op de Mijnen is een rijksinspectiedienst en valt onder de minister van EZ&K en staat onder leiding van de inspecteur-generaal der mijnen. Zij heeft een rol als adviseur en als toezichthouder. SodM zorgt voor de naleving van wettelijke regels en het voorkomen van ongewenste situaties.  |
|  | Gemeente(n)       | Gemeenten kunnen in verschillende hoedanigheden betrokken zijn bij geothermie. Zij kunnen grondeigenaar, bevoegd gezag, adviseur en belanghebbende zijn.<br><br>In het geval van Crown van Gelder is de Gemeente Velsen eigenaar van de grond. Tata Steel en CMF zijn zelf eigenaar van hun terrein.         |
|  | Minister          | De minister van Economische Zaken en Klimaat vertegenwoordigt de staat voor alle met de eigendom van delfstoffen verband houdende handelingen. Zij is dus het bevoegd gezag voor de opsporings-, winnings- en omgevingsvergunning.   |
|  | Waterschap        | Het waterschap of hoogheemraadschap heeft een adviserende rol bij het afgeven of verlengen van een omgevingsvergunning voor het oprichten en exploiteren van inrichtingen die op het openbaar vuilwaterriool willen lozen. Het waterschap valt onder de provincie.   |
|  | ILT               | De Inspectie Leefomgeving en Transport opereert onder de minister van I&M. Zij bevordert de naleving en uitvoering van wet- en regelgeving voor bouwen, wonen, ruimte en milieu. In het kader van geothermie houdt ze toezicht op exploitanten van buisleidingen. (Besluit externe veiligheid buisleidingen) |

## 2.4 Financiële uitgangspunten

Bedrijven willen vooral als afnemers fungeren, een investering van tientallen miljoenen euro's ligt voornamelijk niet binnen hun mogelijkheden. Het heeft dan ook de voorkeur om samenwerking te zoeken met andere partijen uit de omgeving. Uiteraard spelen hierbij ook de bestaande subsidieregelingen een rol. Daarnaast bestaat ook de mogelijkheid om een externe partij geïnteresseerd te krijgen om in het project te investeren.

### 2.4.1 Financiële uitgangspunten deelnemers

#### *Tata*

Door de omvang van het bedrijf zijn grote investeringen gebonden aan strikte voorwaarden en processen die gevolgd moeten worden. Eén van die voorwaarden is de terugverdientijd van een investering. Door samenwerking te zoeken met andere afnemers, zoals de partnerbedrijven in deze studie, is de kans groter dat een consortium of een externe investeerder de aanleg van de bronnen wil financieren. Daarna zou Tata Steel als afnemer een bepaald tarief betalen voor de geleverde warmte.

#### *Crown van Gelder (CvG)*

CvG ziet outsourcing van de energieopwekking als een goede mogelijkheid. Met andere woorden; hierbij investeert CvG zelf niet in een geothermische centrale, maar betaalt zij de investerende partij een tarief per ton geleverde stoom. Financieel participeren door CvG in de voorziening waarin een dergelijke partij investeert behoort overigens ook tot de opties.

### *Central Mudplant and Fluid Services*

CMF heeft als standpunt dat zelf een geothermie-doublet laten aanleggen niet (economisch) rendabel is. Een eventuele mede-investering is wel nader te overleggen. Bij medegebruik is men vanzelfsprekend bereid om per eenheid energie dezelfde kosten te vergoeden als thans wordt voldaan per eenheid aan de nutsbedrijven.

## **2.4.2 Bestaande subsidiemogelijkheden**

Om het financiële deel van het aanleggen en gebruiken van een geothermiebron rond te krijgen, is tot op heden subsidie gewenst. De overheid herkent de potentie van geothermie en wil het ontwikkelen van deze techniek stimuleren. Naast het feit dat EBN nu wordt geacht te participeren in geothermieprojecten, stelt de overheid ook verschillende subsidiemogelijkheden open, waar geothermie ook onder valt. Deze subsidies worden grotendeels verdeeld door de RVO. De mogelijke subsidies die hier worden vermeld staan in de volgorde van het ontwikkeltraject (TSE-DEI-SDE).

### **2.4.2.1 Topsector Energie (TSE)**

TSE-subsidies richten zich op innovaties die duurzaamheid en economische groei aan elkaar koppelen. Met deze subsidie kan industrieel onderzoek, experimentele ontwikkeling en een demonstratieproject ondersteund worden. Er is een deel van het budget beschikbaar voor de industrie, waarbij CO<sub>2</sub>-reducerende maatregelen en een CO<sub>2</sub>-vrij industrieel warmtesysteem specifiek genoemd staan. Een geothermieproject past daarin voor de industrie als voorheen de door geothermie geleverde warmte geleverd werd door CO<sub>2</sub>-uitstotende systemen, zoals een stoomketel. Momenteel staat er voor dit type subsidie een maximum aan het bedrag dat wordt uitgekeerd van 500.000 euro. De studies mogen niet generiek zijn en moeten gericht zijn op een specifiek project.

### **2.4.2.2 Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+)**

DEI-subsidies richten zich op het verminderen van energieverbruik en CO<sub>2</sub>-reductie. Geothermie wordt hierbij specifiek genoemd als optie. De DEI-subsidies zijn voor het ontwikkelen van pilot- en demonstratieprojecten die ook na afloop van het subsidietraject in gebruik blijven. Zeker voor een pilotproject, dat representatief is voor de praktijk, staat het testen en verbeteren van een nieuwe technologie centraal. Aangezien het project na afloop van het subsidietraject in gebruik blijft, wordt de pilot full scale ontwikkeld. Een voorwaarde voor deze subsidie is dat de techniek of het gebruik daarvan innovatief moet zijn. Voor demonstratieprojecten mag er maximaal twee keer eerder subsidie gegeven zijn voor een zelfde soort project vanuit de TSE-regeling. Het maximale subsidiebedrag is 15 miljoen euro en de looptijd van het project mag maximaal vier jaar zijn. Als er minder dan een miljoen wordt aangevraagd is de maximale looptijd een jaar.

### **2.4.2.3 Garantiefonds boring**

De Regeling nationale EZ subsidies - Risico's dekken voor aardwarmte (RNES Aardwarmte) dekt het risico op een misboring af. Na het betalen van een premie, is de boring verzekerd tegen teleurstellende resultaten. Dit betreft alleen de aquiferparameters. Het risico op het mee-produceren van olie of gas of het risico op seismiciteit vallen niet onder de RNES. De regeling wordt aangevraagd bij de RVO. Er zijn wel voorwaarden aan verbonden: het geologisch onderzoek moet zijn uitgevoerd door een gecertificeerde onderneming (ISO 9001), een afgegeven opsporings- of winningsvergunning is nodig en een uitgewerkt financieringsplan moet klaarliggen. Daarnaast moet het project in korte tijd gerealiseerd worden. De volgende voorwaarden worden dan ook gesteld aan de planning: het boorproject moet binnen een jaar na goedkeuring starten, na aanvang van de boring moet het project binnen een jaar zijn voltooid en het project moet binnen twee jaar leiden tot toepassing van aardwarmte. Binnen de RNES kan garantie geregeld worden voor het boren van één put of van twee putten. Per 'regulier' project is de maximum ondersteuning 11 miljoen euro. Voor een 'diep' project is de maximum 18,7 miljoen euro. Er wordt binnen de regeling een verschil gemaakt tussen een 'regulier' of een 'diep' project. Een diep project is dieper dan 3.500 meter. De premie van deze verzekering is 7% van het maximale subsidiebedrag. Stapelen is toegestaan binnen deze regeling. Het (te) ontvangen subsidiebedrag dat van toepassing is op het boren wordt afgetrokken van het verzekerde bedrag binnen de RNES.

#### 2.4.2.4 Stimulering Duurzame Energietransitie (SDE++)

SDE-subsidies richten zich op het exploiteren van duurzame energie. Naast het stimuleren van duurzame energie, kan de subsidie ook aangevraagd worden voor CO<sub>2</sub>-reductie. Vaak is het exploiteren van bronnen voor duurzame energie nog niet rendabel. De SDE-subsidie kan hiervoor ingezet worden. Een SDE-subsidie kan goed samengaan met een DEI subsidie. Met de DEI-subsidie kan het project gebouwd worden en met de SDE-subsidie kan het kostendekkend geëxploiteerd worden. De waarde van ETS-certificaten wordt meegerekend bij de bepaling van de SDE-subsidie.

De SDE-subsidie compenseert de aanvrager voor de meerkosten van de duurzame energiebron ten opzichte van conventionele energie. Hiervoor is een basisbedrag vastgesteld voor elke technologie. Dit is de kostprijs voor de productie van diezelfde technologie. Deze ligt vast over de gehele looptijd van de subsidie. Dit is ook het maximale bedrag waarvoor subsidie kan worden aangevraagd. Ook is er een basisenergieprijs vastgesteld. Daarnaast worden ieder jaar correctiebedragen vastgesteld. Dit zijn de opbrengsten van de technologie. De correctiebedragen worden onder andere vastgesteld door de marktwaarde van de opbrengsten.

Het subsidiebedrag per MWh (in het geval van geothermie) is dan het basisbedrag minus het correctiebedrag. Als de waarde van het correctiebedrag minder is dan de basisenergieprijs, wordt de basisenergieprijs aangehouden. Bij het uitkeren van de subsidie wordt een maximum aantal subsidiabele vollasturen aangehouden van 6.000 uur voor een geothermiebron voor de basislast. Het aantal vollasturen wordt dan vermenigvuldigd met het vermogen. Dat levert de jaarproductie op. De jaarproductie maal het subsidiebedrag is dan de bijdrage van de SDE voor dat jaar.

Binnen de geothermie wordt onderscheid gemaakt tussen ondiepe (500 – 1.500 m), diepe (1.500 – 4.000 m) en ultradiepe geothermie (> 4.000 m). Daarnaast wordt er onderscheid gemaakt tussen installaties die in een basislast voorzien of niet. Warmtelevering voor de gebouwde omgeving wordt niet als basislast aangemerkt. Hiervoor is het warmtevraagprofiel niet continu genoeg. Binnen de diepe geothermie wordt ook onderscheid gemaakt tussen systemen met een basislast van meer of minder vermogen dan 20 MW<sub>th</sub>.

Het basisbedrag voor diepe geothermie met meer dan 20 MW<sub>th</sub> vermogen is vastgesteld op 0,0455 €/kWh in 2021, wat vertaalt naar 45,50 €/MWh. Het correctiebedrag voor 2021 is voorlopig vastgesteld op 0,016 €/kWh.

#### 2.4.2.5 European Innovation Fund

Naast de nationale subsidies, zijn er in Europees verband ook subsidiemogelijkheden. Het European Innovation Fund wordt gefinancierd met de opbrengstenkosten per eenheid energie aan ETS en binnen een aanvraag moet dan ook een ETS deelnemer aanwezig zijn. Het fonds is groot en kan mogelijk een vooraf vastgesteld bedrag van 10 miljard omvatten over de periode 2020-2030. De per eenheid (vastgesteld per jaar) tot de daadwerkelijke grootte is nog onbekend door de fluctuerende CO<sub>2</sub>-prijzen. Het fonds richt zich onder andere op zeer innovatieve hernieuwbare energie en energieopslag en zoekt daarbij naar grote projecten die van Europese waarde zijn en een significante emissiereductie kunnen bewerkstelligen. Er wordt specifiek ook gekeken naar energie-intensieve industrie. In de zomer van 2020 komt de eerste call voor projecten van meer dan 7,5 miljoen, later komt er ook een call voor kleinere projecten.

Het inschrijfproces bestaat uit twee fases: 'expression of interest' en 'full application'. Tijdens de eerste fase wordt beoordeeld wat de effectiviteit, het innovatieniveau en bedrijfsrijpheid is. Als uit deze eerste beoordeling blijkt dat de bedrijfsrijpheid achterblijft, maar de effectiviteit en het innovatieniveau goed zijn dan kun je in aanmerking komen voor hulp bij de projectontwikkeling. Tijdens de tweede fase wordt naar deze drie delen gekeken en daarnaast naar de schaalbaarheid en kosteneffectiviteit/kosten per eenheid.

#### **2.4.2.6 Energie-investeringsaftrek (EIA)**

De EIA is niet een subsidie. De EIA regelt fiscaal voordeel over de investeringen die gedaan zijn voor energiebesparing. 45% van de investeringskosten voor energiebesparende bedrijfsmiddelen kunnen afgetrokken worden van de fiscale winst boven op de gebruikelijke afschrijving, als er voldoende besparing wordt behaald. De regeling voor aanschafkosten moet worden aangevraagd binnen drie maanden nadat de investering is aangegaan. Voor de voortbrengingskosten geldt dat deze gemeld moeten worden binnen drie maanden na het einde van het kalenderkwartaal waarin de voortbrengingskosten zijn gemaakt (het gaat dan om het betaalmoment). Het bedrijfsmiddel waarin wordt geïnvesteerd kost minimaal € 2.500,-. Het totale bedrag aan investeringen waarvoor de EIA in aanmerking komt is maximaal 124 miljoen euro.

De EIA kan worden gebruikt naast andere subsidies. De subsidie moet dan afgetrokken worden van de aanschaf- of voortbrengingskosten. Exploitatiesubsidie hoeft niet in mindering gebracht te worden. De EIA kan niet gebruikt worden samen met de Milieu-investeringsaftrek. Voor een bedrijfsmiddel waarvoor de Investeringsubsidie duurzame energie is gekregen, kan geen melding ingediend worden voor de EIA.

#### **2.4.2.7 Investeringsubsidie duurzame energie en energiebesparing (ISDE)**

De ISDE is voor zowel particuliere als zakelijke gebruikers. Voor zakelijke gebruikers is deze subsidie gericht op het verduurzamen van gebouwen of te verhuren woningen. De regeling ondersteunt bij het aanschaffen van bijvoorbeeld warmtepompen, zonneboilers en/of kleinschalige windturbines. Deze subsidie geldt niet in combinatie met andere subsidies. De subsidie is voor warmtepompen met een thermisch vermogen van maximaal 70 kW.

### **2.5 Overzichtelijke lijst met uitgangspunten**

De lijst met uitgangspunten die op basis van de bevinden uit dit hoofdstuk zijn opgesteld is opgenomen als het eerste onderdeel van het *Generieke stappenplan haalbaarheid geothermie*, bijlage 4.

## **3 Inventarisatie ondergrond en omgeving**

### **3.1 Algemene Bodemopbouw Velsen**

Om een degelijke inschatting te kunnen maken van de potentie van geothermie (aardwarmte) in Velsen is kennis van de bodemopbouw en de eigenschappen van de bodemlagen van essentieel belang. Geothermische warmte wordt doorgaans op een diepte van meer dan 1,5 km gewonnen. Met het oog op de omgevingsbelangen is het ook van belang dat de ondiepe ondergrond in kaart wordt gebracht.

Voor de winning van aardwarmte op dieptes van meer dan 500 m is de Mijnbouwwet van toepassing. Deze valt onder de wet BRO (Basisregistratie ondergrond). Omdat de mogelijkheid bestaat dat er een installatieconcept wordt ontwikkeld waarbij bijvoorbeeld temperatuuropslag in relatief ondiepe bodemlagen (< 500m) nodig is, zijn deze bodemlagen ook beschreven. Daarom is in deze studie voor tweedeling van de bodemopbouw gekozen; Ondiepe bodemopbouw (tot 500 m) en Diepe bodemopbouw (dieper dan 500m).

#### **3.1.1 Ondiepe bodemopbouw, tot 500 m**

Naast de mogelijkheid om relatief ondiep water met hoge temperaturen op te slaan, is het voor eventuele bronboorders ook van belang om te weten door welke bodemlagen er geboord moet worden. Hierbij is dan bijvoorbeeld ook aandacht voor verontreinigingen en het voorkomen van het instorten van het boorgat.

De ondiepe bodemopbouw tot 500 meter is beschreven op basis van de volgende gegevens:

- Regionaal Geohydrologisch Informatiesysteem REGIS-II.
- Boorbeschrijving uit het DINOloket (B25A0926).

In Nederland bestaan de eerste 150 tot 200 meter van de ondergrond doorgaans uit ongeconsolideerde zand en kleilagen welke doorgaans goed zijn beschreven en gekarteerd. Dit komt vooral omdat deze lagen veel worden gebruikt voor (drink)waterwinning en ondiepe bodemenergiesystemen.

De geohydrologische schematisatie is opgenomen in tabel 3.1. Aanvullende opmerkingen:

- De doorlatendheid en weerstanden van de lagen zijn overgenomen uit het model van REGIS-II.
- De diepte van de lagen varieert over het gehele projectterrein. De genoemde dieptes in tabel 3.1 zijn dan ook indicatief. Zoals te zien in figuur 3.1 zijn ook niet alle lagen continu aanwezig, zoals de formatie van Sterksel.

De opbouw van de bodem rondom Velsen is een afwisseling van dikke pakketten zand en dunnere lagen klei. De zandlagen bevatten water en worden aquifers genoemd. De kleilagen scheiden de aquifers. Hierdoor zit er mogelijk verschil tussen de waterkwaliteit van verschillende aquifers. In de bodemlagen tot 200 meter diepte wordt ook aan warmte-koudeopslag gedaan. Deze WKO-systemen onttrekken en infiltreren grondwater om warmte of koude te onttrekken aan het grondwater. Ook worden er tot circa 200 meter diepte bodemwarmtewisselaars geïnstalleerd, oftewel gesloten bodemenergiesystemen.

**Tabel 3.1: geohydrologische schematisatie (op basis van REGIS-II en ter hoogte van boring B25A0926)**

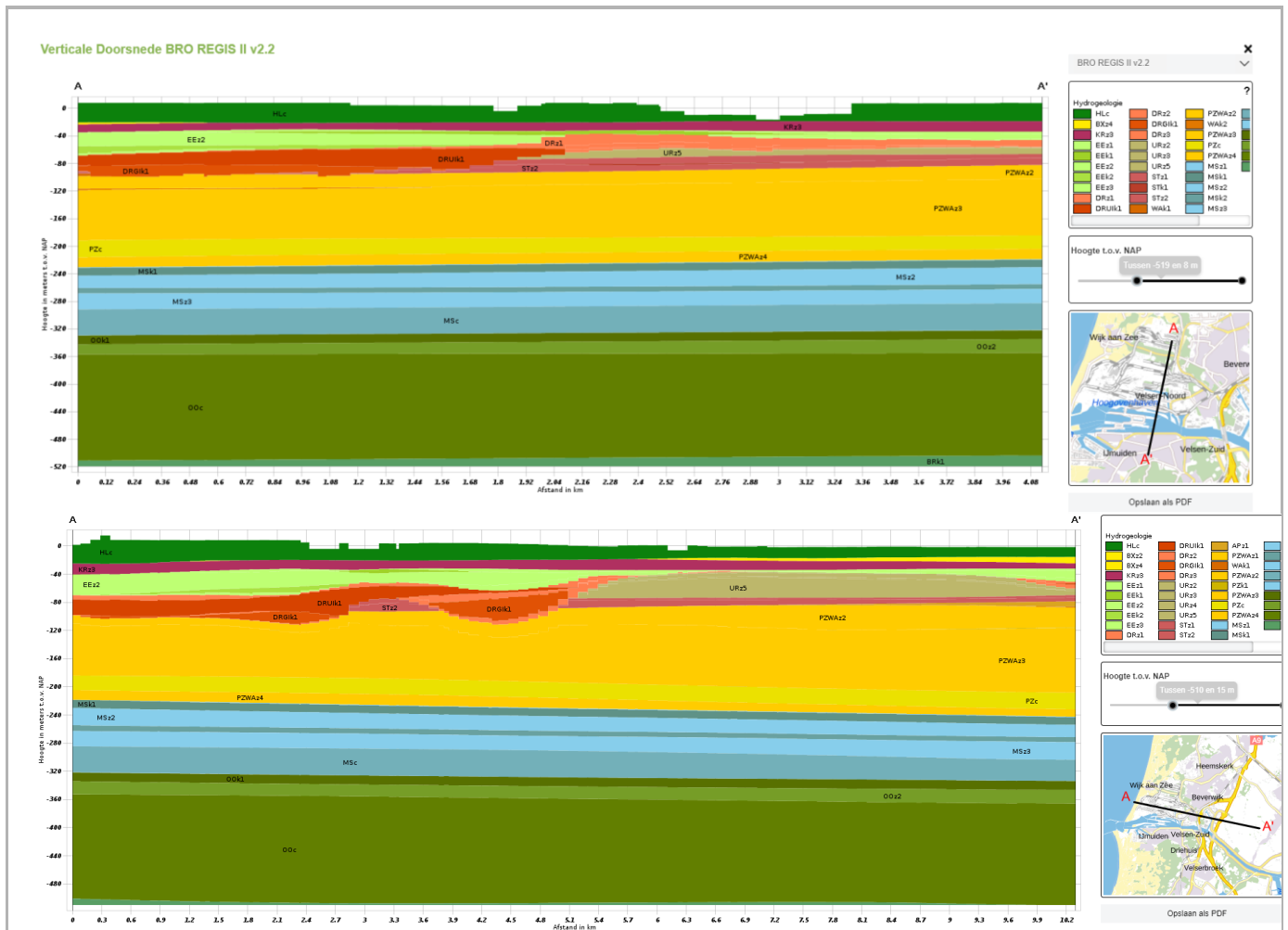
| Diepte (m-mv)* |   |     | Lithologie   | Geohydrologische situatie | k (m/d) | kD (m <sup>2</sup> /d) | c (d)   |
|----------------|---|-----|--|---------------------------|---------|------------------------|---------|
| 0              | - | 25  | Deklaag van voornamelijk zand met wat klei en schelpen (duinen / strandafzettingen) (Holocene afzettingen, Formatie van Naaldwijk) | Deklaag                   | -       | -                      | -       |
| 25             | - | 80  | Matig fijn tot zeer grof zand (Formatie van Kreftenheye en Eem)  | WVP** 1                   | Ca. 14  | 522                    | 52      |
| 80             | - | 110 | Klei met wat hummus (Formatie van Drente)  | Scheidende laag           | -       | -                      | 31.000  |
| 110            | - | 250 | Grof zand (Formatie van Sterksel, Peize en Waalre)   | WVP 2                     | Ca. 34  | 5.330                  | 660     |
| 250            | - | 260 | Zandige klei en klei (Formatie van Maassluis)  | Scheidende laag           | -       | -                      | 4.000   |
| 260            | - | 330 | Afwisselingen van zand en klei (Formatie van Maassluis)  | WVP 3                     | Ca. 4   | 389                    | 4.600   |
| 330            | - | 360 | Klei (Formatie van Oosterhout)   | Scheidende laag           | -       | -                      | 3.000   |
| 360            | - | 500 | Zandige lagen (Formatie van Oosterhout)  | WVP 4                     | Ca. 2   | 220                    | 20.000  |
| 500            | - | 825 | Klei (Formatie van Breda)  | Geohydrologische basis    | -       | -                      | 150.000 |

\* maaiveld = circa NAP +8m meter

\*\* WVP = watervoerend pakket



Figuur 3.1: dwarsdoorsnede uit REGIS-II; Noord-zuid-profiel (boven) en West-oost-profiel (onder)



### 3.1.2 Diepe bodemopbouw, >500 m

De analyse van de diepe ondergrond heeft als primair doel om gesteentelagen te identificeren waar potentieel warmte uit gewonnen kan worden, zogeheten reservoirgesteente. Bij deze analyse is het tevens van belang dat er een aantal van de reservoir eigenschappen in kaart worden gebracht die nodig zijn om in te schatten hoeveel warmte een geothermie bron zou kunnen leveren.

Veel van de informatie die op dit moment beschikbaar is van de diepe ondergrond komt voort uit de decennialange zoektocht naar olie- en gasreserves. Voor een groot deel komen de dieptetrajecten en reservoirgesteenten van olie- en gasexploratie overeen met die waaruit men verwacht aardwarmte te kunnen winnen. Een nadeel is echter dat voor olie- en gasexploratie naast reservoirgesteente nog een aantal andere factoren van essentieel belang zijn, die voor aardwarmte niet vereist zijn. Hierdoor zijn er door heel Nederland 'Witte Vlekken' waarover er weinig of geen informatie van de diepe ondergrond beschikbaar is. Op dit moment is de Nederlandse overheid met een campagne (SCAN) bezig om in een deel van deze witte vlekken nieuwe data te vergaren. Omdat de meeste beschikbare data vanuit de olie- en gasindustrie zich toespitst op reservoirgesteente tot een diepte van maximaal 4 à 5 kilometer, focust een ander programmaonderdeel van SCAN zich op aardlagen tot 7 à 9 kilometer diepte. Deze diepte-intervallen zijn in Nederland voor olie- en gasexploratie niet erg interessant, maar men hoopt dat op deze dieptes het wel mogelijk is om op (zeer) hoge temperatuur (ruim hoger dan 100°C) geothermie te realiseren, zogeheten Ultra-diepe geothermie.

Om in deze studie zo breed mogelijk de potentie van geothermie te onderzoeken, wordt hieronder de bodemopbouw van 500 meter tot circa 8 kilometer beschreven. Daarna wordt er in meer detail ingegaan op de meest kansrijke reservoirgesteenten.

De belangrijkste bron voor geologische data zijn de archieven, databestanden en boringen van het Nederlandse Olie- en Gasportaal (*TNO-GDN (2021)*). In *Stratigrafische Nomenclator van Nederland, TNO – Geologische Dienst Nederland*, hier zijn ook de (tussentijdse) onderzoeksresultaten van het SCAN-programma te vinden. Eén van de programmaonderdelen van SCAN is dat er op een aantal plekken in Nederland nieuwe seismische data wordt vergaard om een groot deel van de witte vlekken in te kunnen gaan vullen. Helaas is er in de buurt van de projectlocatie geen nieuwe data beschikbaar. Hierdoor is de opbouw van de diepere ondergrond (> 3km) erg lastig te voorspellen.

In de onderstaande hoofdstukken worden de verschillende bodemlagen (hierna: formaties) van ondiep naar steeds dieper beschreven. Hierbij wordt naast de formatienaam ook het geologische tijdvak, een korte omschrijving en de potentie voor geothermie van de betreffende formatie behandeld. Hierbij wordt de Hiërarchische Stratigrafische Nomenclatuur gehanteerd, zoals die in de ondergrondmodellen van het DINOloket (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond) staan. De geothermische potentie is geanalyseerd (deels) op basis van de modellen uit ThermoGIS.

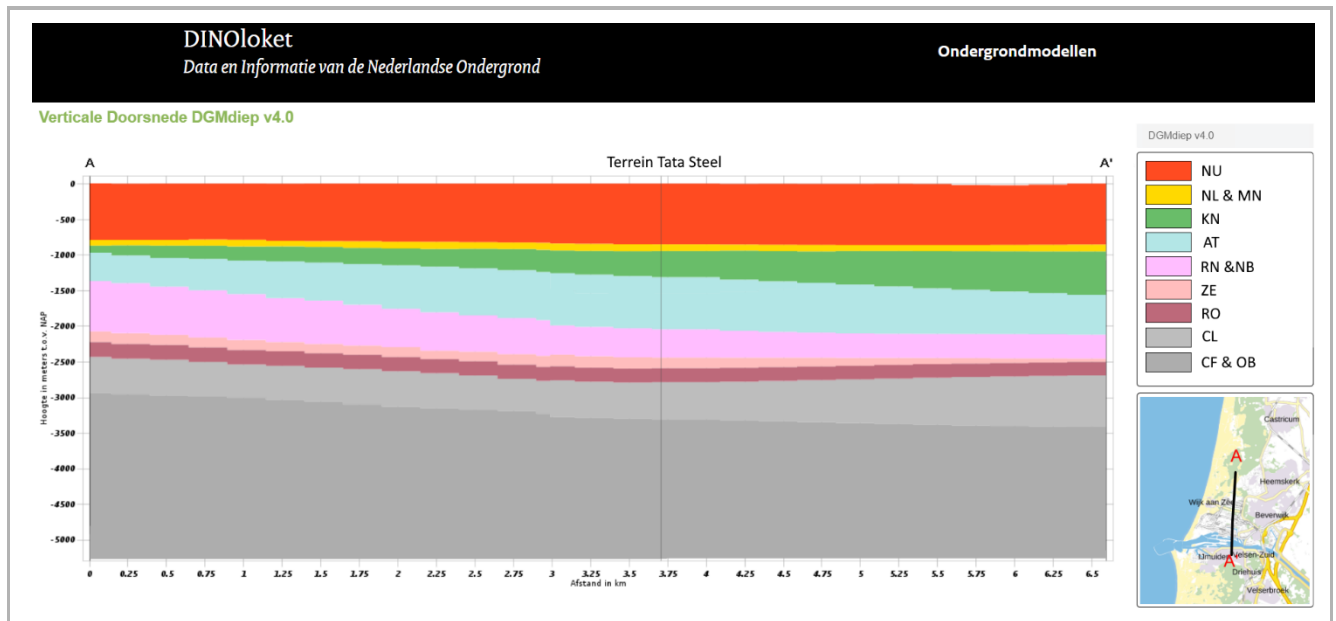
In tabel 3.2 is een overzicht te zien van de bodemopbouw onder Velsen, provincie Noord-Holland. In figuur 3.2 is een (zeer) schematische noord-zuid dwarsdoorsnede van de diepe ondergrond.

**Tabel 3.2: bodemopbouw diepe ondergrond**

| Diepte (m) |            | Formatie                                 | Geologie   | Potentie voor geothermie   |
|------------|------------|--|--|--|
| 0          | - 825      | Boven Noordzee Groep (NU)                | Ongeconsolideerde zanden en kleien. Rivier en marine afzettingen | Geen, wel potentie voor warmte-koude opslag (WKO) en hoge temperatuur opslag (HTO) |
| 825        | - 925      | Onder en Midden Noordzee Groep (MN & NL) | Zanden, silten en kleien van voornamelijk mariene oorsprong      | Geen   |
| 925        | - 1.300    | Rijnland Groep (KN)                      | Kleiige en lichtgrijze en roodbruine mergels                     | Geen   |
| 1.300      | - 1.800    | Altena Groep (AT)                        | Fijnkorrelige kleistenen met enkele silt- en zandstenen          | Geen   |
| 1.800      | - 2.200    | Boven-Germaanse Trias Groep (RN)         | Siltige kleistenen, evaporieten, carbonaten en zandstenen        | Geen   |
| 2.200      | - 2.350    | Onder-Germaanse Trias Groep (RB)         | Zandstenen en kleistenen   | Redelijk, maar reservoir lijkt te dun  |
| 2.350      | - 2.400    | Zechstein Groep (ZE)                     | Evaporieten (zoals anhydriet en steenzout) met carbonaten        | Geen   |
| 2.450      | - 2.700    | Boven-Rotliegend Groep (RO)              | Zandstenen en kleistenen   | Hoog   |
| 2.700      | - 3.400    | Limburg Groep (DC)                       | (zeer) fijnkorrelige afzettingen en steenkool                    | Geen   |
| 3.400      | - 8.000    | Kolenkalk Groep (CL)                     | Carbonaten   | Geen   |
| 8.000      | - Onbekend | Farne Groep (CF)                         | Waarschijnlijk afwezig   | Geen   |
| <8.000     | - Onbekend | Banjaard Groep (OB)                      | Kent geen officiële beschrijving in Nederland                    | Geen   |



Figuur 3.2: noord-zuid dwarsdoornede van de diepe bodemopbouw, aangepast vanuit DINOloket)



### 3.1.2.1 Boven Noordzee Groep (NU)

Dieptetraject: 0 – 825 meter

Geol. tijdvak: Mioceen - Holoceen

Beschrijving: Het beste samengevat in de ondiepe bodemopbouw, zie paragraaf 3.1.1.

Potentie: De formatie van Peize & Waalre kent goede ongeconsolideerde zanden, maar met een diepte van 250 meter is de verwachte temperatuur hier slechts rond de 15°C. Vanwege de lage temperatuur is hier geothermie geen optie. In een dergelijk pakket zijn uiteraard wel open bodemenergiesystemen (WKO's) of Hoge Temperatuur Opslag (HTO) mogelijk, maar die kunnen niet voorzien in de geschetste warmtevraag.

### 3.1.2.2 Midden- en Onder-Noordzee Groep (MN & NL)

Dieptetraject: 825 – 925 meter

Geol. Tijdvak: Oligoceen – Paleoceen

Beschrijving: De Midden-Noordzee Groep bestaat voornamelijk uit zanden, silten en kleien van voornamelijk mariene oorsprong. De Onder-Noordzee Groep bestaat uit vergelijkbare afzettingen, maar kent meer klastische afzettingen in de marine omgeving.

Potentie: Geen. Binnen deze groep is een aquifer aanwezig in de Formatie van Voort (NMVfV), op circa 850 - 870 meter diepte. Ondanks dat deze laag erg goed doorlatend is en een hoog debiet zou kunnen leveren, is deze laag te dun (20 meter) en met 41°C te koud om een economisch winbaar doel te zijn.

### 3.1.2.3 Krijtkalk Groep (CK)

Deze formatie is rond de projectlocatie niet aanwezig.

### 3.1.2.4 Rijnland Groep (KN)

Dieptetraject: 925 – 1.300 à 1.500 meter

Geol. Tijdvak: Krijt, meer specifiek Albien

Beschrijving: Groep van kleiige en lichtgrijze en roodbruine mergels. Wordt naar de top toe kalkrijker. Kan aan de basis van de formatie zandsteen lagen bevatten.

Aan de bekkenrand kunnen hoger in de opeenvolging ook grove klastische lagen aanwezig zijn. Het afzettingsmilieu is marien / kust, ondiep tot vrij diep, open marien. De gehele Rijnland groep bestaat op de locatie uit de Formatie van Holland en is circa 400 tot 700 meter dik

Potentie: Geen. Op basis van ThermoGIS en de boring van Floricultura (HEK-GT-01-S2), bevat dit interval geen zandige lagen van voldoende dikte.

### 3.1.2.5 Boven Jura Supergroep (SK, GS, SL)

Deze samengevoegde groep bestaat normaliter uit bijvoorbeeld; de Nedersaksen Groep (SK), de Scruff Groep (SG) en/of de Schieland Groep (SL). Al deze pakketten zijn op de projectlocatie niet aanwezig en hebben geen potentie voor geothermie. Voor de volledigheid dient vermeld te worden dat in de Floricultura boring een dun interval van de Schielandgroep is aangetroffen van 4 meter dik.

### 3.1.2.6 Altena Groep (AT)

Dieptetraject: 1.300 à 1.500 – 1.800 à 2.100 meter

Geol. Tijdvak: Jura

Beschrijving: Voornamelijk fijnkorrelige kleistenen met zo nu en dan silt- en zandstenen. Sporadisch komen zeer organischkoolstofrijke concentraties voor. Het afzettingsmilieu is vooral ondiep tot open marien. Vanwege de nabijheid van het Zandvoort Hoog is er een behoorlijke onzekerheid over de dikte van deze pakketten, welke wordt geschat op 500 – 700 meter.

Potentie: Geen. Binnen dit interval worden geen dikke doorlatende lagen verwacht, waardoor er geen potentie is om warm grondwater te onttrekken. De geschatte temperatuur op 2.100 meter is 70 – 75°C.

### 3.1.2.7 Boven-Germaanse Trias Groep (RN)

Dieptetraject: 1.800 à 2.100 – 2.200 meter

Geol. Tijdvak: Midden- en Boven-Trias

Beschrijving: De groep bestaat voornamelijk siltige kleistenen, evaporieten, carbonaten en zandstenen. Het afzettingsmilieu wisselt af tussen; ondiep-, deels-afgesloten marien, binnensee. Op de projectlocatie lijkt de Formatie van Solingen (RNSO, Midden Trias – Anisien) aanwezig. Dit is een grijze zandsteen, welke is afgezet als vlechtende rivierafzettingen, afgewisseld met eolische en lacustriene afzettingen.

Potentie: Geen. De bovenkant van de Formatie van Solingen ligt op circa 2.160 meter diepte, en zou met een temperatuur van 80 – 90°C en een permeabiliteit van 200 mD interessant kunnen zijn. Echter, de verwachting is dat de formatie met <10 meter te dun is om economisch winbaar te zijn.

### 3.1.2.8 Onder-Germaanse Trias Groep (RB)

Dieptetraject: 2.200 – 2.350 meter

Geol. Tijdvak: Onder-Trias

Beschrijving: De Onder-Germaanse Trias Groep is onderverdeeld drie Bontzandsteengroepen. De Midden-Bunterzandsteen subgroep lijkt niet aanwezig en de Onder-Bontzandsteen Subgroep bestaat voornamelijk uit kleistenen. Het meest interessante interval is de Formatie van Volpriehausen (RBMVL, onderdeel van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep) en bestaat uit een opeenvolging van grijze zandstenen. Het afzettingsmilieu betreft voornamelijk rivierafzettingen, afgewisseld met lacustriene afzettingen

Potentie: Redelijk. De Volpriehausen zandsteen kan een interessant target zijn. De bovenkant ligt op circa 2.250 meter diepte en heeft een verwachte temperatuur van 90°C. Met een geschatte doorlatendheid van tussen 10 – 275 mD en een variabele dikte van circa 50 meter. Volgens ThermoGIS kan er in het meest gunstige geval een debiet worden gehaald van 120 m<sup>3</sup>/uur worden gehaald.

Omdat op overzichtskaarten de dikte van deze laag rond de projectlocatie sterk terugloopt, of zelfs afwezig is, concluderen wij voorlopig dat deze laag niet genoeg potentie heeft voor geothermie om verder uit te werken.

### 3.1.2.9 Zechstein Groep (ZE)

Dieptetraject: 2.350 à 2.500 – 2.400 à 2.600 meter

Geol. Tijdvak: Perm

Beschrijving: Opeenvolging bestaand uit evaporieten en carbonaten met enkele dunne kleisteen inschakelingen. De evaporieten bestaan voornamelijk uit anhydriet en steenzout. Het afzettingsmilieu is het best te vergelijken met een opdrogende binnenzee, waarbij een dik zoutpakket gevormd is. De verwachte dikte van de Zechstein Groep is 100 à 200 meter.

Potentie: Geen. Anhydrieten en zouten hebben geen doorlatendheid, waardoor er geen water uit onttrokken kan worden.

### 3.1.2.10 Boven-Rotliegend Groep (RO)

Dieptetraject: 2.450 – 2.700 meter

Geol. Tijdvak: Perm (Slochteren Formatie, Capitanien)

Beschrijving: Groep met een grote verscheidenheid aan afzettingen; conglomeraten, kleistenen, evaporieten en rode zandstenen. Het afzettingsmilieu is te beschouwen als een groot bekken, met een zoute binnenzee, waarbij aan de randen zanden zijn afgezeten in de vorm van zandplaten, eolische zanden (vergelijkbaar met zandwoestijn) en riviersystemen. Binnen deze groep is vooral de Formatie van Slochteren (ROSL) zeer interessant voor geothermie.

Potentie: Hoog. De Formatie van Slochteren wordt beschreven als een opeenvolging van doorgaans rode tot licht roodbruine, soms gele of grijze, zandstenen en conglomeraten. De zandstenen hebben een grote variatie in korrelgrootte, textuur en sedimentaire structuren. In dezelfde formatie is het geothermie-doublet van Floricultura in Heemskerk gerealiseerd. De dikte van de formatie wordt rond de projectlocatie geschat op 150 – 180 meter. Met een doorlatendheid tussen de 20 en 280 mD en een geschatte temperatuur van 98°C, is de potentie voor geothermie in dit reservoir hoog te noemen. De eerste inschattingen uit ThermoGIS duiden op een thermisch vermogen van 7,5 – 10 MW bij een debiet van circa 100 tot 200 m<sup>3</sup>/uur.

### 3.1.2.11 Onder-Rotliegend Groep (RV)

De pakketten uit het Onder-Rotliegend lijken in zijn geheel niet aanwezig te zijn op de projectlocatie.

### 3.1.2.12 Limburg Groep (DC)

Dieptetraject: 2.700 – 3.400 meter

Geol. Tijdvak: Boven-Carboon

Beschrijving: Van de Limburg Groep lijken alleen de Caumer- en de Geul-subgroep aanwezig. Deze subgroepen zullen waarschijnlijk alleen (zeer) fijn korrelige afzettingen en steenkool bevatten. Meer naar het noordwesten (de Nederlandse offshore-sectie) komen wel meer zandgedomineerde afzettingen voor. De kans op het aantreffen van dikke zandpakketten is rond de projectlocatie laag.

Potentie: Geen. Vanaf dit diepte-interval is er minder data beschikbaar, omdat hier doorgaans geen olie- en gasexploratie in heeft plaats gevonden. Daarnaast is er vanwege het ontbreken van goede seismiek erg veel onduidelijk over de aanwezigheid, de dikte en de eigenschappen van de afzettingen die dieper zijn gelegen.

### 3.1.2.13 Kolenkalk Groep (CL)

Dieptetraject: 3.400m – 8.000 meter

Geol. Tijdvak: Onder-Carboon

Beschrijving: De Kolenkalk Groep bestaat voornamelijk uit lichtgrijze, bruine en zwarte carbonaten, welke zijn afgezet in een marine omgeving. Het gaat hierbij vooral om carbonaatplatformen en (diep-)marine afzettingen. In deze formaties komen geen zandstenen meer voor. Carbonaat gesteenten kunnen wel als reservoirs voor geothermie dienen. Een voorbeeld hiervan zijn de carbonaatplatformen in de Formatie van Zeeland (CLCZ, ouderdom is Dinantien, specifiek Viséen). Op basis van rapporten uit SCAN blijkt dat de verwachte onderverdeling van de Kolenkalk Groep ongeveer als volgt is: Namurien ouderdom, klei en schalie 3.400 – 8.000 meter, Dinantien: 8.000 meter – dikte wordt geschat op 200 – 300 meter.

Potentie: Geen. Eén van de onderdelen uit SCAN is een reeks onderzoeken naar de carbonaten uit het Dinantien. Dit is namelijk één van de diepe gesteentes waaruit men hoopt ultra diepe geothermie uit te kunnen realiseren. Uit nieuwe modellering van de temperaturen blijkt dat aan de bovenkant van het Dinantien (op 8km diepte) een temperatuur verwacht wordt van circa 300°C. Helaas blijkt ook uit het onderzoek van SCAN de op de projectlocatie verwacht wordt dat er geen carbonaatplatforms aanwezig zijn en dat er vooral 'basin desposits' zonder porositeit en permeabiliteit worden verwacht. Vanwege het gebrek aan carbonaatplatformen is er geen potentieel reservoirgesteente en dus geen potentie voor ultra diepe geothermie op de locatie.

### 3.1.2.14 Farne Groep (CF)

De pakketten van de Farne Groep lijken in zijn geheel niet aanwezig te zijn op de projectlocatie.

### 3.1.2.15 Banjaard Groep (OB)

Dieptetraject: < 8.000 meter - Onbekend

Geol. Tijdvak: vroegst-Carboon

Beschrijving: Er zijn slechts een paar boringen in Limburg die deze formatie hebben aangeboord, waardoor de hoeveelheid data zo beperkt is dat er geen officiële beschrijving van gemaakt is in Nederland.

Potentie: Geen. Vanwege het bovenstaande is het niet realistisch om in het licht van deze studie enige geothermische potentie in deze formatie te verwachten.

## 3.2 Geothermie uit de Slochteren Formatie

Uit de hydrologische en geologische inventarisatie is gebleken dat de Slochteren Formatie, onderdeel van de Boven-Rotliegend Groep, een goed reservoir kan zijn om een geothermieproject in te realiseren. Dit wordt ondersteund door het feit dat er een aantal kilometers ten noorden in dezelfde formatie reeds een geothermie-doublet is gerealiseerd met een vermogen van rond de 10MW.

Om helder te krijgen op welke manier en in welke mate een geothermiesysteem aan de energievraag van de drie deelnemende bedrijven kan voldoen zullen er simulaties gemaakt worden die als basis dienen voor de berekening van mogelijke businesscases. De eerste is een serie van 1D simulaties die bepaalt wat de verwachte vermogens en andere output kan zijn voor één enkel geothermie doublet. De tweede simulatie is een 2D berekening die helpt met bepalen hoeveel doubletten in een bepaald gebied geplaatst kunnen worden en hoelang en bij welke onderlinge afstand deze doubletten ongeveer kunnen opereren.

Voor deze simulaties zijn een groot aantal parameters, van zowel de bodemgesteldheid als een aantal uitgangspunten voor het geothermiesysteem, nodig die hieronder kort beschreven worden. Een overzicht met de ingeschatte waarden, met bronvermelding, zijn weergegeven in bijlage 2 en 3. De resultaten met het geschatte vermogen zijn terug te vinden in paragraaf 5.2.1.

### 3.2.1 Aquifer eigenschappen

#### *Permeabiliteit (mD)*

De doorlatendheid van het reservoir in milli Darcy. Deze parameter bepaalt in hoge mate hoeveel water er per doublet uit de laag kan worden onttrokken. Bij zandsteen staat deze parameter vaak in relatie tot de porositeit van de laag, welke weer samenhangt met het afzettingsmilieu. Ook kunnen secundaire processen in de ondergrond de permeabiliteit positief of negatief beïnvloeden, waardoor het juist inschatten van de permeabiliteit erg moeilijk kan zijn.

#### *Net to gross (-)*

De factor van het aandeel van de formatie dat uit reservoirgesteente bestaat en het deel van de formatie dat uit niet-doorlatend gesteente bestaat.

#### *Gross dikte (m)*

De dikte van het interval waaruit water onttrokken zal worden.

#### *Top-diepte bij de productieput (-NAP)*

De diepte in meters onder NAP waarop het reservoirgesteente begint, op de locatie van de productieput.

#### *Top-diepte bij de infiltratieput (-NAP)*

De diepte in meters onder NAP waarop het reservoirgesteente begint, op de locatie van de infiltratieput.

#### *Zoutgehalte formatiewater (ppm)*

Het zoutgehalte heeft een groot effect op de dichtheid van het formatie water en andere fysische eigenschappen, zoals de warmtecapaciteit.

#### *Kh/kv ratio (-)*

De verhouding tussen de permeabiliteit in horizontale en verticale richting. De meeste sedimentologische processen zorgen ervoor dat sediment (bijvoorbeeld zand) in laagjes wordt afgezet. Een gevolg van deze gelaagdheid is dat vloeistoffen vaak in de horizontale richting makkelijker door een laag stromen dan in verticale richting tussen twee lagen.

#### *Temperatuur aan het maaiveld (°C)*

Spreekt voor zich. Hier wordt een jaargemiddelde van 10 graden voor gebruikt.

#### *Geothermische gradiënt (°C/m)*

De mate, in graden Celsius, waarin de temperatuur in de bodem met diepte, per meter, toeneemt.

#### *Temperatuur midden in aquifer, ter hoogte van de productieput (°C)\**

Spreekt voor zich.

#### *Initiële druk in het reservoir ter hoogte van de productieput (bar)\**

Spreekt voor zich.

#### *Initiële druk in het reservoir ter hoogte van de injectieput (bar)\**

Spreekt voor zich.

### 3.2.2 Doublet en pomp-eigenschappen

#### *Uitgangstemperatuur Warmtewisselaar (°C)*

Met deze temperatuur kan worden aangegeven tot hoe ver het opgepompte grondwater afkoelt door de warmteoverdracht in de warmtewisselaar alvorens het terug in het reservoir wordt geïnjecteerd. Hoe lager de uitgangstemperatuur, hoe meer warmte er bovengronds wordt geleverd.

#### *Putafstand op reservoir interval (m)*

Horizontale afstand tussen het onttrekkingspunt en het infiltratie-punt in het reservoir.

#### *Efficiëntie pompsysteem (-)*

Met deze efficiëntie parameter wordt bepaald hoeveel pompvermogen er nodig is om het systeem te laten opereren.

#### *Diepte bronpomp (productieput) (m-mv)*

De diepte waarop de bronpomp wordt geïnstalleerd. Doorgaans zo rond de 500 meter onder het maaiveld.

#### *Drukverschil bronpomp (bar)*

Het drukverschil in de bronpomp wordt gebruikt voor het bepalen hoeveel grondwater er per uur verpompt kan worden.

### 3.2.3 Puteigenschappen

#### *Onderverdeling putsegmenten (m)*

Geeft de lengte aan van de putsegmenten in meters, waarin het traject van de put wordt onderverdeeld. Bepaalt voor een deel de resolutie waarmee gemodelleerd wordt.

#### *Buitendiameter productieput (inch)*

Spreekt voor zich.

#### *Skin factor productieput*

Deze factor wordt gebruikt om de mate van verbeterde (of verslechterde) toestroming van het reservoir naar de productieput te kunnen verrekenen in het model. Hiermee kunnen bijvoorbeeld scenario's worden doorgerekend waarbij het reservoir extra gestimuleerd wordt (door bijvoorbeeld hydraulische of chemische stimulatie).

#### *Penetratiehoek productieput in aquifer (deg)*

Wanneer een reservoir onder een hoek wordt aangeboord is er een groter contactoppervlak tussen de put en het reservoir dan bij een volledig verticale boring. Door dit vergrote contactoppervlak kan het grondwater makkelijker de productieput in stromen. DoubletCalc converteert de hoek van de boring naar een skin factor.

#### *Buitendiameter injectieput (inch)*

Spreekt voor zich.

#### *Skin factor injectieput*

Zie *Skin factor productieput*.

#### *Penetratiehoek injectieput in aquifer (deg)*

Zie *Penetratiehoek productieput in aquifer (deg)*.

## 4 Wet- en regelgeving

Om een geothermiesysteem aan te leggen, moet voldaan worden aan wet- en regelgeving. In tabel 4.1 staat een verkort overzicht hiervan. In de Mijnbouwwet wordt onderscheid gemaakt tussen vier fases: verkennen, opsporen, winnen en opruimen. De wetgeving is gericht op het winnen van olie en gas. Dit komt vooral naar voren in het onderscheiden van de fase opsporen en de fase winnen. Het is gebleken dat dit onderscheid minder geschikt is voor het winnen van aardwarmte. Momenteel wordt er door het ministerie van EZ&K dan ook gewerkt aan een wetwijziging die het traject van vergunningverlening aanpast voor geothermie. Tot het invoeren van deze wijziging geldt echt de huidige wetgeving.

(Bron: <https://hoewerктаardwarmte.nl/winnen/procedure.>)

De SodM heeft op 1 juli 2020 het Toezichtarrangement Geothermie gepubliceerd. Hierin bespreekt SodM hoe ze toezicht gaat houden op de sector geothermie. In dit document wordt gesproken over vijf fases in vier stadia (zie figuur 4.1). Hierin staat ook de relatieve timing van vergunningaanvragen ten opzichte van de vier fases. De opsporings- en realisatiefases worden samengenomen op het gebied van toezicht en vooraf wordt nog gesproken van een extra initiatieffase. Daarna volgen de winningsfase en verwijderingsfase. De wet- en regelgeving wordt besproken in een combinatie van de bovengenoemde fases uit de Mijnbouwwet en het Toezichtarrangement.

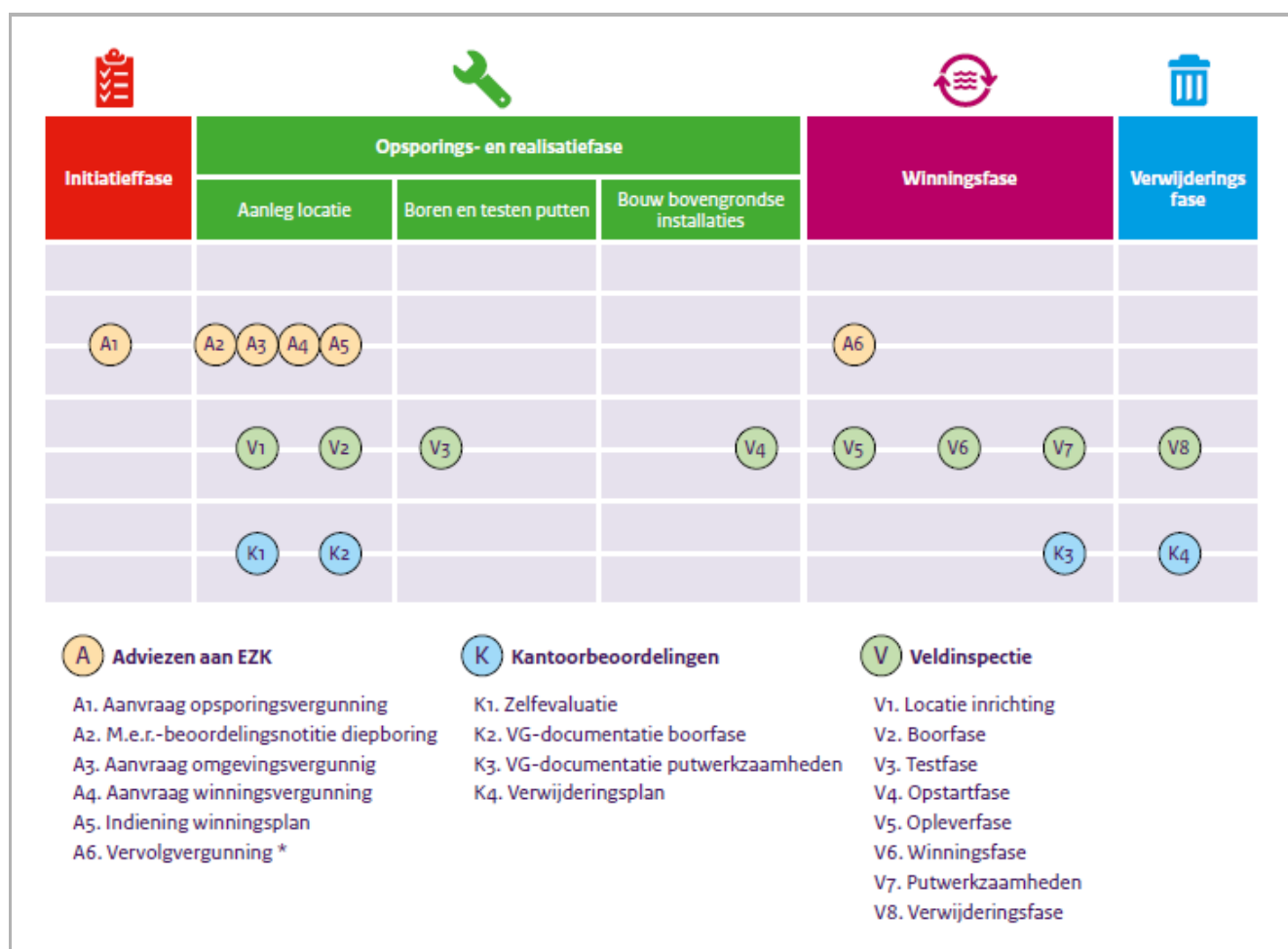
Tabel.4.1: Wettelijk Kader Geothermie (bron: <https://hoewerktgaswinnen.nl/info/wet-en-regelgeving>)

| Wettelijk kader      | Wet- of regelgeving                             | Bevoegd gezag                                   | Besluit/actie  |
|----------------------|---|---|--|
| Mijnbouw             | Mijnbouwwet (Mbw)                               | Ministerie van EZ&K                             | Opsporingsvergunning<br>Winningsvergunning<br>Instemming winningsplan (art. 34, lid 3 Mbw)     |
|                      | Mijnbouwbesluit (Mbb)                           | Ministerie van EZ&K                             | Pijpleidingvergunning (art. 94 Mbb)  |
| Omgeving             | Omgevingswet                                    | Ministerie van EZ&K (soms betreffende gemeente) | Omgevingsvergunning  |
| Ruimtelijke ordening | Wet ruimtelijke ordening                        | Provincie                                       | Wijziging provinciale verordening<br>(wordt vaak onderdeel gemaakt van de omgevingsvergunning) |
|                      |   | Gemeente  | Wijziging bestemmingsplan<br>(wordt vaak onderdeel gemaakt van de omgevingsvergunning)         |
| Milieu               | Wet milieubeheer                                | Bevoegd gezag van de omgevingsvergunning        | MER<br>(wordt vaak onderdeel gemaakt van de omgevingsvergunning)                               |
|                      | Besluit algemene regels milieu mijnbouw (Barmm) | Minister  | Melding<br>(bijv. voor plaatsen booropstelling)  |
| Natuur               | Natuurbeschermingswet                           | Provincie                                       | Natuurbeschermingsvergunning<br>(wordt onderdeel gemaakt van de omgevingsvergunning)           |
|                      | Flora- en faunawet                              | Provincie                                       | Ontheffing<br>(wordt onderdeel gemaakt van de omgevingsvergunning)                             |



| Wettelijk kader    | Wet- of regelgeving | Bevoegd gezag                            | Besluit/actie   |
|--------------------|---------------------|--|---|
| Water              | Waterwet            | Minister van I&M                         | Watervergunning<br>(lozingen op rijsoppervlaktewateren)   |
|                    |                     | Waterschappen                            | Watervergunning<br>(lozingen op oppervlaktewateren in beheer van het waterschap of voor lozingen met behulp van een pijp of leiding, niet zijnde een vuilwaterriool, op een zuiveringswerk lozen) |
|                    |                     | Provincie                                | Watervergunning<br>(grondwateronttrekking- en infiltraties)   |
| Externe veiligheid | Bevi, Revi, Bevb    | Bevoegd gezag van de omgevingsvergunning | Omgevingsvergunning<br>(grenswaarden en richtwaarden)   |

Figuur 4.1: vereenvoudigde weergave van de werkzaamheden en relatieve timing van vergunningaanvragen van SodM (bron: Toezichtarrangement Geothermie, juni 2020)



\*= advies vervolvergunning onder de procedure van de aangepaste Mijnbouwwet.



#### **4.1 Verkennen/Initiatief**

De verkenningsfase/initiatieffase gaat niet gepaard met veel vergunningen. Deze fase is voor onderzoek. Er wordt onderzocht of en waar aardwarmte economisch en technisch winbaar is. Veel onderzoek kan digitaal worden uitgevoerd met data die reeds beschikbaar is. Voor het eventueel uitvoeren van seismisch onderzoek is vaak wel een vergunning nodig. Deze wordt aangevraagd bij de desbetreffende gemeente. In het bestemmingsplan staat per gemeente vermeld welke vergunning moet worden aangevraagd, dit verschilt namelijk per gemeente. Vaak zal er een omgevingsvergunning moeten worden aangevraagd. Ook een ontheffing aanvragen bij de provincie of een wegbeheerder kan hier onderdeel van zijn. Als er seismisch onderzoek wordt uitgevoerd, moet er minimaal vier weken voor de start van het onderzoek informatie aan de inspecteur-generaal der mijnen verstrekt worden over deze onderzoeken. Naast seismische onderzoeken vallen ook gravimetrische, magnetische, elektromagnetische of andere geofysische onderzoeken hier onder. De resultaten van het onderzoek moeten een jaar na dato aan de minister worden gezonden die deze gegevens doorstuurt aan TNO, die deze controleert en beheert.

Volgens SodM valt het aanvragen van een opsporingsvergunning in deze fase. De Mijnbouwwet ziet dit vooralsnog vallen onder de opsporingsfase. SodM adviseert het EZK over het verlenen van de vergunning. SodM kijkt voor het advies naar de volgende zaken: de manier waarop de activiteiten worden verricht, technische mogelijkheden, eerder aangetoonde efficiëntie en verantwoordelijkheidszin van de aanvrager en eventueel nadelige gevolgen voor het milieu. SodM vindt ervaring met mijnbouwkundige processen cruciaal voor het uitvoeren van activiteiten op het gebied van geothermie. Meer informatie over de opsporingsvergunning staat in paragraaf 4.2.

#### **4.2 Opsporen en realiseren**

De opsporingsfase is de volgende stap in het proces. Om de beoogde aquifer te bevestigen als bron voor geothermie is een proefboring nodig. Als de proefboring succesvol is en de aquifer is bevestigd, dan kan worden overgegaan naar de winningsfase. Als de aquifer niet bevestigd wordt, dan kan worden overgegaan naar de opruimfase.

Aan het zetten van een proefboring gaat een administratief proces met vergunningen, meldingen en overeenkomsten vooraf. De eerste stap is het aanvragen van een opsporingsvergunning bij de minister van EZ&K. Er wordt hierbij de uniforme voorbereidingsprocedure gevolgd. Bij deze procedure kan iedereen zienswijzen indienen over de aanvraag. Hierop moet worden gereageerd in het definitieve besluit. Omdat de mogelijkheid bestaat tot het indienen van zienswijzen, wordt na het definitieve besluit de bezwaarprocedure overgeslagen en wordt, als men het er niet mee eens is, meteen overgegaan tot beroep bij de rechtbank. De minister moet binnen zes maanden beslissen op de aanvraag. Deze periode kan met zes maanden verlengd worden.

In de aanvraag staat ten minste een tijdvak en een gebied. Daarnaast moet worden vermeld dat het om geothermie gaat. Ook bedrijfsgegevens, reeds opgedane kennis, een geologisch rapport en een programma van uit te voeren activiteiten moeten aanwezig zijn bij de aanvraag. Tijdens het aanvragen kan ook EBN worden gevraagd om deel te nemen aan de activiteit. Hiermee kan een overeenkomst van samenwerking worden afgesloten, met instemming van de minister.

Via [nlog.nl/aanvraag-vergunningen-voor-opsporen-en-winnen-van-delfstoffen](http://nlog.nl/aanvraag-vergunningen-voor-opsporen-en-winnen-van-delfstoffen) kan een voorbeeld van een geologisch rapport gedownload worden om de gewenste mate van detail te zien. In ieder geval moeten de ingewonnen gegevens hier instaan met de interpretatie en een onzekerheidsanalyse. Ook de beschrijving van lokale en regionale geologie moet worden toegevoegd.

De aanvraag wordt na ontvangst door de minister gepubliceerd in de Staatscourant en in het Publicatieblad van de Europese Unie. Hierna heeft een andere partij 13 weken om een eventueel concurrerende aanvraag te doen. Om de aanvraag te beoordelen wint de minister advies in van TNO, SodM, de betreffende Gedeputeerde Staten en de Mijraad. De Gedeputeerde Staten zal de colleges van B&W en het dagelijks bestuur van de waterschappen betrekken.

Daarna kan de minister de vergunning verlenen aan de vastgestelde 'operator', eventueel met bepaalde voorschriften.

Binnen vier weken na de verlening van de vergunning moet deze operator een werkplan indienen bij de inspecteur-generaal der mijnen van SodM. Hierin staat een overzicht van de voornaamste mijnbouwactiviteiten die de komende vijf jaar worden voorzien, een uitgebreid overzicht van de activiteiten in het eerste jaar, zoals verkenningsonderzoek, boringen, constructiewerkzaamheden en een H&S plan, een organisatieoverzicht met de bijbehorende verantwoordelijke personen en kaarten van de structuur van de ondergrond. Jaarlijks voor 1 november moet het werkplan aangevuld worden met voortschrijdende inzichten.

Nadat de vergunning is verleend kunnen ook overeenkomsten van samenwerking worden afgesloten tussen verschillende marktpartijen en EBN.

Nadat de opsporingsvergunning is verleend, zal er ook een omgevingsvergunning aangevraagd moeten worden voor het uitvoeren van de voorziene activiteiten. Daarnaast kan het zijn dat er eventueel ook een milieueffectrapportage ingediend moeten worden. Voor het testen, onderhouden of buiten gebruik stellen van een boorgat is geen omgevingsvergunning nodig, maar een Barmm-melding (Besluit algemene regels milieu en mijnbouw). De omgevingsvergunning wordt ook ingediend bij de minister. Ook de omgevingsvergunning doorloopt de uniforme voorbereidingsprocedure. In tegenstelling tot de opsporingsvergunning hebben de provincie én de gemeente(n) algemeen adviesrecht. Als de minister wil afwijken van een bestemmingsplan of inpassingsplan heeft deze een Verklaring van geen bezwaar van het college van B&W of de Gedeputeerde Staten nodig. Omwonenden kunnen ook hun zienswijze naar voren brengen en zijn belanghebbende. In de regel verzorgen mijnbouwmaatschappijen bijeenkomsten voor omwonenden om informatie te verstrekken en vragen te beantwoorden.

In een Barmm-melding wordt beschreven en onderbouwd hoe er wordt voldaan aan milieuregels voor bodem, lucht, geluid en externe veiligheid tijdens de werkzaamheden. SodM toetst de melding, eerst op papier en daarna door middel van inspectie op locatie tijdens de uitvoering van de werkzaamheden. De melding wordt door de minister, naast in de Staatscourant, ook in één of meer dag-, nieuws- of huis-aan-huisbladen gepubliceerd en doorgestuurd aan de burgemeester en wethouders van de betrokken gemeente.

Natuurlijk kan de opsporingsvergunning gewijzigd worden op verzoek van de vergunninghouder, maar sinds 2017 heeft de minister ook de bevoegdheid om de vergunning aan te passen of in te trekken. De mogelijkheden daarvoor staan in de Mijnbouwwet.

De proefboring is succesvol als er uit de put voldoende water komt binnen een van tevoren vastgesteld temperatuurbereik. Een proefboring wordt dan ook gezet op de geplande locatie van de productieput, zodat deze na het testen gebruikt kan worden als productieput.

Volgens SodM zijn in deze fase de opsporings- en omgevingsvergunning voor het boren verkregen en moet de omgevingsvergunning voor het winnen worden aangevraagd. Deze kan eventueel samen met de omgevingsvergunning voor het boren worden aangevraagd. Ook moet er een winningsvergunning worden aangevraagd en een winningsplan worden ingediend. Tijdens deze fase voert de SodM veld- en kantoorinspecties uit. Er is een maximale testperiode van één tot twee maanden toegestaan. Daarna mag pas warmte gewonnen worden nadat er een tijdelijke winningsvergunning is verleend en instemming is gegeven op het tijdelijke winningsplan, volgens het Tijdelijk Beleidskader Geothermie. Meer informatie over de winningsvergunning is beschreven in de volgende paragraaf.

### **4.3 Winnen**

Als de proefboring succesvol is en het bestaan van de waterhoudende laag van voldoende kwaliteit bevestigd is, kan worden overgegaan tot het winnen van de aardwarmte. Hiervoor is een winningsvergunning nodig.

Net als een opsporingsvergunning is de winningsvergunning gericht op marktordening en legt vast welke partijen mogen opsporen en winnen. Om daadwerkelijk te boren is een omgevingsvergunning nodig, een goedgekeurd werkplan winning en een winningsplan. Dit lijkt op het traject voor de proefboring tijdens het opsporen.

De winningsvergunning wordt ook aangevraagd bij de minister van EZ&K. De aanvraag moet onder andere een meerjarenwinningsprogramma bevatten. Als de winningsvergunning wordt aangevraagd door de partij die beschikt over een opsporingsvergunning in hetzelfde gebied zal deze partij met voorrang een vergunning krijgen en zal de aanvraag niet gepubliceerd worden. Vragen partijen een winningsvergunning aan zonder opsporingsvergunning, dan wordt deze wel gepubliceerd.

Over de aanvraag van een winningsvergunning wordt advies ingewonnen bij TNO, SodM, Gedeputeerde Staten, EBN en de Mijnraad. Ook hier betrekken de Gedeputeerde Staten de colleges van B&W en het dagelijks bestuur van de waterschappen bij hun advies. De vergunning kan alleen geweigerd worden op grond van de in de Mijnbouwwet genoemde punten. Deze zijn:

- Technische en financiële mogelijkheden van de aanvrager;
- De wijze van opsporen;
- Gebrek aan efficiëntie en verantwoordelijkheidszin;
- Conflicterende regelgeving, structuurvisies of ruimtelijke orderingsplannen;
- Financiële draagkracht van de aanvrager;
- Het belang van de veiligheid van omwonenden;
- Het belang van natuur en milieu.

Net als bij een opsporingsvergunning kan de minister de winningsvergunning ook met beperkingen of voorschriften verlenen. De winningsfase duurt ongeveer 30 jaar. Tijdens het winnen kan de minister op verzoek of op eigen initiatief de vergunning wijzigen of zelfs intrekken. Als de vergunning is verleend kan ook een overeenkomst van samenwerking voor de winning gesloten worden met EBN.

EBN staat voor Energie Beheer Nederland. Zij investeren voor de staat in olie-, gas- en aardwarmteprojecten. Dit doen zij door in de regel non-operating partner te zijn met een belang van 40%. Sinds 2019 mag EBN financieel participeren in aardwarmteprojecten. Hiernaast delen zij kennis van de ondergrond en voeren seismisch onderzoek uit (SCAN).

Binnen vier weken na verlening van de vergunning moet een werkplan ingeleverd worden bij de inspecteur-generaal der mijnen van SodM. Het werkplan is een jaarlijks voortschrijdend vijfjarenplan. Het moet het volgende bevatten:

- een overzicht van de voornaamste mijnbouwactiviteiten in de komende vijf jaren;
- een uitgebreid overzicht van de mijnbouwactiviteiten in het eerstkomende jaar, zoals boringen en eventuele constructiewerkzaamheden;
- een 'health & safety plan', oftewel een veiligheids- en gezondheidsplan, waarin aangegeven is hoe men de veiligheid en de gezondheid van omgeving en medewerkers waarborgt;
- een actueel organisatieschema, inclusief verantwoordelijke personen;
- kaarten van de structuur van de ondergrond;
- een tijdschema van de verwachte activiteiten.

Naast een werkplan, dat ingeleverd wordt bij de inspecteur-generaal, dient er een winningsplan ingediend te worden bij de minister. Hierin staat het volgende:

- de verwachte hoeveelheid aanwezige warmte en de ligging ervan;
- het aanvangstijdstip en de duur van de winning;
- de wijze van winning, alsmede de daarmee verband houdende activiteiten;
- de hoeveelheden jaarlijks te winnen warmte;

- de kosten op jaarbasis van het winnen van de warmte;
- de bodembeweging ten gevolge van de winning, alsmede de daarmee verband houdende activiteiten en de maatregelen ter voorkoming van schade door bodembeweging;
- de risico's voor omwonenden, gebouwen of infrastructurele werken of de functionaliteit daarvan met een risicobeoordeling.

Het winningsplan wordt getoetst aan de Mijnbouwwet door advies te vragen aan SodM, de Mijnraad en de Technische commissie bodembeweging. Ook provincies, gemeenten en waterschappen hebben adviesrecht bij het winningsplan. Ook een winningsplan kan met beperkingen of voorschriften goedgekeurd worden.

Voordat de winningslocatie aangelegd kan worden, moet de operator een omgevingsvergunning krijgen van de minister. De omgevingsvergunning wordt afgegeven na de uitgebreide openbare voorbereidingsprocedure. Er wordt voor het besluit tot het verlenen van de vergunning gekeken naar bijvoorbeeld bouwvereisten, effecten voor het milieu en de ruimtelijke ordening. Hier kan worden gedacht aan het aanleggen van wegen, het kappen van bomen, het afwijken van het bestemmingsplan en het bouwen van de installatie.

Voor het aanleggen van een geothermieproductie-installatie of buisleidingen voor het transport van de aardwarmte moet de minister ook beoordelen of een milieueffectrapport nodig is. Deze moet, als deze nodig is, tegelijkertijd met de omgevingsvergunningsaanvraag ingediend worden. Daarom zal dus eerst de minister op de hoogte gesteld moeten worden van het voornemen de omgevingsvergunning aan te vragen, zodat de minister kan beslissen of de MER ook ingediend moet worden. Dit mag overigens ook vrijwillig.

In het Toezichtarrangement Geothermie wordt gesproken over een startvergunning voor de winningsfase, die een looptijd heeft van twee jaar met eventueel een verlenging van een jaar, en een verplichte vervolgvvergunning. Dit wordt ook benoemd in het Tijdelijk Beleidskader. Deze vervolgvvergunning dient op tijd te worden aangevraagd. SodM voert tijdens de winningsfase inspecties uit.

#### **4.4 Opruimen**

Als de installatie niet meer in gebruik is, moet het bedrijf deze opruimen. Hiervoor worden een sluitingsplan en een werkprogramma sluiting opgesteld. Hierin staan de uit te voeren activiteiten, een planning, wat er gebeurt met de af te voeren materialen en een beschrijving van hoe het terrein wordt achtergelaten. Het uitgangspunt bij het achterlaten is dat het terrein in originele staat wordt teruggebracht, tenzij er andere afspraken zijn gemaakt met de eigenaar van het terrein.

Het sluitingsplan moet binnen een jaar na het staken van de winning worden ingediend bij de minister. De minister heeft vervolgens 13 weken om hierover te beslissen. Bij geen beslissing, is het plan goedgekeurd. Naast het sluitingsplan, moet er een addendum op het reeds ingediende H&S-plan moeten worden ingediend bij SodM.

Voor het sluiten van een locatie en het buiten gebruik stellen van aanwezige putten en boorgaten, moet er per boorgat of put een werkprogramma worden opgesteld en opgestuurd worden naar de inspecteur-generaal der mijnen. In de Mijnbouwwet staat beschreven welke informatie een werkprogramma moet bevatten.

Voordat de installatie opgeruimd kan worden, moet er een melding gedaan worden via het omgevingsloket van de sloopwerkzaamheden. Deze moet minimaal vier weken voor aanvang plaatsvinden. Echter, een gemeente kan in haar bestemmingsplan hebben bepaald dat er een omgevingsvergunning nodig is voor sloopwerkzaamheden. In dat geval zal er een omgevingsvergunning moeten worden aangevraagd worden bij het bevoegd gezag, wat in dit geval nog steeds de minister van EZ&K is. De gemeenten en provincies hebben hierbij een adviesrol. Standaard geldt voor het aanvragen van een omgevingsvergunning de reguliere voorbereidingsprocedure, tenzij in het bestemmingsplan is opgenomen dat de uniforme openbare voorbereidingsprocedure geldt.

Het omgevingsloket kan online de vergunning- en meldingsplicht controleren. Ook kan een vergunning online aangevraagd worden of een melding online ingediend worden. De status van de aanvraag of melding kan via het omgevingsloket gevolgd worden.

#### **4.5 Mijnbouw en de Omgevingswet**

Met het invoeren van de Omgevingswet zullen er ook veranderingen zijn voor mijnbouwprojecten. De Mijnbouwwet, die regelt of een vergunninghouder het recht heeft om in een bepaald gebied delfstoffen en aardwarmte op te sporen en/of te winnen en/of op te slaan, gaat niet op in de Omgevingswet. Voor de overige van toepassing zijnde wet- en regelgeving zullen er wel veranderingen zijn. Voor de Omgevingswet zal een omgevingsvergunning aangevraagd moeten worden. De milieuregels hiervoor staan in het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal). In het Bal wordt de milieubelastende activiteit 'mijnbouw' aangewezen. De activiteit kan mogelijk schadelijk zijn voor het milieu. De milieubelastende activiteit mijnbouw bestaat uit een kernactiviteit en eventueel functioneel ondersteunende activiteiten. De kernactiviteit is het aanleggen en het exploiteren van een mijnbouwwerk.

De milieuregels die van toepassing zijn voor de activiteit mijnbouw, worden beschreven door de volgende paragrafen: werkzaamheden met een verplaatsbaar mijnbouwwerk, zeer zorgwekkende stoffen, emissies in de lucht en geluid op industrieterreinen. Naast de regels die in die paragrafen worden beschreven, is het mogelijk dat voor de functioneel ondersteunende activiteiten nog aanvullende regels en vergunningen gelden.

Niet alles wordt opgenomen in het Bal. De volgende documenten worden niet opgenomen in het Bal: Besluit bouwwerken leefomgeving, omgevingsplan, omgevingsverordening, waterschapsverordening en de omgevingsvergunning.

## **5 Potentie geothermie**

### **5.1 Geothermische systeem-typen**

#### **5.1.1 Conventioneel Doublet**

In Nederland zijn momenteel 22 geothermieprojecten warmte aan het produceren. Deze leveren 6 – 16 MW per doublet. De temperatuur voor conventionele geothermie varieert tussen 60 – 100 °C. Het dichtstbijzijnde systeem van Floricultura Heemskerk produceert circa 10 MW met een temperatuur van circa 100 °C. Het overgrote deel van de gerealiseerde projecten produceert warmte voor de glastuinbouw. Het overgrote deel van de projecten in ontwikkeling is gericht op de gebouwde omgeving. Hier is duidelijk een omslag te zien.

Vooralsnog worden geothermieputten in Nederland niet gestimuleerd. Stimulatie is een aanpak waarbij de doorlatendheid van het reservoirgesteente kunstmatig wordt vergroot. Hier zijn verschillende methodes voor, zoals kunstmatig opwekken van breuken. Op conventionele diepte is het gesteente doorlatend genoeg om genoeg te produceren. Voor ultra diepe geothermie wordt wel voorzien, dat stimulatie nodig zal zijn om gewenste debieten te kunnen halen.

#### **5.1.2 Stoom/energieopwekking**

In het buitenland wordt er stoom geproduceerd uit de ondergrond. Voorbeelden hiervan zijn de VS en IJsland. In de Verenigde Staten is er zo'n 900 MW uit het Geysers Geothermal Field in Californië beschikbaar aan capaciteit, verdeelt over 18 centrales. In dit gebied wordt stoom uit de ondergrond gehaald en wordt er door middel van conventionele stoomturbines elektriciteit geproduceerd. De maximale diepte voor de putten is zo'n 3.000 meter in dit gebied.

In IJsland wordt veel gebruikgemaakt van geothermie. Er wordt zowel direct gebruikgemaakt van de warmte als dat de warmte wordt gebruikt voor het opwekken van elektriciteit. Er is een totaal vermogen van ongeveer 665 MW beschikbaar aan elektriciteit. Ook wordt geothermie in IJsland gebruikt in de industrie, voornamelijk om vis en zeewier te drogen.

### 5.1.3 Geothermische gesloten lus

Net zoals bij bodemenergie is het nu ook mogelijk om op grotere dieptes gesloten lussen aan te leggen. Het bedrijf wat dit ontwikkeld heeft is Eavor. Zij hebben in 2019-2020 een demonstratieproject aangelegd en opgestart in Canada. Dit project presteert zoals verwacht. Voordeel van deze technologie ten opzichte van conventionele geothermie is het onafhankelijk zijn van doorlatendheden van het gesteente. Daarbij heeft het nauwelijks pompenergie nodig. Door de grote warmteverschillen in de lus ontstaan dichtheidsverschillen die bijna automatisch een circulatie van het water in de lus op gang brengen (thermosiphon). Een gesloten lus heeft naar alle waarschijnlijkheid wel een lager vermogen. Ook is een gesloten lus aanleggen op dergelijke dieptes technisch complex en daardoor relatief duur. Om de kosten te beperken is er een alternatief concept ontwikkeld. Hierbij wordt er één verticale put geboord en wordt op de gewenste diepte een nagenoeg horizontaal traject heen en weer geboord. De verticale put is duurder door de hoogwaardige afwerking. De horizontale put wordt zogenaamd 'open hole' geboord en daarna afgewerkt met een sealer. Deze innovatieve technologie staat nog in de kinderschoenen, maar zou voor geothermieprojecten in Nederland van grote waarde kunnen zijn (zie ook paragrafen 6.2.2 en 7.7).

### 5.1.4 Green deal ultradiepe geothermie 2017

De Green Deal-aanpak is een initiatief van de overheid om vernieuwende, duurzame initiatieven vanuit de samenleving ruimte te geven. In 2017 is de Green Deal Ultradiepe Geothermie gesloten en begin 2020 is deze afgelopen. Zeven consortia hebben in deze periode een uitgebreide haalbaarheidsstudie uitgevoerd op geologisch gebied, economisch gebied/financiële haalbaarheid en de balans tussen vraag en aanbod. Het doel was om de kennis te vergroten op het gebied van geothermie op een diepte van meer dan 4 km. Er is uitgegaan van de zogenaamde play-based portfolio benadering. Dit betekent dat alle consortia zich richten op dezelfde play, een specifieke laag in de ondergrond die kansrijk lijkt te zijn. Door de play-based portfolio benadering kan er beter informatie uitgewisseld worden en kan er makkelijk van elkaar geleerd worden. Dit biedt ruimte voor optimalisatie. De zeven consortia zijn UDG Heerenveen, UDG Leeuwarden, GOUD (Utrecht), UDG Renkum, Geothermie Oost Brabant, UDG Schiedam en UDG Haven Rotterdam. Zij richten zich allen op het Dinantien. Een onderdeel van de Green Deal is het Exploratie Werkprogramma. Dit omvat gedetailleerd geologisch onderzoek, onderzoek naar boortechnieken, risico-inventarisatie & management en zorgvuldig omgevingsmanagement. Zes consortia doen mee aan dit onderdeel. UDG Heerenveen heeft hier niet aan meegedaan. Er is gekeken naar de volgende geologische regio's: Friesland, Midden-Nederland en Rijnmond. De consortia dragen zelf voor minstens 50% bij aan de kosten van het programma. Het ministerie van Economische Zaken & Klimaat draagt maximaal 50% bij.

Nadat de Green Deal in 2020 is afgerond zijn vijf consortia verder gegaan in het Programma UDG. Hier is het consortium UDG Schiedam uitgestapt, wegens het ontbreken van de geologische laag met hoge potentie. Het consortium UDG Schiedam is verder gegaan met het onderzoeken van 'normale' diepe geothermie.

## 5.2 Conventionele geothermie

Zoals is beschreven in hoofdstuk 3, heeft de Slochteren Formatie de grootste potentie om een geothermie-project in te kunnen realiseren. In dit hoofdstuk zal een businesscase uiteen worden gezet op basis van een zogeheten conventioneel geothermiesysteem. In deze businesscase wordt de bodem als uitgangspunt genomen en wordt er aan de hand van twee verschillende simulaties berekend in welke warmtevraag het geothermie-project zal kunnen voorzien.

Daarna volgt een beschrijving van de bovengrondse aansluiting op de bedrijfsprocessen, waarna middels een eerste inschatting van de kosten en baten een businesscase wordt beschreven.

## **5.2.1 Potentiële thermische energielevering**

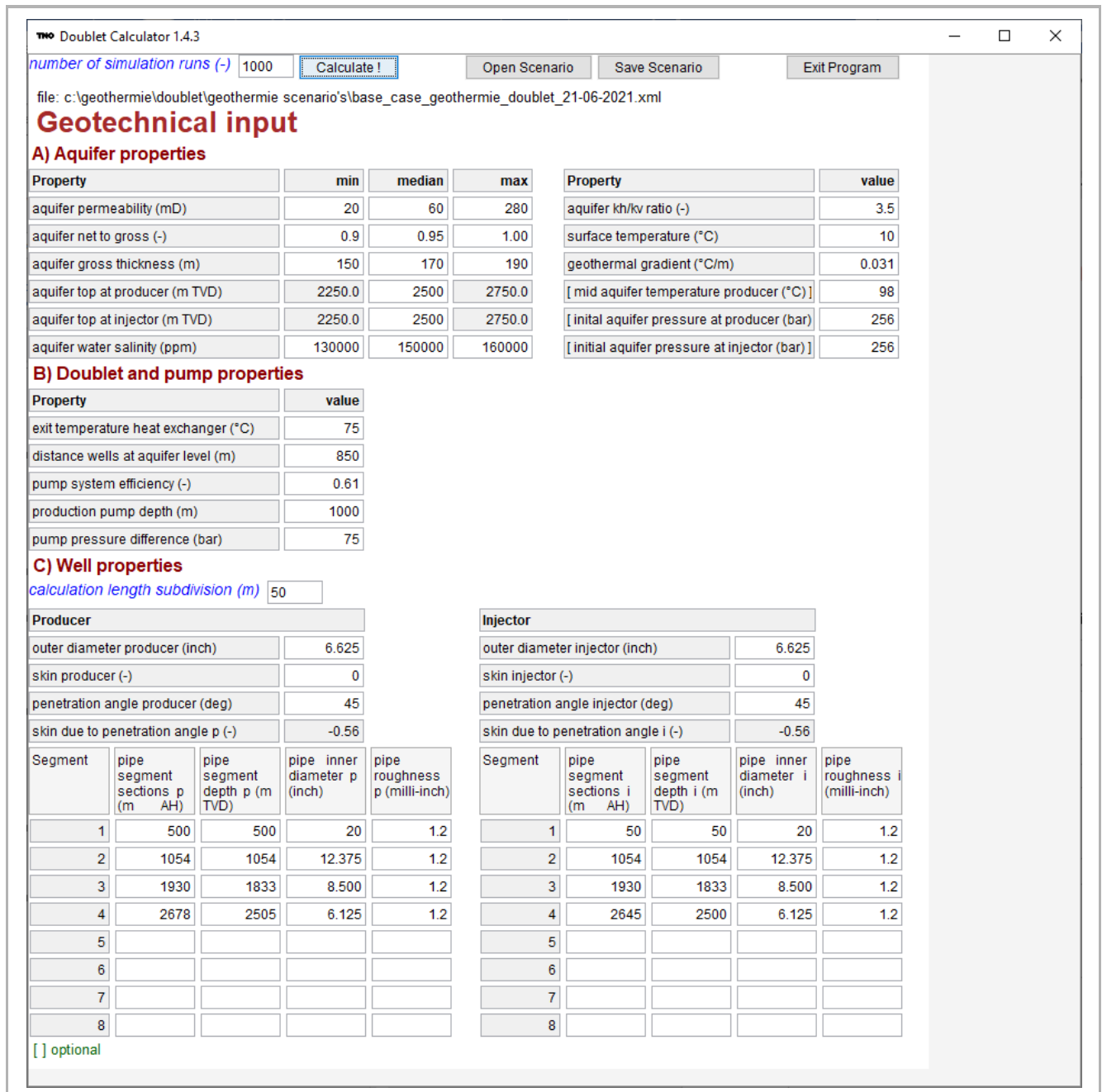
### **5.2.1.1 Thermische potentie één enkel doublet**

Voordat er gerekend kan worden aan de totale potentiële verduurzaming die middels een geothermie-project gerealiseerd zou kunnen worden is het van belang om een inschatting van de (thermische) output van één doublet te maken. Hiervoor is de opgebouwde kennis van de bodem gecombineerd met het rekenprogramma *Doublet Calculator* (v. 1.4.3). DoubletCalculator v1.4 is een door TNO beschikbaar gesteld programma waarmee een indicatief geothermisch vermogen van een toekomstig aardwarmte doublet berekend kan worden. De software is te downloaden op [www.nlog.nl](http://www.nlog.nl) onder 'Aardwarmte'.

De input voor het rekenprogramma voor onze 'BaseCase' is terug te vinden in bijlage 2. De gebruikte waarden zijn tot stand gekomen door geologische inschattingen en het raadplegen van verschillende publieke bronnen. De voornaamste bronnen zijn: ThermoGIS, [www.nlog.nl](http://www.nlog.nl), en de openbare rapporten die horen bij het reeds gerealiseerde geothermie-systeem van Floricultura. In figuur 5.1 is een weergave te zien van de input van het programma.



Figuur 5.1: weergave van de interface van DoubletCalc1D, met daarin de opzet van de BaseCase



file: c:\geothermie\doublet\geothermie scenario's\base\_case\_geothermie\_doublet\_21-06-2021.xml

### Geotechnical input

#### A) Aquifer properties

| Property                        | min    | median | max    | Property                                       | value |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--|-------|
| aquifer permeability (mD)       | 20     | 60     | 280    | aquifer kh/kv ratio (-)                        | 3.5   |
| aquifer net to gross (-)        | 0.9    | 0.95   | 1.00   | surface temperature (°C)                       | 10    |
| aquifer gross thickness (m)     | 150    | 170    | 190    | geothermal gradient (°C/m)                     | 0.031 |
| aquifer top at producer (m TVD) | 2250.0 | 2500   | 2750.0 | [ mid aquifer temperature producer (°C) ]      | 98    |
| aquifer top at injector (m TVD) | 2250.0 | 2500   | 2750.0 | [ initial aquifer pressure at producer (bar) ] | 256   |
| aquifer water salinity (ppm)    | 130000 | 150000 | 160000 | [ initial aquifer pressure at injector (bar) ] | 256   |

#### B) Doublet and pump properties

| Property                             | value |
|--------------------------------------|-------|
| exit temperature heat exchanger (°C) | 75    |
| distance wells at aquifer level (m)  | 850   |
| pump system efficiency (-)           | 0.61  |
| production pump depth (m)            | 1000  |
| pump pressure difference (bar)       | 75    |

#### C) Well properties

calculation length subdivision (m)

| Producer                            |                                |                              |                              |                               | Injector                            |                                |                              |                              |                               |
|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| outer diameter producer (inch)      |                                |                              |                              |                               | outer diameter injector (inch)      |                                |                              |                              |                               |
| 6.625                               |                                |                              |                              |                               | 6.625                               |                                |                              |                              |                               |
| skin producer (-)                   |                                |                              |                              |                               | skin injector (-)                   |                                |                              |                              |                               |
| 0                                   |                                |                              |                              |                               | 0                                   |                                |                              |                              |                               |
| penetration angle producer (deg)    |                                |                              |                              |                               | penetration angle injector (deg)    |                                |                              |                              |                               |
| 45                                  |                                |                              |                              |                               | 45                                  |                                |                              |                              |                               |
| skin due to penetration angle p (-) |                                |                              |                              |                               | skin due to penetration angle i (-) |                                |                              |                              |                               |
| -0.56                               |                                |                              |                              |                               | -0.56                               |                                |                              |                              |                               |
| Segment                             | pipe segment sections p (m AH) | pipe segment depth p (m TVD) | pipe inner diameter p (inch) | pipe roughness p (milli-inch) | Segment                             | pipe segment sections i (m AH) | pipe segment depth i (m TVD) | pipe inner diameter i (inch) | pipe roughness i (milli-inch) |
| 1                                   | 500                            | 500                          | 20                           | 1.2                           | 1                                   | 50                             | 50                           | 20                           | 1.2                           |
| 2                                   | 1054                           | 1054                         | 12.375                       | 1.2                           | 2                                   | 1054                           | 1054                         | 12.375                       | 1.2                           |
| 3                                   | 1930                           | 1833                         | 8.500                        | 1.2                           | 3                                   | 1930                           | 1833                         | 8.500                        | 1.2                           |
| 4                                   | 2678                           | 2505                         | 6.125                        | 1.2                           | 4                                   | 2645                           | 2500                         | 6.125                        | 1.2                           |
| 5                                   |                                |                              |                              |                               | 5                                   |                                |                              |                              |                               |
| 6                                   |                                |                              |                              |                               | 6                                   |                                |                              |                              |                               |
| 7                                   |                                |                              |                              |                               | 7                                   |                                |                              |                              |                               |
| 8                                   |                                |                              |                              |                               | 8                                   |                                |                              |                              |                               |

[ ] optional

Omdat er op de projectlocatie nog niet eerder een gedetailleerde geologische studie is uitgevoerd, is een groot deel van de gebruikte waarden tot op zekere hoogte gebaseerd op aannames. Voor een mogelijke vervolgfase wordt ten eerste aangeraden om aanvullend onderzoek naar de ondergrond te doen om de onzekerheid in de geologische parameters zoveel mogelijk te verkleinen.

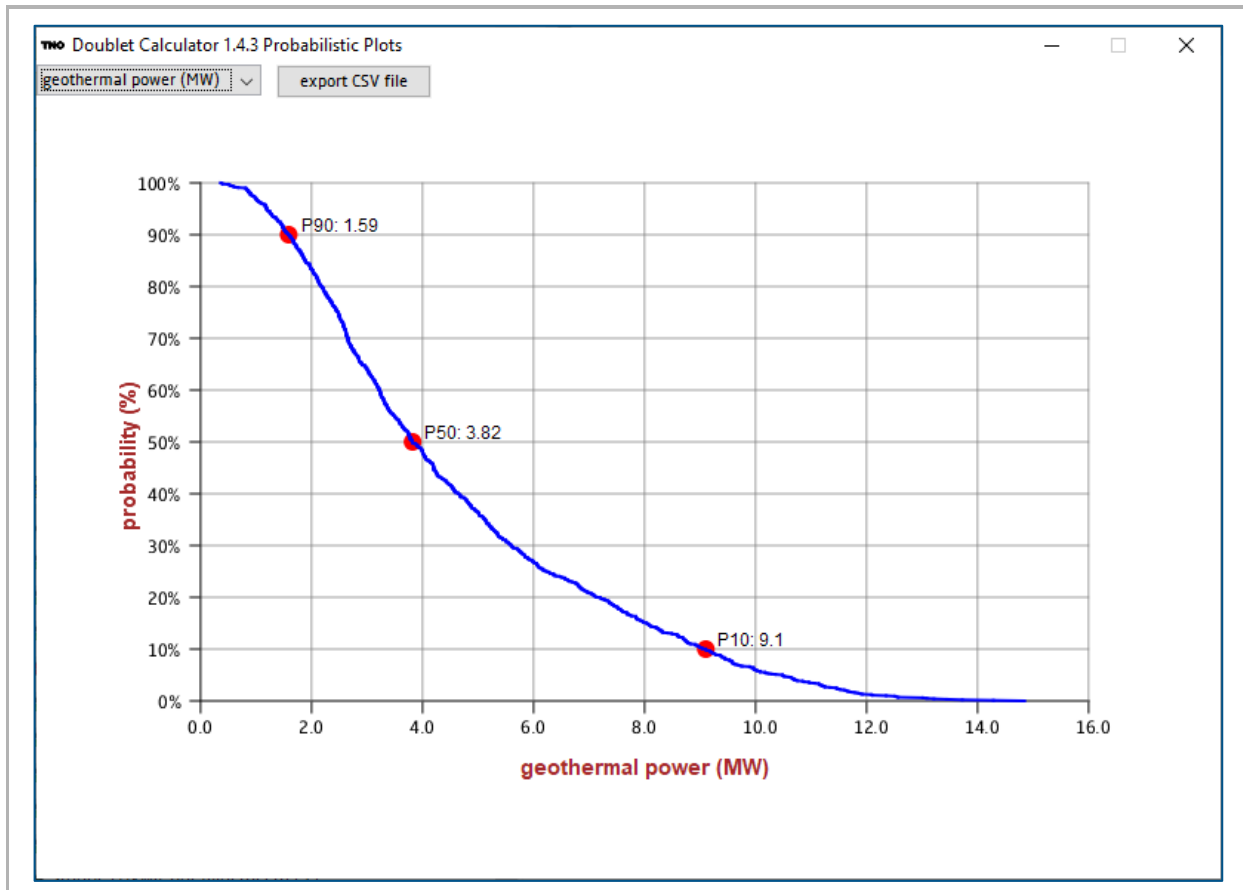
De resultaten uit *DoubletCalc*, die voor deze studie van belang zijn, zijn voornamelijk:

- Geschatte verwachte geothermische vermogen in MW;
- Geschatte verwachte debiet in m<sup>3</sup>/uur.

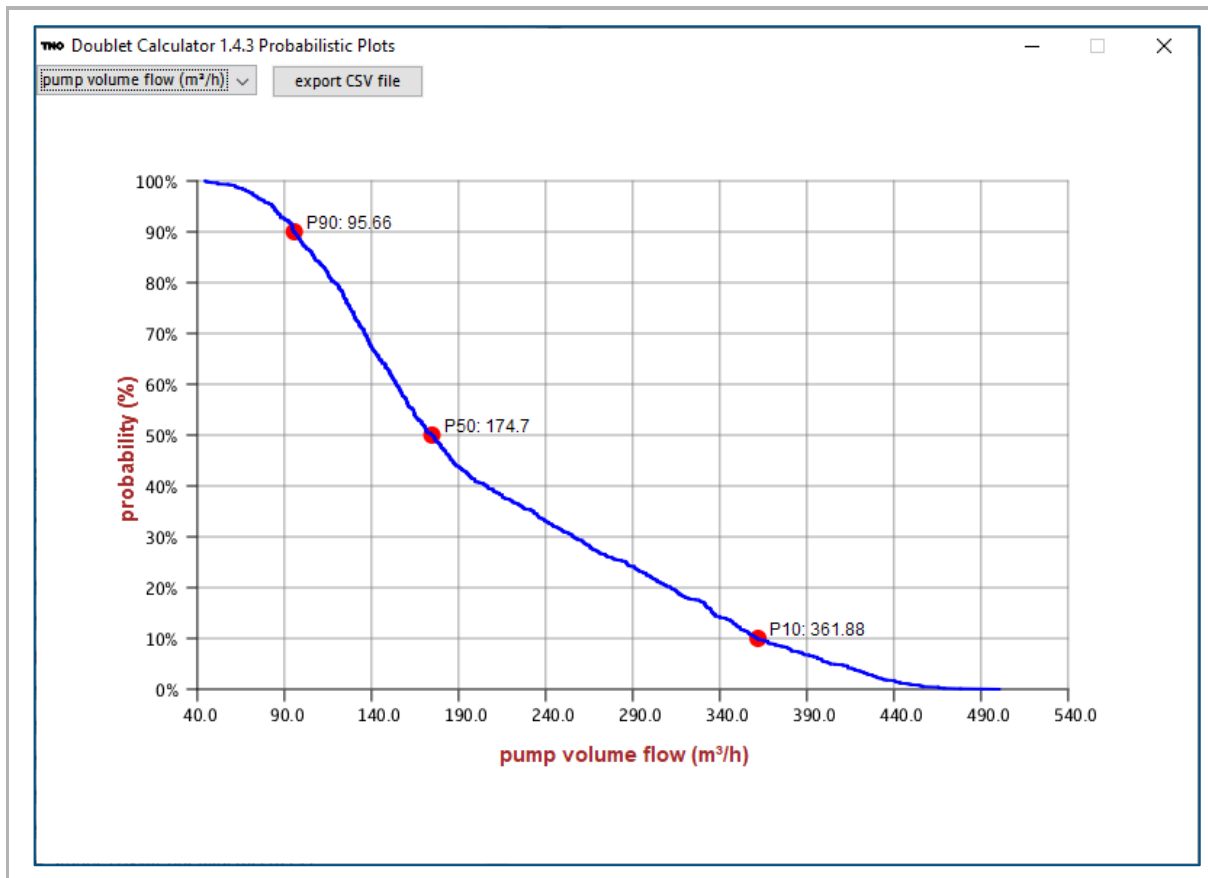


Daarnaast geeft *DoubletCalc* een inzicht in de kansverdeling van deze waarden, met andere woorden; wat zijn de onder- en bovengrenzen en hoe verhouden deze zich tot de belangrijkste input-parameters. In figuur 5.2 en 5.3 zijn de grafieken voor het verwachte geothermische vermogen en het verwachte debiet opgenomen.

**Figuur 5.2: het verwachte geothermische vermogen van de BaseCase (temperatuurtraject 98 – 75°C)**



Figuur 5.3: het verwachte debiet van de BaseCase (temperatuurtraject 98 – 75°C)



### Retour temperatuur van 75°C

In vergelijking met andere geothermieprojecten is de hierboven gehanteerde retourtemperatuur van 75°C erg hoog. Normaliter wordt het te injecteren formatiewater teruggekoeld tot 35 à 45 graden. De reden voor de hoge retourtemperatuur heeft te maken met de uitgangspunten van de te verduurzamen bedrijfsprocessen. Doordat uit water van 98°C niet direct stoom gemaakt kan worden, moeten er warmtepompen ingezet worden om stoom te kunnen genereren (zie paragraaf 5.2.1.3). Uit ons onderzoek is gebleken dat voor dit project het beste is om het temperatuurtraject van 98 – 75°C in te zetten voor stoomopwekking en het temperatuurtraject van 75 – 40°C in te zetten voor bijvoorbeeld het voeden van warmtenetten ten behoeve van de gebouwde omgeving.

In tabel 5.1 zijn de resultaten van de geothermische output van één enkel doublet opgenomen

Tabel 5.1: geothermische potentie één doublet

| Parameter  | Waarde | Eenheid |
|--|--------|---------|
| Geschatte debiet                                   | 174    | m³/uur  |
| Geothermisch vermogen temperatuurtraject 98 – 75°C | 3,82   | MW      |
| Geothermisch vermogen temperatuurtraject 75 – 40°C | 4,67   | MW      |
| Geothermisch vermogen gehele temperatuurtraject    | 8,49   | MW      |

### Inzet reservoir stimulatie

Wanneer de potentie (of de daadwerkelijke productie) van een reservoir tegenvalt, bestaat de mogelijkheid om de productie van het reservoir te stimuleren. Hiervoor zijn verschillende methoden die gebruikt kunnen worden, waaronder het kunstmatig lokaal creëren van extra breuken in het reservoir om het formatiewater makkelijker naar de productieput te laten stromen en/of het injecteren in de formatie makkelijker te maken. Voor deze studie is een (zeer) korte gevoeligheidscheck uitgevoerd ten opzichte van de basecase temperatuurtraject 98 – 75°C, zie tabel 5.2. In DoubletCalc is een deze check uitgevoerd door de skin-factor (zie paragraaf 3.2.3) te variëren tussen 0 (basecase), -1 en -2. Hieruit blijkt dat er bij reservoirstimulatie een hoger debiet van 13 – 28% kan worden gehaald. Het geothermisch vermogen zou hiermee verhogen met 16 – 29%.

Tabel 5.2: potentie reservoirstimulatie

| Scenario                 | Geschatte debiet (m <sup>3</sup> /uur) | Geschatte vermogen (MW) | Verhoogd debiet, t.o.v. basecase (%) | Verhoogd vermogen, t.o.v. basecase (%) |
|--------------------------|--|-------------------------|--------------------------------------|--|
| Basecase (skin factor 0) | 174                                    | 3,82                    | -                                    | -                                      |
| Skin factor -1           | 196                                    | 4,43                    | 13%                                  | 16%                                    |
| Skin factor -2           | 223                                    | 4,93                    | 28%                                  | 29%                                    |

#### 5.2.1.2 Thermische potentie projectgebied

Uit de gespecificeerde stoomvraag van de deelnemende bedrijven en de daarbij horende thermische vermogens (233 MW voor Tata Steel en 27 MW voor Crown van Gelder) blijkt dat één geothermisch doublet van 8,49 MW niet genoeg is om aan de gehele energievraag te voldoen. Sterker nog, vrijwel het gehele reservoir onder het projectgebied zal efficiënt benut moeten worden om een zo groot mogelijke verduurzaming te kunnen realiseren. Om vast te stellen hoeveel doubletten in het gebied gerealiseerd zouden kunnen worden is een tweede rekenprogramma van TNO gebruikt: *DoubletCalc2D (v1.0\_20151104)*. “*DoubletCalc 2D v1.0 (DC2D) is a software tool that is developed by TNO. It enables to calculate the temperature and pressure development around two or more geothermal wells in two dimensions over time. The software aims at bridging the gap between simple 1D prediction tools like TNO’s DoubletCalc v1.43 (DC1D, Mijnlieff et al. 2014), and sophisticated 2D and 3D reservoir simulators like Eclipse*” - TNO 2015 R10216 Manual DoubletCalc 2D.

Een groot deel van de gevraagde input voor *DoubletCalc2D* kan direct uit de basecase van *DoubletCalc1D* overgenomen worden. Denk hierbij aan reservoir-eigenschappen, zoals diepte, dikte, permeabiliteit, net to gross en temperatuur. Deze worden aangevuld met eigenschappen voor de voorgestelde bronnen, zoals locatie, diepte, brondiameter, injectietemperatuur, etc. Door het toevoegen van een simulatieperiode van 35 jaar kan er worden gekeken of er binnen deze periode sprake kan zijn van thermische doorbraak, waarbij het geïnjecteerde koude formatiewater de productieputten bereikt. Wanneer dit het geval is zal een geothermie-doublet (veel) minder thermisch vermogen kunnen leveren. De exacte input voor de basecase van *DoubletCalc2D* is te vinden in bijlage 3.

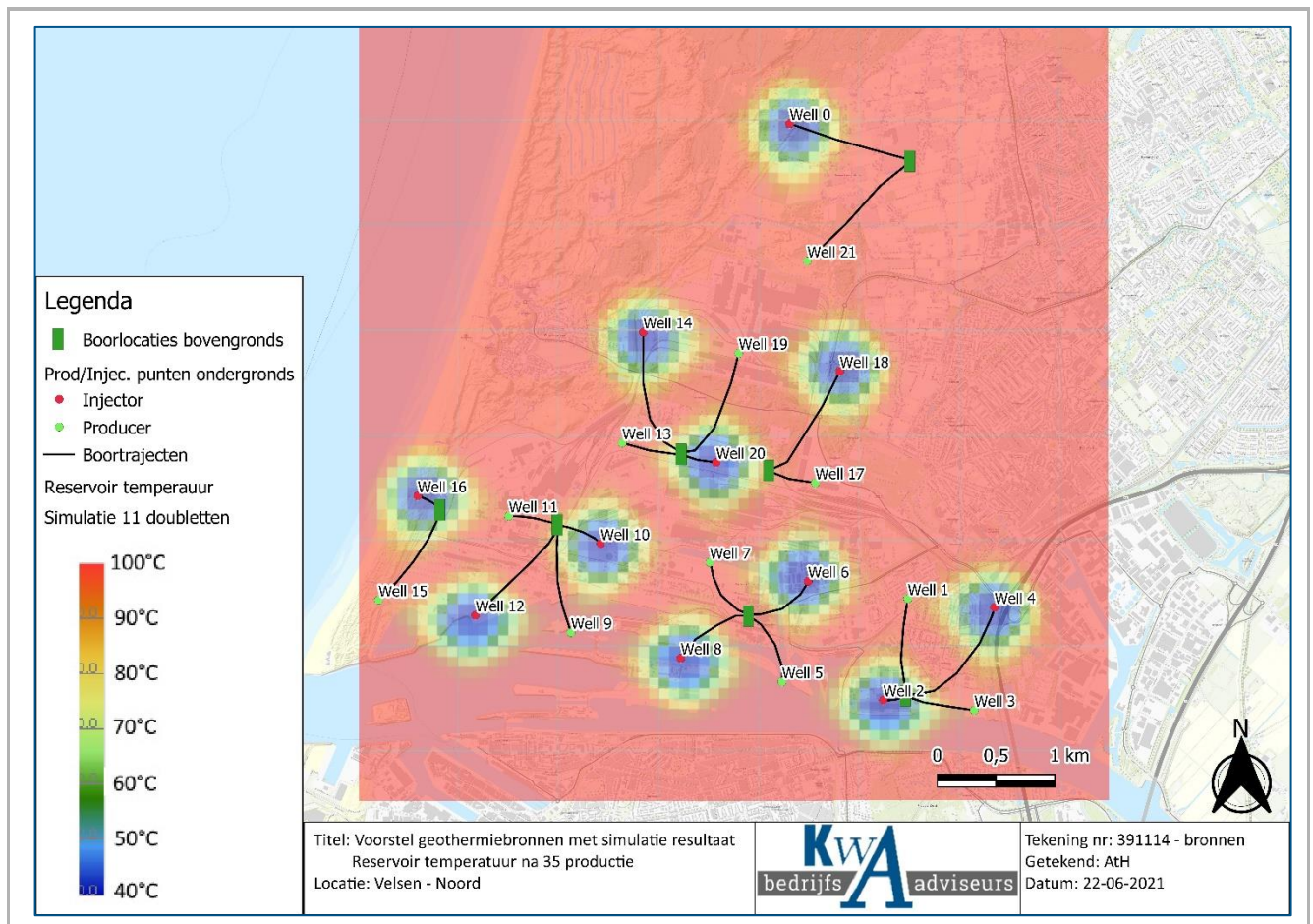
De output bestaat uit grafieken en kaarten voor temperatuur en druk voor elke bron (zowel productie als injectie). Voor deze studie is vooral de temperatuurkaart van belang. Door meer dan 50 iteraties en aanpassingen tussen *DoubletCalc1D* en *DoubletCalc2D* is er een optimum gevonden voor het aantal bronnen en hun locaties. Hierbij is vooral gekeken naar:

- Potentiële locaties waar geboord zou kunnen worden;
- De minimale afstand tussen productie- en injectieputten en het daarbij horende debiet;
- Minimale levensduur van het project van 35 jaar.

Uit de simulaties is de kaart uit figuur 5.4 opgemaakt. Hierop staan ook de mogelijke bovengrondse boorlocaties en de ondergrondse injectie- en productiepunten. De verscheidene simulaties hebben geleid tot de volgende observaties:

- In het projectgebied zouden in totaal tien doubletten (20 bronnen) kunnen worden gerealiseerd: acht doubletten voor Tata Steel en twee doubletten voor Crown van Gelder;
- In de bodem ten zuiden en ten noorden van Wijk aan Zee zouden nog een negende en een tiende doublet voor Tata Steel kunnen worden gerealiseerd. Om deze boringen mogelijk te maken moeten deze onder een grotere hoek geboord worden om genoeg ondergrondse afstand ten opzichte van de andere bronnen te creëren. Dit zal vooral in de realisatiefase tot hogere kosten leiden;
- Alle productie- en injectiebronnen liggen op reservoirdiepte minstens circa 850 meter uit elkaar;
- De beste configuratie is om de productie- en injectiebronnen om en om, in een schaakbord patroon te plaatsen;
- Na 35 jaar is er geen grote afname in de onttrekkingstemperatuur (er is dus geen sprake van thermische doorbraak van geïnjecteerd koud water);
- De voorgestelde bronnen voor Tata Steel en Crown van Gelder hebben geen negatieve invloed op de reeds gerealiseerde bron van Floricultura in Heemskerk.

**Figuur 5.4: overzicht mogelijke bovengrondse bronlocaties (groene rechthoeken), ondergrondse injectie- en productiepunten en de berekenende reservoirtemperatuur na 35 jaar productie. Hierbij zijn 'well 0' en 'well 21' de bronnen van Floricultura. De bronnen 'well 1' t/m 'well 4' zijn de twee doubletten voor Crown van Gelder, de overige bronnen zijn de 8 doubletten voor Tata Steel.**



De totale verwachte thermische potentie staat weergegeven in tabel 5.3.

**Tabel 5.3: verwachte geothermische vermogen**

| Systeem                  | Aantal doubletten (-) | Debiet (m <sup>3</sup> /uur) | Geothermisch vermogen per temperatuurtraject (MW) |           |           |
|--------------------------|-----------------------|------------------------------|---|-----------|-----------|
|                          |                       |                              | 98 – 75°C   | 75 – 40°C | 98 – 40°C |
| Eén doublet (Basecase)   | 1                     | 174                          | 3,82  | 4,67      | 8,49      |
| Tata Steel 8 doubletten  | 8                     | 1.392                        | 30,56   | 37,36     | 67,92     |
| Tata Steel 10 doubletten | 10                    | 1.740                        | 38,20   | 46,70     | 84,90     |
| Crown van Gelder         | 2                     | 348                          | 7,64  | 9,34      | 16,98     |

Het totale verwachte geothermisch vermogen ligt daarmee tussen de 85 – 102 MW.

### 5.2.1.3 Stoomgeneratie met behulp van warmtepompen

De bedrijfsprocessen die verduurzaamd dienen te worden hebben een significante stoomvraag. De temperatuur van het opgepompte formatiewater is met 98°C echter niet hoog genoeg om, via een platenwisselaar, direct stoom te kunnen leveren. Om toch aan de stoomvraag te kunnen voldoen is er naar een aantal verschillende oplossingsrichtingen gekeken:

- Stoomgeneratie door een tweetraps, hoge temperatuur (gesloten) warmtepomp. Hierbij verwarmt het formatiewater via een warmtewisselaar een intern leidingcircuit. Dit water wordt vervolgens door warmtepomp 1 van 98°C opgewarmd naar 130°C gebracht, waarna een tweede warmtepomp het water verder opwarmt naar 140°C.
- Stoomgeneratie door eerst op lage druk stoom te genereren en daarna met een stoomcompressor op te waarden naar 180°C. Ook hier warmt het opgepompte formatiewater middels een warmtewisselaar een internleidingcircuit op. Dit water wordt daarna in een (gesloten) warmtepomp omgezet naar lage druk stoom, waar vervolgens in een stoomcompressor stoom op 180°C en 10 bar(a) van wordt gemaakt.
- Aanpassen van installaties om te werken met water < 100°C. Dit bleek voor deze studie te ver van de scope om in detail uit te kunnen werken. In onze aanbevelingen voor vervolgstudies komt dit punt nog aan bod.

Het opwekken van stoom met behulp van een geothermische bron is in Nederland nog niet eerder toegepast. In samenwerking met verscheidene experts binnen KWA en daarbuiten is het de verwachting dat de meest realistische en meest efficiënte keuze is om te gaan voor de tweede optie: stoomgeneratie op lage druk, waarna er met een stoomcompressor stoom van 180°C bij een druk van 10 bar(a) wordt gemaakt. Deze keuze is vooral het een resultaat van de opzet van de bovengrondse installaties; de grote volumes en vermogens die door de installaties verwerkt moeten worden en het streven naar de hoogst mogelijke efficiëntie.

Voor het bovenstaande installatieconcept zijn binnen KWA spreadsheets ontwikkeld waar verschillende reservoir eigenschappen en energievragen ingevoerd kunnen worden. Daarmee wordt berekend hoeveel energie de warmtepompen moeten toevoegen en wat de resulterende stoomopbrengst is. In tabel 5.5 staan deze opbrengsten weergegeven.

In dit concept, met een gescheiden ondergronds- en bovengronds leidingcircuit, is het ook goed mogelijk om middels een systeem van kleppen en regelaars stoomgeneratie uit andere bronnen bij te schakelen wanneer dit nodig mocht zijn. Er zal in een vervolgstudie wel gekeken moeten worden naar de technische details.

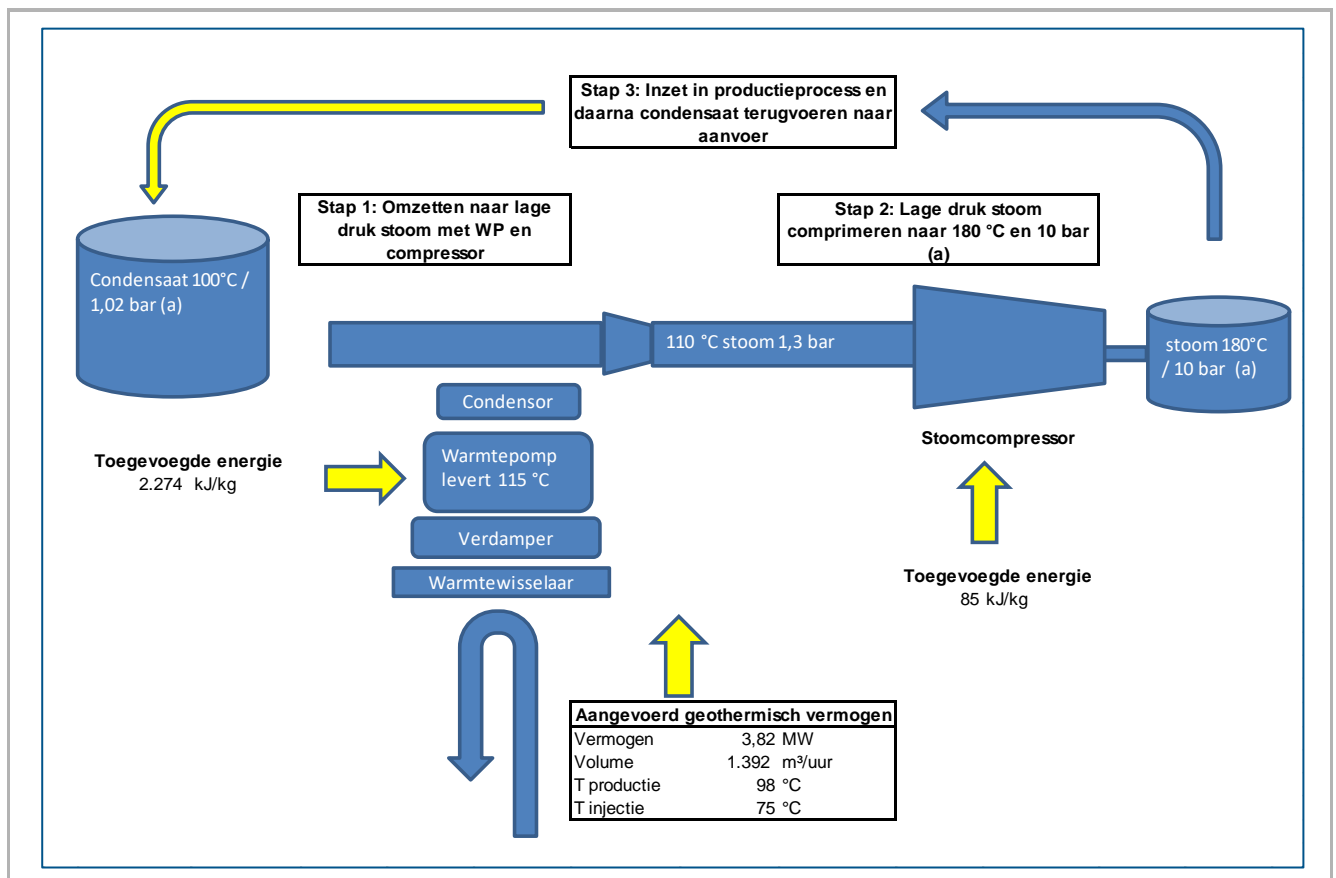
#### *Systeemprincipe*

De cyclus start met een retourvat waarin condensaat wordt opgevangen dat is overgebleven vanuit het productieproces. Dit condensaat heeft een temperatuur van 100°C en een druk van circa 1,02 bar(a).

- Stap 1:** Het condensaat wordt langs de condensor van een warmtepomp gebracht en de druk wordt opgevoerd. Het condensaat wordt hiermee omgezet naar 110°C lage druk stoom bij 1,3 bar(a). De warmtepomp haalt aan de verdamperzijde zijn energie uit een warmtewisselaar die verbonden is met het geothermische doublet. Het thermische vermogen wordt in de warmtepomp door middel van elektra aangevuld om de gewenste temperatuursprong te realiseren. Vanwege de faseverandering vraagt deze stap om veel extra toegevoegde energie; 2.274 kJ/kg stoom.
- Stap 2:** De stoom op lage druk wordt vervolgens in een grote stoomcompressor opgepompt naar 10 bar(a). Door deze compressie warmt de stoom zeer sterk op, waardoor de stroom in de compressor extra gekoeld moet worden om de stoom op 180°C en 10 bar(a) te kunnen leveren. De toegevoegde energie in deze stap is slechts 85 kJ/kg stoom.
- Stap 3:** De gegenereerde stoom wordt ingezet in het productieproces, waarna het condensaat weer wordt teruggevoerd naar het retourvat, waar de cyclus weer begint.

In figuur 5.5 is in een versimpeld stroomdiagram weergegeven hoe een dergelijke installatie eruit zou moeten zien, met daarin op welke punten, en op welke manier, energie aan het systeem wordt toegevoegd.

**Figuur 5.5: stroomdiagram van een stoominstallatie, gevoed door een geothermiebron**



Om te kunnen berekenen hoeveel vermogen en hoeveel stoom er in verschillende configuraties kan worden geleverd, is door KWA een spreadsheet ontwikkeld. De input voor de berekeningen komt voort uit de inventarisatie van de ondergrond, stoomtabellen en samenwerking met experts uit de procesindustrie op het gebied van warmtepompen en stoomgeneratie (zie tabel 5.4). In tabel 5.5 staan de resultaten voor de totale vermogens voor Tata Steel en Crown van Gelder.



Tabel 5.4: invoergegevens voor stoomopwekking met geothermie als bron

| Parameter                                   | Waarde  | Eenheid             |
|---|---------|---------------------|
| <b>Kenmerken geothermische bron</b>         |         |                     |
| Aantal doubletten                           | 1       | -                   |
| Verwachte debiet                            | 174     | m <sup>3</sup> /uur |
| Aanvoertemperatuur                          | 98      | °C                  |
| Retourtemperatuur                           | 75      | °C                  |
| Specifieke warmtecapaciteit water           | 4,2     | kJ/kgK              |
| Specifieke warmtecapaciteit opgeloste delen | 1,05    | kJ/kgK              |
| Zoutgehalte formatiewater                   | 150.000 | ppm                 |
| Soortelijk gewicht water                    | 1000    | kg/m <sup>3</sup>   |
| Soortelijk gewicht alle opgeloste delen     | 1800    | kg/m <sup>3</sup>   |
| Temperatuurverlies in productieput          | 2,5     | °C                  |
| Specifieke warmtecapaciteit formatiewater   | 3,44    | kJ/kgK              |
| Dichtheid van formatiewater                 | 1120    | kg/m <sup>3</sup>   |
| Warmtecapaciteit per volume                 | 3,85    | MJ/m <sup>3</sup> K |
| <b>Kenmerken stoomsysteem</b>               |         |                     |
| Gevraagde stoomtemperatuur                  | 180     | °C                  |
| Gevraagde stoomdruk                         | 5       | bar (a)             |
| Condensaat temperatuur (retour)             | 100     | °C                  |
| Condensaat druk (retour)                    | 1,02    | bar (a)             |
| Lage druk stoom (temperatuur)               | 110     | °C                  |
| Lage druk stoom (druk)                      | 1,3     | bar (a)             |
| COP warmtepomp en stoomcompressor           | 3,4     | -                   |

Tabel 5.5: geleverde vermogens en stoomvolumes (temperatuurtraject 98 - 75°C)

| Systeem                  | Geothermisch vermogen (MW) | Toegevoegd elektrisch vermogen (MW) | Totaal vermogen stoomvoorziening (MW) | Geleverde stoom bij 180°C, 5 bar(a) (ton/uur) | Mogelijke verduurzaming van de energievraag |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Eén doublet (BaseCase)   | 3,82                       | 1,59                                | 5,41                                  | 8,14  | -   |
| Tata Steel 8 doubletten  | 30,55                      | 12,73                               | 43,27                                 | 65,1  | 22%   |
| Tata Steel 10 doubletten | 38,18                      | 15,91                               | 54,09                                 | 81,4  | 27%   |
| Crown van Gelder         | 7,64                       | 3,18                                | 10,82                                 | 16,3  | 33%   |

### 5.3 Businesscase Tata Steel

Eén van de grote doelen van deze studie is het maken van een inschatting van welke zaken van belang zijn voor een eventuele vervolgfase en om daar advies over uit te brengen. Het opstellen van een, vooralsnog ruwe, businesscase maakt het mogelijk om de financiële kant van een aardwarmte project te belichten. In deze fase voegt het uitwerken van een zeer gedetailleerde businesscase nog weinig toe, maar in de huidige vorm dient het zeker als een goed startpunt en helpt het de bedrijven om een beslissing te maken over mogelijke vervolgstudies.



Naast de standaard CAPEX, OPEX en kosten/batenanalyse is ook een korte sensitiviteitsanalyse opgesteld om een inschatting te maken van de factoren die de grootste financiële impact hebben. In de onderstaande paragrafen zijn de verschillende onderdelen van de businesscase opgenomen, te beginnen met de algemene kenmerken van het project.

**Tabel 5.6: kenmerken geothermie project - Tata Steel**

| Algemene kenmerken van het geothermie-project                   | Waarde      | Eenheid             |
|---|-------------|---------------------|
| Aantal doubletten   | 8           | -                   |
| Aantal boringen   | 16          | -                   |
| Debiet per doublet  | 175         | m <sup>3</sup> /uur |
| Geothermisch vermogen per doublet voor stoom                    | 3,82        | MW                  |
| Vermogen voor stoomgeneratie per doublet (inclusief warmtepomp) | 5,41        | MW                  |
| Geothermisch vermogen per doublet voor gebouwde omgeving        | 4,67        | MW                  |
| Vollasturen   | 6.000       | -                   |
| Geleverde stoom per doublet:                                    | 8,14        | ton/uur             |
| Stoomkwaliteit (temperatuur)                                    | 180         | °C                  |
| Stoomkwaliteit (druk)   | 3,5         | bar (a)             |
| Temperatuurtraject geothermie (stoomgeneratie)                  | 98 - 75     | °C                  |
| Temperatuurtraject geothermie (restwarmte)                      | 75 - 40     | °C                  |
| Totaal geleverde energie per jaar                               | 483.840.000 | kWh                 |

### 5.3.1.1 Investeringskosten (CAPEX)

Voor de CAPEX is onderscheid gemaakt in vijf delen:

- Het realiseren van de geothermische installaties, dat zich vooral focust op het ondergrondse deel;
- Het realiseren van de bovengrondse installaties: denk hierbij aan leidingwerk, gebouwen en machines in die gebouwen;
- Verzekeringen, voornamelijk enkel bestaande uit de verplichte verzekering 'Garantiefonds boringen';
- Overige posten;
- Subsidie mogelijkheden. Door een voorschot te nemen op de eventuele toekenning van subsidies kan de mate waarin de subsidiemogelijkheden een rol spelen in een investeringsbeslissing worden verhelderd. In het geval van Tata Steel zou de CAPEX zonder enige subsidie neerkomen op circa € 125 mln.

**Tabel 5.7: CAPEX overzicht - Tata Steel**

| Overzicht van de verwachte CAPEX                  | Kosten        |                     |
|---|---------------|---------------------|
| <b>Realiseren geothermie-installatie</b>          | <b>Totaal</b> | <b>€ 72.900.000</b> |
| Vorbereidingskosten (inclusief vergunningtraject) | € 500.000     |                     |
| Kosten voor extra seismisch onderzoek             | € 400.000     |                     |
| Boorkosten incl. aanleg boorlocatie(s)            | € 60.000.000  |                     |
| Reservoir stimulatie                              | € 12.000.000  |                     |
| <b>Installatie overig</b>                         | <b>Totaal</b> | <b>€ 39.934.400</b> |
| Gebouw & installaties                             | € 2.400.000   |                     |
| Warmtewisselaars                                  | € 1.392.000   |                     |
| Warmtepompen (€ 450/kW output vermogen)           | € 17.312.000  |                     |
| Leidingwerk                                       | € 11.200.000  |                     |
| Bekabeling (inclusief Travo)                      | € 2.000.000   |                     |
| Instrumentatie                                    | € 2.000.000   |                     |
| Engineering (10% installatie)                     | € 3.630.400   |                     |

| Overzicht van de verwachte CAPEX                      |     | Kosten              |                      |
|---|-----|---------------------|----------------------|
| <b>Verzekeringen</b>                                  |     | <b>Totaal</b>       | <b>€ 505.750</b>     |
| Garantiefonds boringen (vaste bijdrage)               |     | € 505.750           |                      |
| <b>Overige posten</b>                                 |     | <b>Totaal</b>       | <b>€ 11.334.015</b>  |
| Onvoorzien (10%)                                      |     | € 11.334.015        |                      |
| <b>Subsidiemogelijkheden</b>                          |     | <b>Totaal</b>       | <b>€ -19.967.417</b> |
| CAPEX subsidie European Innovation Fund (% van CAPEX) | 10% | € -12.467.417       |                      |
| DEI   | 50% | € -7.500.000        |                      |
|   |     | <b>CAPEX-totaal</b> | <b>€ 104.706.749</b> |

Zoals verwacht zijn de boorkosten verreweg de grootste kostenpost, wat geheel in overeenstemming is met wat er bekend is uit andere geothermieprojecten. Daarnaast vallen ook de kosten voor de warmtepompen op.

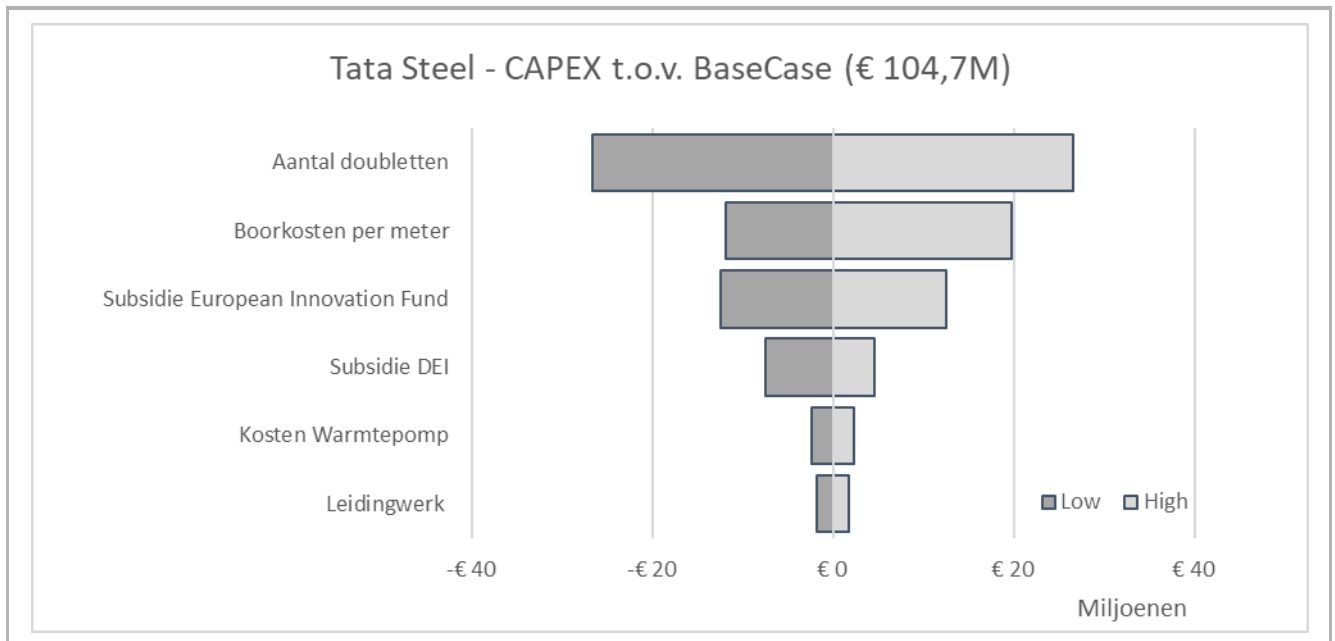
#### Sensitiviteitsanalyse

Om meer inzicht in de impact en onzekerheden van de verschillende posten te krijgen, is voor een aantal van de belangrijkste parameters een korte sensitiviteitsanalyse gemaakt. Door het variëren van één parameter kan het effect (positief of negatief) op de businesscase in kaart worden gebracht. In tabel 5.8 staan deze parameters en hun low-, base- en high-case waarden genoemd. In figuur 5.6 staat een tornadografiek, waarbij de parameters met de meeste impact van boven naar onder staan weergegeven.

Tabel 5.8: Tata Steel - sensitiviteit CAPEX

| Parameter  | Low-case | Base-case | High-case |
|--|----------|-----------|-----------|
| Aantal doubletten  | 6        | 8         | 10        |
| Boorkosten (€ per verticale meter boren)                             | € 1.200  | € 1.500   | € 2.000   |
| Kosten warmtepomp (€ per kW vermogen)                                | € 350    | € 400     | € 450     |
| CAPEX European Innovation Fund (als % van de totale CAPEX)           | 20%      | 10%       | 0%        |
| DEI subsidie (als % van het maximale DEI-subsidiebedrag à € 15 mln.) | 100%     | 50%       | 20%       |
| Leidingkosten staal (kosten per strekkende meter)                    | € 600    | € 700     | € 800     |

Figuur 5.6: Tata Steel - sensitiviteit CAPEX



Uit de analyse blijkt dat het aantal doubletten de grootse impact heeft op de CAPEX, gevolgd door de boorkosten per meter. Het aantal doubletten is vooral een ontwerpkeuze en daardoor goed te controleren. De boorkosten zijn erg afhankelijk van marktprijzen en de technische complexiteit van de boringen. Hierover is pas in een later stadium met meer zekerheid iets over te zeggen. Na de eerste boringen valt een groot deel van de onzekerheid van de bodemopbouw weg, waardoor de daaropvolgende boringen wellicht goedkoper kunnen worden uitgevoerd. Ook de mogelijke subsidies, en dan vooral het European Innovation Fund, kunnen een erg grote impact hebben op de uiteindelijke CAPEX.

### 5.3.1.2 Operationele kosten (OPEX)

In tabel 5.9 staat het overzicht van de geschatte OPEX, met daarin ook een aantal aannames en kengetallen die dienen als basis voor de berekeningen.

Tabel 5.9: OPEX (jaarlijks)

| Overzicht van de verwachte OPEX                           | Kosten        |                    |
|---|---------------|--------------------|
| <b>Kenmerken geothermie project</b>                       |               |                    |
| Vollasturen   | 6.000         | -                  |
| Geleverde hoeveelheid stoom per doublet                   | 8,14          | ton/uur            |
| Kosten elektriciteit                                      | € 0,05        | /kWh               |
| COP bronpompen  | 17            | -                  |
| COP warmtepompen  | 3,4           | -                  |
| Looptijd projectrente                                     | 15            | jaar               |
| <b>Vaste lasten</b>                                       | <b>Totaal</b> | <b>€ 8.856.302</b> |
| O&M geothermische installatie                             | € 4.632.640   |                    |
| O&M warmtepompen  | € 1.618.672   |                    |
| Onderhoud & bedienen leidingwerk (1,5% van investering)   | € 168.000     |                    |
| Rente over investering (4,0% jaarlijks, looptijd 15 jaar) | € 2.436.990   |                    |
| <b>Variabele kosten</b>                                   | <b>Totaal</b> | <b>€ 4.684.938</b> |

| Overzicht van de verwachte OPEX     | Kosten        |                     |
|-------------------------------------|---------------|---------------------|
| Elektriciteitsverbruik bronpompen   | € 1.171.620   |                     |
| Elektriciteitsverbruik warmtepompen | € 3.513.318   |                     |
|                                     |               |                     |
|                                     | <b>Totaal</b> | <b>€ 13.541.240</b> |

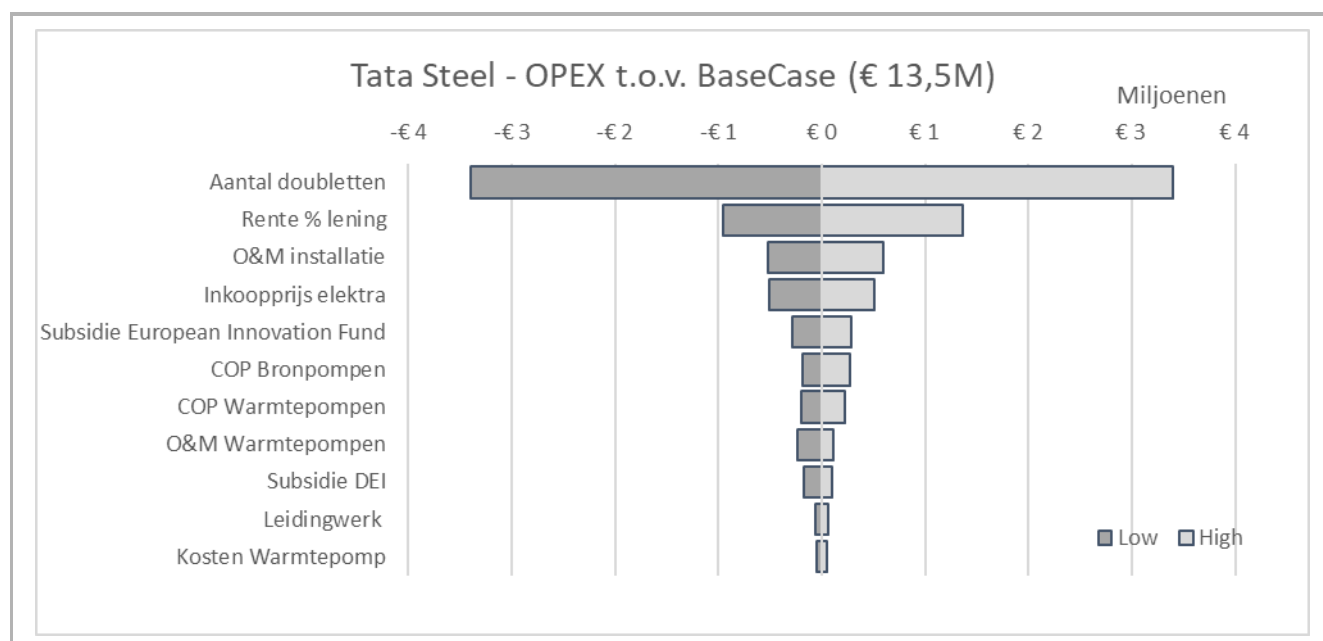
De jaarlijkse vaste lasten voor Operate & Maintain zijn ingeschat op kengetallen van de kosten per kW opgesteld thermisch vermogen. Door het grote vermogen van de installatie is dit een behoorlijk grote kostenpost. Ook het elektriciteitsverbruik van de warmtepompen is erg hoog. Dit is het resultaat van de bodemopbouw. Doordat er niet direct stoom gewonnen kan worden, moeten de warmtepompen erg veel energie aan het grondwater toevoegen om de faseverandering van vloeistof naar gas te bewerkstelligen.

### Sensitiviteitsanalyse

Tabel 5.10: Tata Steel - sensitiviteit OPEX

| Parameter   | Low-case | Base-case | High-case |
|---|----------|-----------|-----------|
| Aantal doubletten   | 6        | 8         | 10        |
| Rente % lening jaarlijks, op basis van looptijd van 15 jaar     | 2,50%    | 4,00%     | 6,00%     |
| O&M installatie (€ per kW thermisch vermogen)                   | € 110    | € 124     | € 140     |
| Inkooprijds elektra (€ per kWh)                                 | € 0,04   | € 0,05    | € 0,06    |
| CAPEX Europ Inn Fund (als % van de totale CAPEX)                | 20%      | 10%       | 0%        |
| COP bronpompen  | 20       | 17        | 14        |
| COP warmtepompen  | 3,6      | 3,4       | 3,2       |
| O&M warmtepompen (€ per kW thermisch vermogen)                  | € 32     | € 37,40   | € 40      |
| DEI sub (als % van het maximale DEI-subsidiebedrag à € 15 mln.) | 100%     | 50%       | 20%       |
| Leidingkosten staal (kosten per strekkende meter)               | € 600    | € 700     | € 800     |
| Kosten warmtepomp (€ per kW vermogen)                           | € 350    | € 400     | € 450     |

Figuur 5.7: Tata Steel - sensitiviteit OPEX



Ook voor de OPEX is het aantal doubletten uiteraard van groot belang. De spreiding in de andere parameters, behalve de rente op de lening voor de financiering, is echter relatief klein te noemen ten opzichte van de basecase van € 13,5 mln. per jaar. Het rentepercentage is hier gevarieerd tussen 2,5 tot 6,0%. Wanneer het rentepercentage oploopt tot 8%, neemt de jaarlijkse rentekosten toe met circa € 1,4 mln. De berekeningen van bijvoorbeeld het rentebedrag en het onderhoud van de installaties zijn afhankelijk van de CAPEX-investering. Hierdoor komen deze posten ook in de sensitiviteitsanalyse van de OPEX naar voren.

### 5.3.1.3 Jaarlijkse inkomsten

De opbrengsten uit het geothermieproject komen ook in de vorm van besparingen, maar toch zijn er een tweetal directe inkomsten op te merken: inkomsten uit de levering van restwarmte aan een lokaal of regionaal warmtenet en de inkomsten uit de SDE++ subsidie voor diepe geothermie. Voor de inkomsten van de levering van restwarmte is uitgegaan van een energieverlies van 10%. De besparingen die opgevoerd kunnen worden zijn de vermeden kosten voor het conventioneel opwekken van stoom en de vermeden CO<sub>2</sub>-kosten.

Tabel 5.11: jaarlijkse inkomsten

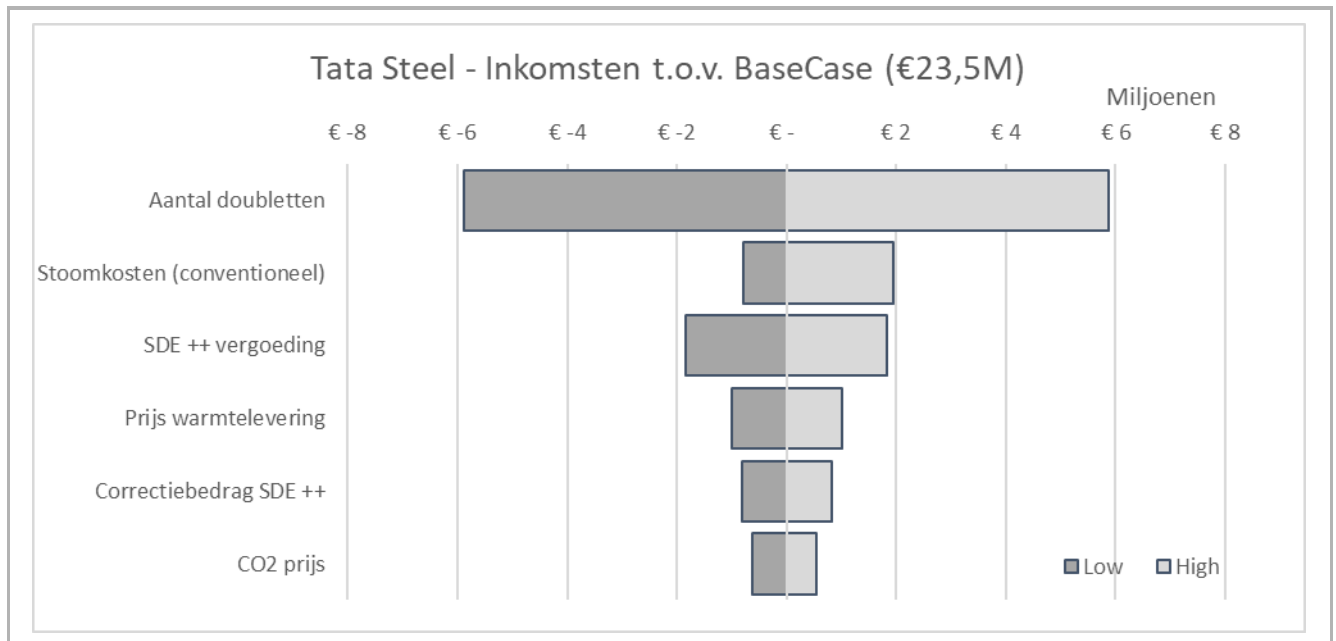
| Overzicht van de jaarlijkse inkomsten                                  |                |                     |
|--|----------------|---------------------|
| <b>Kenmerken geothermie project</b>                                    |                |                     |
| Geleverde stoom per doublet  | 8,14           | ton/uur             |
| Geleverd stoomvolume totaal  | 65,12          | ton/uur             |
| Geschatte kosten stoom (conventioneel)                                 | € 15           | /ton                |
| Geleverd vermogen stadswarmte (restwarmte (75°C --> 40°C))             | 37.360         | kW                  |
| Vollasturen  | 6.000          | uur                 |
| CO <sub>2</sub> -prijs (te betalen bij uitstoot)                       | € 46           | /ton                |
|  |                |                     |
| <b>Inkomsten levering aan lokaal/regionaal warmtenet</b>               | <b>Totaal</b>  | <b>€ 3.631.392</b>  |
| <b>Inkomsten uit subsidie</b>  | <b>Totaal</b>  | <b>€ 11.206.800</b> |
| SDE ++ Diepe geothermie  | € 11.206.800   |                     |
| Overig (niet bekend)   | € -            |                     |
|  |                |                     |
| <b>Vermeden kosten</b>   | <b>Totaal</b>  | <b>€ 8.684.381</b>  |
| Vermeden jaarlijkse stoomkosten bij conventionele opwekking            | € 5.860.800    |                     |
| Vermeden CO <sub>2</sub> -kosten - o.b.v. € 46/ton (10 jaar prijspeil) | € 2.823.581    |                     |
|  |                |                     |
|  | <b>Totaal:</b> | <b>€ 23.522.573</b> |

### Sensitiviteitsanalyse

Tabel 5.12: Tata Steel - sensitiviteit jaarlijkse inkomsten

| Parameter   | Low-case | Base-case | High-case |
|---|----------|-----------|-----------|
| Aantal doubletten   | 6        | 8         | 10        |
| Stoomkosten (conventioneel € per ton stoom)               | 20       | 15        | 13        |
| SDE ++ vergoeding (€ per kW thermisch vermogen)           | € 0,0500 | € 0,0455  | € 0,0410  |
| Prijs warmtelevering (€ per kWh)                          | € 0,023  | € 0,018   | € 0,013   |
| Correctiebedrag SDE ++ (€ per kW thermisch vermogen)      | € 0,0160 | € 0,0180  | € 0,0200  |
| CO <sub>2</sub> prijs per uitgestoten ton CO <sub>2</sub> | € 55     | € 46      | € 36      |

Figuur 5.8: Tata Steel - sensitiviteit jaarlijkse inkomsten



De geschatte jaarlijkse inkomsten voor het project zijn, naast het aantal gerealiseerde doubletten, vooral afhankelijk van de vermeden kosten voor het conventioneel opwekken van stoom en de SDE++ vergoeding. Dit is in lijn met de verwachtingen. De huidige consensus in markt is dat zonder SDE++ subsidie, geothermieprojecten (nog) niet rendabel zijn. De genomen CO<sub>2</sub>-prijs per uitgestoten ton is op basis van een 10-jarig prijspeil, maar de verwachting is wel dat deze prijs in de toekomst nog erg kan toenemen. Wanneer uitgegaan wordt van een CO<sub>2</sub>-prijs van € 150,- per ton, stijgen de inkomsten naar € 29,9 mln. en valt de terugverdientijd terug van 10,49 naar 6,40 jaar.

#### 5.3.1.4 Kosten-batenanalyse en terugverdientijd

Voor grote projecten binnen de industrie zijn de kosten en de baten uiteraard van belang, maar vaak staat of valt een investeringsbeslissing met de terugverdientijd. In tabel 5.13 zijn de financiële kosten en baten onder elkaar gezet om, op basis van een looptijd van de CAPEX-lening van 15 jaar, de terugverdientijd te berekenen. De berekende stoomkosten bij geothermie, uitgaande van complete afschrijving van de CAPEX en aflossen van de lening in 15 jaar, zijn circa € 14,55 per ton stoom. In de huidige basecase, met een CAPEX van circa € 105 mln. en jaarlijkse inkomsten van circa € 10 mln., komt de terugverdientijd op ongeveer 10,5 jaar. Hierbij wordt door het geothermiesysteem jaarlijks ruim 390.000 ton stoom geleverd, wat een verduurzaming van de stoomvraag van 22% betekent. De totale CO<sub>2</sub>-besparing, gebaseerd op de hoeveelheid afgevangen CO<sub>2</sub> uit de aminestripper (654.000 ton) en de vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot (60.000 ton) bedraagt ruim 711.000 ton CO<sub>2</sub>.

Tabel 5.13: kosten-batenanalyse en terugverdientijd

| Kosten-batenanalyse en terugverdientijd                             |               |                |
|---|---------------|----------------|
| <b>Kosten per ton stoom (over 15 jaar productie) met geothermie</b> |               | <b>€ 14,55</b> |
| CAPEX   | € 104.706.749 |                |
| OPEX  | € 13.541.240  |                |
| Jaarlijkse inkomsten  | € 14.838.192  |                |
| Stoomvolume (ton /jaar)   | 390.720       |                |
| Looptijd project (jaar)   | 15            |                |

| <b>Kosten-batenanalyse en terugverdientijd</b>   |                    |                    |
|--|--------------------|--------------------|
| <b>Jaarlijkse stoomkosten bij conventionele opwekking</b>  | <b>Totaal</b>      | <b>€ 5.860.800</b> |
| Geschatte kosten stoom (per ton)   | € 15               |                    |
| Geleverde hoeveelheid stoom via geothermie (ton/jaar)  | 390.720            |                    |
| <b>Jaarlijkse opbrengsten t.o.v. conventioneel opwekken</b>                                      |                    |                    |
| <b>Totaal</b>  | <b>€ 9.981.333</b> |                    |
| Jaarlijkse besparing stoomkosten   | € 5.860.800        |                    |
| Jaarlijkse inkomsten geothermieproject   | € 14.838.192       |                    |
| Vermeden CO <sub>2</sub> -kosten - o.b.v. € 46/ton (10 jaar prijspeil)                           | € 2.823.581        |                    |
| OPEX (jaarlijks)   | € 13.541.240       |                    |
| <b>Terugverdientijd</b>  | <b>10,49</b>       | <b>jaar</b>        |
| CAPEX  | € 104.706.749      |                    |
| Jaarlijkse opbrengsten   | € 9.981.333        |                    |
| <b>Potentiële verduurzaming t.o.v. energievraag</b>  |                    | <b>22%</b>         |
| Energievraag (ton stoom per uur)   | 300,00             |                    |
| Potentiële stoomlevering d.m.v. geothermie (ton stoom per uur)                                   | 65,12              |                    |
| <b>CO<sub>2</sub>-besparing op jaarbasis (ton per jaar)</b>                                      |                    | <b>711.200</b>     |
| <b>CO<sub>2</sub>-besparing t.o.v. opwekking met aardgas (ton per jaar)</b>                      |                    | <b>60.000</b>      |
| Aantal ton stoom per jaar met geothermie   | 390.720            |                    |
| Aardgas verbruik bij conventionele opwekking (m <sup>3</sup> per jaar)                           | 33.310.000         |                    |
| CO <sub>2</sub> -uitstoot bij conventionele opwekking (ton per jaar)                             | 60.000             |                    |
| <b>CO<sub>2</sub> die dankzij geothermie wordt afgevangen in de aminestripper (ton per jaar)</b> |                    | <b>651.200</b>     |
| Totale verwachte CO <sub>2</sub> -afvang aminestripper (ton per jaar)                            | 3.000.000          |                    |
| Aandeel wat wordt gerealiseerd met geothermie  | 22%                |                    |
| CO <sub>2</sub> -afvang met geothermie (ton per jaar)  | 651.200            |                    |

### Sensitiviteitsanalyse

Uit de analyses voor de CAPEX, OPEX en de inkomsten blijkt dat deze onderdelen gevoelig zijn voor verschillende parameters. Door de sensitiviteit voor de terugverdientijd te analyseren worden al deze verschillende onderdelen samengevoegd en ontstaat er een beeld van de parameters die de grootste invloed op een mogelijke investeringsbeslissing hebben. In tabel 5.14 staan alle sensitiviteitsparameters weergegeven en in figuur 5.9 staat de tornadografiek met de resultaten.

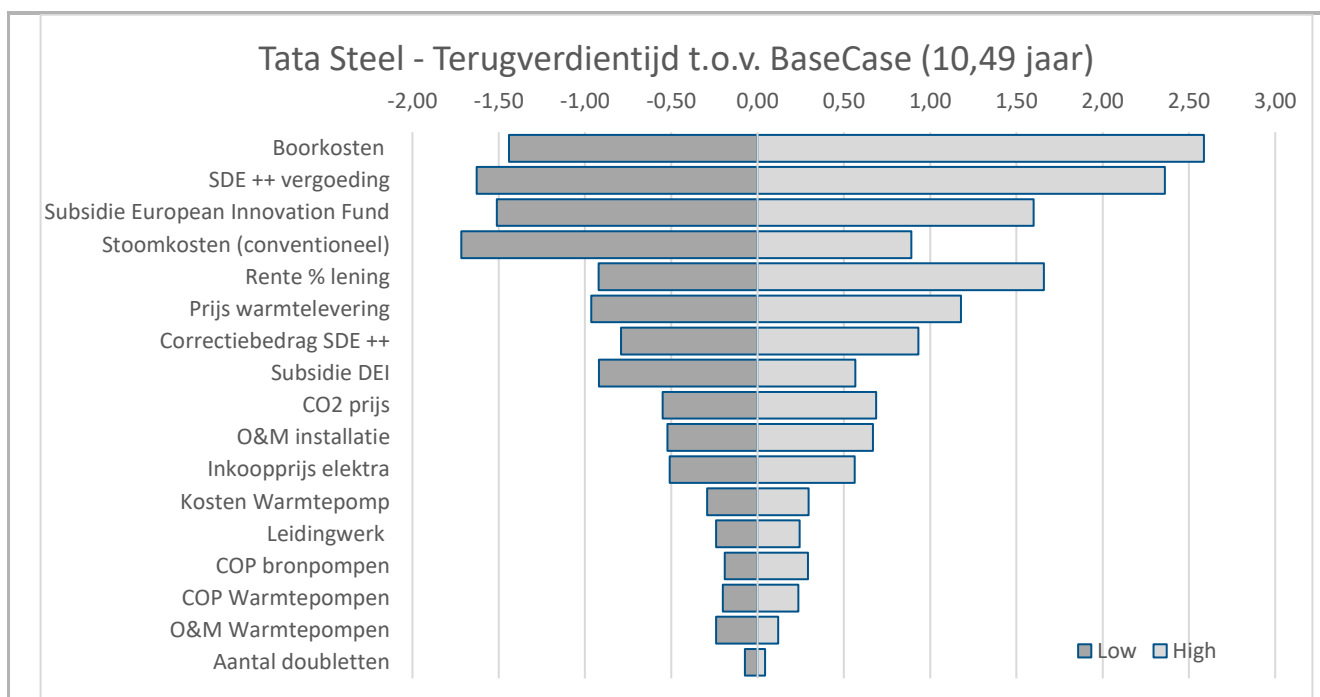
**Tabel 5.14: Tata Steel - sensitiviteit jaarlijkse inkomsten**

| <b>Parameter</b>  | <b>Low-case</b> | <b>Base-case</b> | <b>High-case</b> |
|---|-----------------|------------------|------------------|
| Aantal doubletten   | 6               | 8                | 10               |
| Stoomkosten (conventioneel € per ton stoom)                 | 20              | 15               | 13               |
| SDE ++ vergoeding (€ per kW thermisch vermogen)             | € 0,0500        | € 0,0455         | € 0,0410         |
| Prijs warmtelevering (€ per kWh)                            | € 0,023         | € 0,018          | € 0,013          |
| Correctiebedrag SDE ++ (€ per kW thermisch vermogen)        | € 0,0160        | € 0,0180         | € 0,0200         |
| CO <sub>2</sub> -prijs per uitgestoten ton CO <sub>2</sub>  | € 55            | € 46,00          | € 36             |
| Rente % lening jaarlijks, op basis van looptijd van 15 jaar | 2,50%           | 4,00%            | 6,00%            |
| O&M-installatie (€ per kW thermisch vermogen)               | € 110           | € 124            | € 140            |
| Inkoopprijs elektra (€ per kWh)                             | € 0,04          | € 0,05           | € 0,06           |
| CAPEX European Innovation Fund (als % van de totale CAPEX)  | 20%             | 10%              | 0%               |
| COP bronpompen  | 20              | 17               | 14               |
| COP warmtepompen  | 3,6             | 3,4              | 3,2              |



| Parameter   | Low-case | Base-case | High-case |
|---|----------|-----------|-----------|
| O&M warmtepompen (€ per kW thermisch vermogen)                  | € 32     | € 37,40   | € 40      |
| DEI sub (als % van het maximale DEI-subsidiebedrag à € 15 mln.) | 100%     | 50%       | 20%       |
| Leidingkosten staal (kosten per strekkende meter)               | € 600    | € 700     | € 800     |
| Boorkosten (€ per verticale meter boren)                        | € 1.200  | € 1.500   | € 2.000   |
| Kosten warmtepomp (€ per kW vermogen)                           | € 350    | € 400     | € 450     |

**Figuur 5.9: Tata Steel - sensitiviteit terugverdiertijd**



Als eerste valt op dat het aantal doubletten een lage impact heeft op de terugverdiertijd, terwijl deze wel een grote impact hebben op de afzonderlijke onderdelen van de businesscase. Dit is te verklaren doordat bijvoorbeeld het aanleggen van extra doubletten een grotere CAPEX en OPEX geeft, maar ook meer inkomsten oplevert. Uiteindelijk heft dit elkaar over een looptijd van 15 jaar op. De grootste impact op de terugverdiertijd is terug te voeren naar de boorkosten en de variatie in de SDE++-vergoeding. Daarnaast spelen het rentepercentage en een eventuele subsidie via het European Innovation Fund een belangrijke rol. De prijs voor CO<sub>2</sub>-uitstoot lijkt voornamelijk geen grote impact te hebben, maar zoals reeds bij de *Jaarlijkse inkomsten* is gemeld, kan het zijn dat deze prijs de komende tien jaar snel oploopt, waardoor de terugverdiertijd met vier jaar zou kunnen worden verkort. De impact van de prijs van de warmtelevering lijkt mee te vallen, maar hierbij is er wel vanuit gegaan dat er uit 90% van de restwarmte inkomsten gegenereerd worden. Als deze inkomstenbron weg zou vallen stijgt de terugverdiertijd van de basecase naar 19 jaar.

Over het algemeen variëren de terugverdiertijden tussen de 9 en 13 jaar, waarbij onze basecase uitgaat van een terugverdiertijd van circa 10,5 jaar.

#### 5.4 Businesscase Crown van Gelder

Ook voor Crown van Gelder is een businesscase opgesteld die grotendeels de opzet van die van Tata Steel volgt. Naast de standaard CAPEX, OPEX en kosten-batenanalyse is ook een korte sensitiviteitsanalyse opgesteld om een inschatting te maken van de factoren die de grootste financiële impact hebben.

In de onderstaande paragrafen zijn de verschillende onderdelen van de businesscase opgenomen, te beginnen met de algemene kenmerken van het project.

Ten opzichte van de businesscase van Tata Steel, zijn er slechts twee grote verschillen: het aantal te realiseren doubletten en de omvang van het te realiseren leidingwerk. Dit heeft uiteraard gevolgen voor de verschillende onderdelen van de businesscase en de sensitiviteitsanalyse.

**Tabel 5.15: kenmerken geothermieproject – Crown van Gelder**

| Algemene kenmerken van het geothermieproject                    | Waarde      | Eenheid             |
|---|-------------|---------------------|
| Aantal doubletten   | 2           | -                   |
| Aantal boringen   | 4           | -                   |
| Debiet per doublet  | 175         | m <sup>3</sup> /uur |
| Geothermisch vermogen per doublet voor stoom                    | 3,82        | MW                  |
| Vermogen voor stoomgeneratie per doublet (inclusief warmtepomp) | 5,41        | MW                  |
| Geothermisch vermogen per doublet voor gebouwde omgeving        | 4,67        | MW                  |
| Vollasturen   | 6.000       | -                   |
| Geleverde stoom per doublet                                     | 8,14        | ton/uur             |
| Stoomkwaliteit (temperatuur)                                    | 180         | °C                  |
| Stoomkwaliteit (druk)   | 8,5         | bar (a)             |
| Temperatuurtraject geothermie (stoomgeneratie)                  | 98 - 75     | °C                  |
| Temperatuurtraject geothermie (restwarmte)                      | 75 - 40     | °C                  |
| Totaal geleverde energie per jaar                               | 120.960.000 | kWh                 |

#### 5.4.1.1 Investeringskosten (CAPEX)

Voor de CAPEX is onderscheid gemaakt in vijf delen:

- Het realiseren van de geothermische installaties, welke zich vooral focussen op het ondergrondse deel;
- Het realiseren van de bovengrondse installaties: denk hierbij aan leidingwerk, gebouwen, en machines in die gebouwen;
- Verzekeringen, vooralsnog enkel bestaande uit de verplichte verzekering 'Garantiefonds boringen';
- Overige posten;
- Subsidie mogelijkheden. Door een voorschot te nemen op de eventuele toekenning van subsidies kan de mate waarin de subsidiemogelijkheden een rol spelen in een investeringsbeslissing worden verhelderd. In het geval van Crown van Gelder zou de CAPEX zonder enige subsidie neerkomen op circa € 33,4 mln.

**Tabel 5.16: CAPEX overzicht – Crown van Gelder**

| Overzicht van de verwachte CAPEX                  | Kosten        |                     |
|---|---------------|---------------------|
| <b>Realiseren geothermie-installatie</b>          | <b>Totaal</b> | <b>€ 18.900.000</b> |
| Vorbereidingskosten (inclusief vergunningtraject) | € 500.000     |                     |
| Kosten voor extra seismisch onderzoek             | € 400.000     |                     |
| Boorkosten inclusief aanleg boorlocatie(s)        | € 15.000.000  |                     |
| Reservoir stimulatie                              | € 3.000.000   |                     |
| <b>Installatie overig</b>                         | <b>Totaal</b> | <b>€ 10.973.600</b> |
| Gebouw & installaties                             | € 600.000     |                     |
| Warmtewisselaars                                  | € 348.000     |                     |
| Warmtepompen (€ 400/kW output vermogen)           | € 4.328.000   |                     |
| Leidingwerk                                       | € 700.000     |                     |
| Bekabeling (inclusief Trafo)                      | € 2.000.000   |                     |
| Instrumentatie                                    | € 2.000.000   |                     |

| Overzicht van de verwachte CAPEX                      |     | Kosten              |                      |
|---|-----|---------------------|----------------------|
| Engineering (10% Installatie)                         |     | € 997.400           |                      |
| <b>Verzekeringen</b>                                  |     | <b>Totaal</b>       | <b>€ 505.750</b>     |
| Garantiefonds boringen (vaste bijdrage)               |     | € 505.750           |                      |
| <b>Overige posten</b>                                 |     | <b>Totaal</b>       | <b>€ 3.037.935</b>   |
| Onvoorzien (10%)                                      |     | € 3.037.935         |                      |
| <b>Subsidiemogelijkheden</b>                          |     | <b>Totaal</b>       | <b>€ -10.841.729</b> |
| CAPEX subsidie European Innovation Fund (% van CAPEX) | 10% | € -3.341.729        |                      |
| DEI   | 50% | € -7.500.000        |                      |
|   |     | <b>CAPEX-totaal</b> | <b>€ 22.575.557</b>  |

Zoals verwacht zijn de boorkosten verreweg de grootste kostenpost, wat geheel in overeenstemming is met wat er bekend is uit andere geothermieprojecten. Daarnaast vallen ook de kosten voor de warmtepompen op. Voor de basecase komt de berekende CAPEX op circa € 22,6 mln.

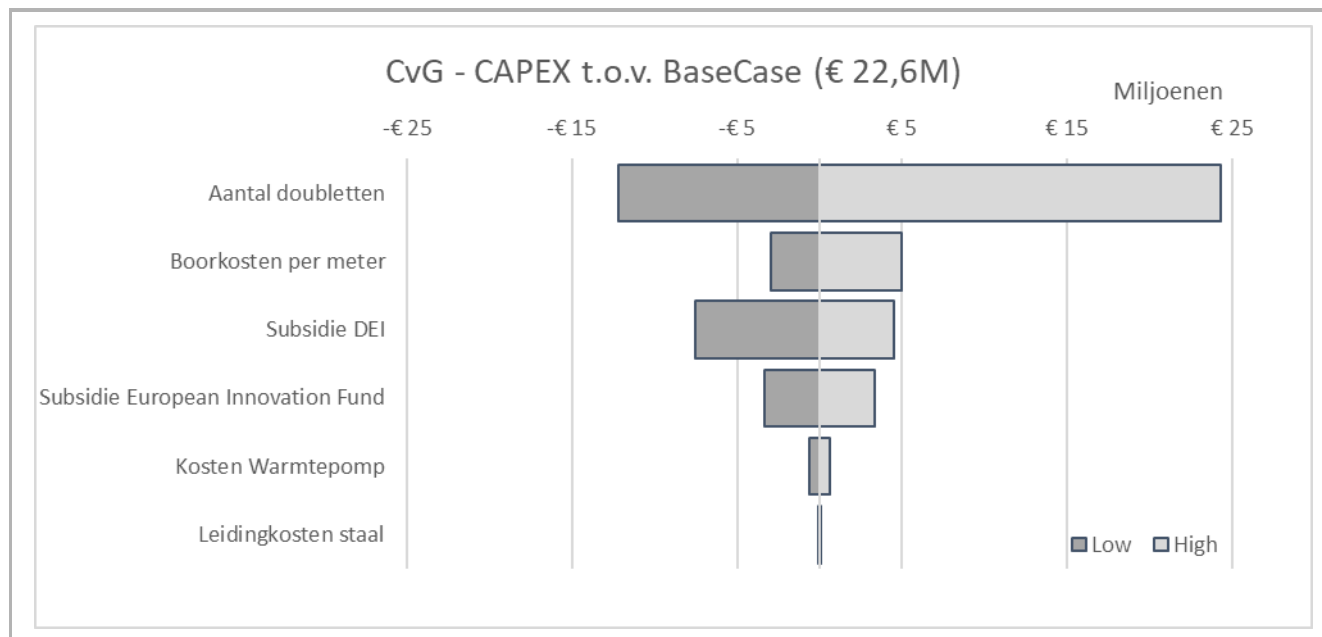
#### Sensitiviteitsanalyse

Om wat meer inzicht in de impact en onzekerheden van de verschillende posten te krijgen is voor een aantal van de belangrijkste parameters een korte sensitiviteitsanalyse gemaakt. Door het variëren van één parameter kan het effect (positief of negatief) op de businesscase in kaart worden gebracht. In tabel 5.17 staan deze parameters en hun low-, base- en high-case-waarden genoemd. In figuur 5.10 staat een tornadografiek, waarbij de parameters met de meeste impact van boven naar onder staan genoemd.

Tabel 5.17: Crown van Gelder - sensitiviteit CAPEX

| Parameter  | Low-case | Base-case | High-case |
|--|----------|-----------|-----------|
| Aantal doubletten  | 1        | 2         | 4         |
| Boorkosten (€ per verticale meter boren)                             | € 1.200  | € 1.500   | € 2.000   |
| Kosten warmtepomp (€ per kW vermogen)                                | € 350    | € 400     | € 450     |
| CAPEX European Innovation Fund (als % van de totale CAPEX)           | 20%      | 10%       | 0%        |
| DEI subsidie (als % van het maximale DEI-subsidiebedrag à € 15 mln.) | 100%     | 50%       | 20%       |
| Leidingkosten staal (kosten per strekkende meter)                    | € 600    | € 700     | € 800     |

**Figuur 5.10: Crown van Gelder - sensitiviteit CAPEX**



Uit de analyse blijkt dat het aantal doubletten de grootste impact heeft op de CAPEX, gevolgd door de boorkosten per meter. Het aantal doubletten is vooral een ontwerpkeuze en daardoor goed te controleren. De boorkosten zijn erg afhankelijk van marktprijzen en de technische complexiteit van de boringen. Hierover is pas in een later stadium met meer zekerheid iets over te zeggen. Na de eerste boring valt een groot deel van de onzekerheid van de bodemopbouw weg, waardoor de daaropvolgende boringen wellicht goedkoper kunnen worden uitgevoerd. Ook de mogelijke subsidies, en dan vooral de DEI, kunnen een erg grote impact hebben op de uiteindelijke CAPEX. Het is ook de vraag of een project met twee doubletten genoeg Europese impact heeft om aanspraak te maken op de subsidie uit het European Innovation Fund.

#### 5.4.1.2 Operationele kosten (OPEX)

In tabel 5.18 staat het overzicht van de geschatte OPEX, met daarin ook een aantal aannames en kengetallen die dienen als basis voor de berekeningen.

**Tabel 5.18: OPEX (jaarlijks)**

| Overzicht van de verwachte OPEX                           | Kosten        |                    |
|---|---------------|--------------------|
| <b>Kenmerken geothermie project</b>                       |               |                    |
| Vollasturen   | 6.000         | -                  |
| Geleverde hoeveelheid stoom per doublet                   | 8,14          | ton/uur            |
| Kosten elektriciteit                                      | € 0,05        | /kWh               |
| COP bronpompen  | 17            | -                  |
| COP warmtepompen  | 3,4           | -                  |
| Looptijd projectrente                                     | 15            | jaar               |
| <b>Vaste lasten</b>                                       | <b>Totaal</b> | <b>€ 2.098.761</b> |
| O&M geothermische installatie                             | € 1.158.160   |                    |
| O&M warmtepompen  | € 404.668     |                    |
| Onderhoud & bedienen leidingwerk (1,5% van investering)   | € 10.500      |                    |
| Rente over investering (4,0% jaarlijks, looptijd 15 jaar) | € 525.433     |                    |
| <b>Variabele kosten</b>                                   | <b>Totaal</b> | <b>€ 1.171.234</b> |

| Overzicht van de verwachte OPEX     | Kosten        |                    |
|-------------------------------------|---------------|--------------------|
| Elektriciteitsverbruik bronpompen   | € 292.905     |                    |
| Elektriciteitsverbruik warmtepompen | € 878.329     |                    |
|                                     |               |                    |
|                                     | <b>Totaal</b> | <b>€ 3.269.996</b> |

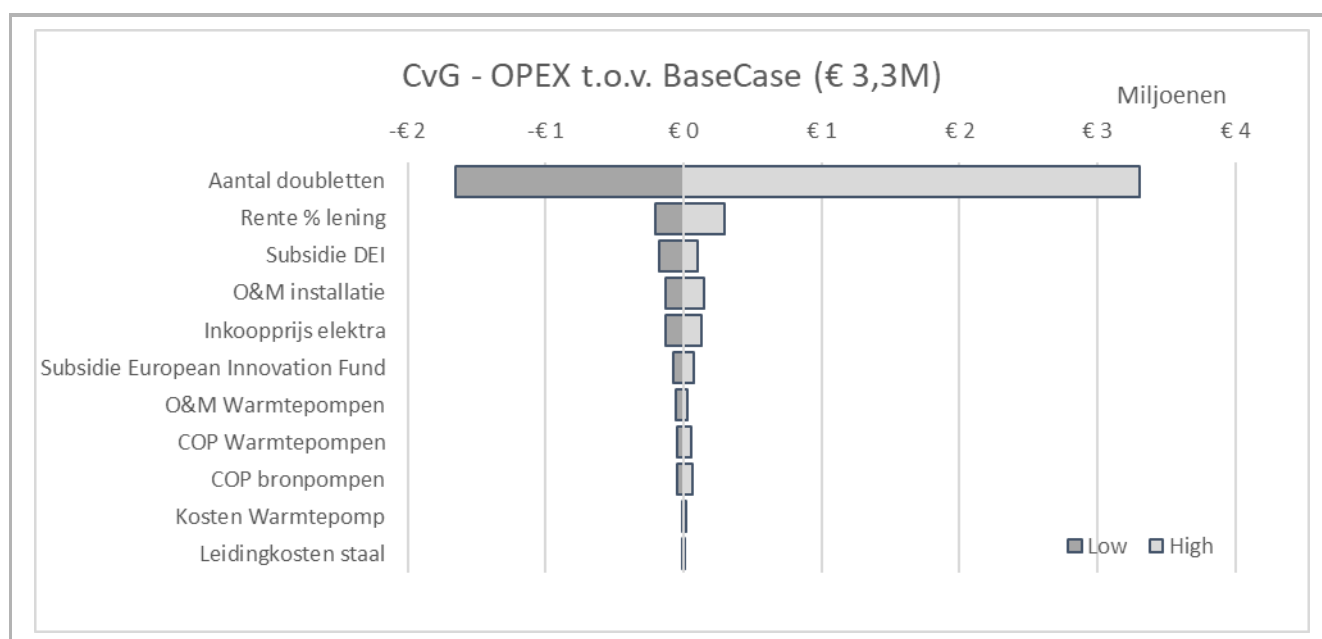
De jaarlijkse vaste lasten voor Operate & Maintain zijn ingeschat op kengetallen van de kosten per kW opgesteld thermisch vermogen. Door het grote vermogen van de installatie, is dit de grootste kostenpost. Ook het elektriciteitsverbruik van de warmtepompen is erg hoog, dit is het resultaat van de bodemopbouw. Doordat er niet direct stoom gewonnen kan worden, moeten de warmtepompen erg veel energie aan het grondwater toevoegen om de faseverandering van vloeistof naar stoom te bewerkstelligen.

### Sensitiviteitsanalyse

Tabel 5.19: Crown van Gelder - sensitiviteit OPEX

| Parameter   | Low-case | Base-case | High-case |
|---|----------|-----------|-----------|
| Aantal doubletten   | 1        | 2         | 4         |
| Rente % lening jaarlijks, op basis van looptijd van 15 jaar     | 2,50%    | 4,00%     | 6,00%     |
| O&M installatie (€ per kW thermisch vermogen)                   | € 110    | € 124     | € 140     |
| Inkooprijds elektra (€ per kWh)                                 | € 0,04   | € 0,05    | € 0,06    |
| CAPEX European Innovation Fund (als % van de totale CAPEX)      | 20%      | 10%       | 0%        |
| COP bronpompen  | 20       | 17        | 14        |
| COP warmtepompen  | 3,6      | 3,4       | 3,2       |
| O&M warmtepompen (€ per kW thermisch vermogen)                  | € 32     | € 37,40   | € 40      |
| DEI sub (als % van het maximale DEI-subsidiebedrag à € 15 mln.) | 100%     | 50%       | 20%       |
| Leidingkosten staal (kosten per strekkende meter)               | € 600    | € 700     | € 800     |
| Kosten warmtepomp (€ per kW vermogen)                           | € 350    | € 400     | € 450     |

Figuur 5.11: Crown van Gelder - sensitiviteit OPEX



Ook voor de OPEX is het aantal doubletten uiteraard van groot belang. De spreiding in de andere parameters, behalve de rente op de lening voor de financiering, is echter relatief klein te noemen ten opzichte van de

basecase van € 3,3 mln. per jaar. Het rentepercentage is hier gevarieerd tussen 2,5 tot 6,0%. Wanneer het rentepercentage oploopt tot 8%, neemt de jaarlijkse rentekosten toe met circa € 0,6 mln., naar € 3,9 mln. De berekeningen van bijvoorbeeld het rentebedrag en het onderhoud van de installaties zijn afhankelijk van de CAPEX-investering. Hierdoor komen deze posten ook in de sensitiviteitsanalyse van de OPEX naar voren.

### 5.4.1.3 Jaarlijkse inkomsten

De opbrengsten uit het geothermieproject komen ook in de vorm van besparingen, maar toch zijn er een tweetal directe inkomsten op te merken: inkomsten uit de levering van restwarmte aan een lokaal of regionaal warmtenet en de inkomsten uit de SDE++ subsidie voor Diepe geothermie. Voor de inkomsten van de levering van restwarmte is uitgegaan van een energieverlies van 10%. De besparingen die opgevoerd kunnen worden zijn de vermeden kosten voor het conventioneel opwekken van stoom en de vermeden CO<sub>2</sub>-kosten.

Tabel 5.20: jaarlijkse inkomsten

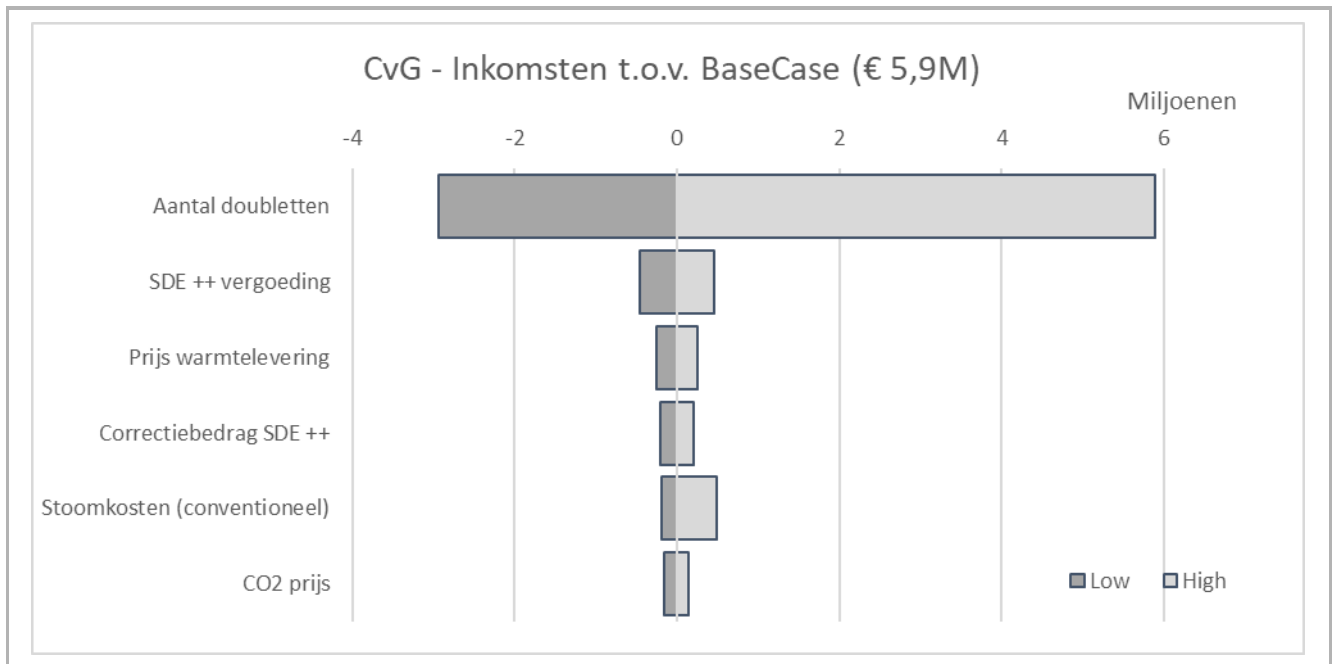
| <b>Overzicht van de jaarlijkse inkomsten</b>                           |               |                    |
|--|---------------|--------------------|
| <b>Kenmerken geothermie project</b>                                    |               |                    |
| Geleverde stoom per doublet  | 8,14          | ton/uur            |
| Geleverd stoomvolume totaal  | 16,28         | ton/uur            |
| Geschatte kosten stoom (conventioneel)                                 | € 15          | /ton               |
| Geleverd vermogen stadswarmte (restwarmte (75°C --> 40°C ))            | 9.340         | kW                 |
| Vollasturen  | 6.000         | uur                |
| CO <sub>2</sub> -prijs (te betalen bij uitstoot)                       | € 46          | /ton               |
|  |               |                    |
| <b>Inkomsten levering aan lokaal/regionaal warmtenet</b>               | <b>Totaal</b> | <b>€ 907.848</b>   |
| <b>Inkomsten uit subsidie</b>  | <b>Totaal</b> | <b>€ 2.801.700</b> |
| SDE ++ Diepe geothermie  | € 2.801.700   |                    |
| Overig (niet bekend)   | € -           |                    |
|  |               |                    |
| <b>Vermeden kosten</b>   | <b>Totaal</b> | <b>€ 2.171.095</b> |
| Vermeden jaarlijkse stoomkosten bij conventionele opwekking            | € 1.465.200   |                    |
| Vermeden CO <sub>2</sub> -kosten - o.b.v. € 46/ton (10 jaar prijspeil) | € 705.895     |                    |
|  |               |                    |
|  | <b>Totaal</b> | <b>€ 5.880.643</b> |

### Sensitiviteitsanalyse

Tabel 5.21: Crown van Gelder - sensitiviteit jaarlijkse inkomsten

| <b>Parameter</b>   | <b>Low-case</b> | <b>Base-case</b> | <b>High-case</b> |
|--|-----------------|------------------|------------------|
| Aantal doubletten  | 1               | 2                | 4                |
| Stoomkosten (conventioneel € per ton stoom)                | 20              | 15               | 13               |
| SDE ++ vergoeding (€ per kW thermisch vermogen)            | € 0,0500        | € 0,0455         | € 0,0410         |
| Prijs warmtelevering (€ per kWh)                           | € 0,023         | € 0,018          | € 0,013          |
| Correctiebedrag SDE ++ (€ per kW thermisch vermogen)       | € 0,0160        | € 0,0180         | € 0,0200         |
| CO <sub>2</sub> -prijs per uitgestoten ton CO <sub>2</sub> | € 55            | € 46             | € 36             |

Figuur 5.12: Crown van Gelder - sensitiviteit jaarlijkse inkomsten



De geschatte jaarlijkse inkomsten voor het project zijn, naast het aantal gerealiseerde doubletten, vooral afhankelijk van de SDE++-vergoeding. Dit is in lijn met de verwachtingen. De huidige consensus in markt is dan ook dat zonder SDE++-subsidie, geothermieprojecten (nog) niet rendabel zijn. De genomen CO<sub>2</sub>-prijs per uitgestoten ton is op basis van een 10-jarig prijspeil, maar de verwachting is wel dat deze prijs in de toekomst nog erg kan toenemen. Wanneer uitgegaan wordt van een CO<sub>2</sub>-prijs van € 150,- per ton, stijgen de jaarlijkse inkomsten naar € 7,5 mln. en valt de terugverdientijd terug van 8,65 naar 5,37 jaar.

#### 5.4.1.4 Kosten-batenanalyse en terugverdientijd

Voor grote projecten binnen de industrie zijn de kosten en de baten uiteraard van belang, maar vaak staat of valt een investeringsbeslissing met de terugverdientijd. In tabel 5.22 zijn de financiële kosten en baten onder elkaar gezet om, op basis van een looptijd van de CAPEX-lening van 15 jaar, de terugverdientijd te berekenen. De berekende stoomkosten bij geothermie, uitgaande van complete afschrijving van de CAPEX en aflossen van de lening in 15 jaar, zijn circa € 10,91 per ton stoom. In de huidige basecase, met een CAPEX van circa € 22,5 mln. en jaarlijkse opbrengsten van circa € 2,6 mln., komt de terugverdientijd ongeveer 8,65 jaar. Hierbij wordt door het geothermiesysteem jaarlijks ruim 97.000 ton stoom geleverd, wat een verduurzaming van de stoomvraag van 33% betekent. De totale CO<sub>2</sub>-besparing, gebaseerd op de vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot bedraagt circa 15.000 ton CO<sub>2</sub>.

Tabel 5.22: kosten-batenanalyse en terugverdientijd

| <b>Kosten-batenanalyse en terugverdientijd</b>                      |               |                    |
|---|---------------|--------------------|
| <b>Kosten per ton stoom (over 15 jaar productie) met geothermie</b> |               | <b>€ 10,91</b>     |
| CAPEX   | € 22.575.557  |                    |
| OPEX  | € 3.269.996   |                    |
| Jaarlijkse inkomsten  | € 3.709.548   |                    |
| Stoomvolume (ton /jaar)   | 97.680        |                    |
| Looptijd project (jaar)   | 15            |                    |
| <b>Jaarlijkse stoomkosten bij conventionele opwekking</b>           |               |                    |
|   | <b>Totaal</b> | <b>€ 1.465.200</b> |
| Geschatte kosten stoom (per ton)                                    | € 15          |                    |



| <b>Kosten-batenanalyse en terugverdientijd</b>                         |               |                    |
|--|---------------|--------------------|
| Geleverde hoeveelheid stoom via geothermie (ton / jaar)                | 97.680        |                    |
| <b>Jaarlijkse opbrengsten t.o.v. conventioneel opwekken</b>            | <b>Totaal</b> | <b>€ 2.610.648</b> |
| Jaarlijkse besparing stoomkosten                                       | € 1.465.200   |                    |
| Jaarlijkse inkomsten geothermie project                                | € 3.709.548   |                    |
| Vermeden CO <sub>2</sub> -kosten - o.b.v. €46/ton (10 jaar prijspeil)  | € 705.895     |                    |
| OPEX (jaarlijks)   | € 3.269.996   |                    |
| <b>Terugverdientijd</b>  | <b>8,65</b>   | <b>jaar</b>        |
| CAPEX  | € 22.575.557  |                    |
| Jaarlijkse opbrengsten   | € 2.610.648   |                    |
| <b>Potentiële verduurzaming t.o.v. energievraag</b>                    |               | <b>33%</b>         |
| Energievraag (ton stoom per uur)                                       | 50            |                    |
| Potentiële stoomlevering d.m.v. geothermie (ton stoom per uur)         | 16,28         |                    |
| <b>CO<sub>2</sub>-besparing op jaarbasis (ton per jaar)</b>            |               | <b>15.000</b>      |
| CO <sub>2</sub> -besparing t.o.v. opwekking met aardgas (ton per jaar) |               |                    |
| Aantal ton stoom per jaar met geothermie                               | 97.680        |                    |
| Aardgas verbruik bij conventionele opwekking (m <sup>3</sup> per jaar) | 8.418.000     |                    |
| CO <sub>2</sub> -uitstoot bij conventionele opwekking (ton per jaar)   | 15.000        |                    |

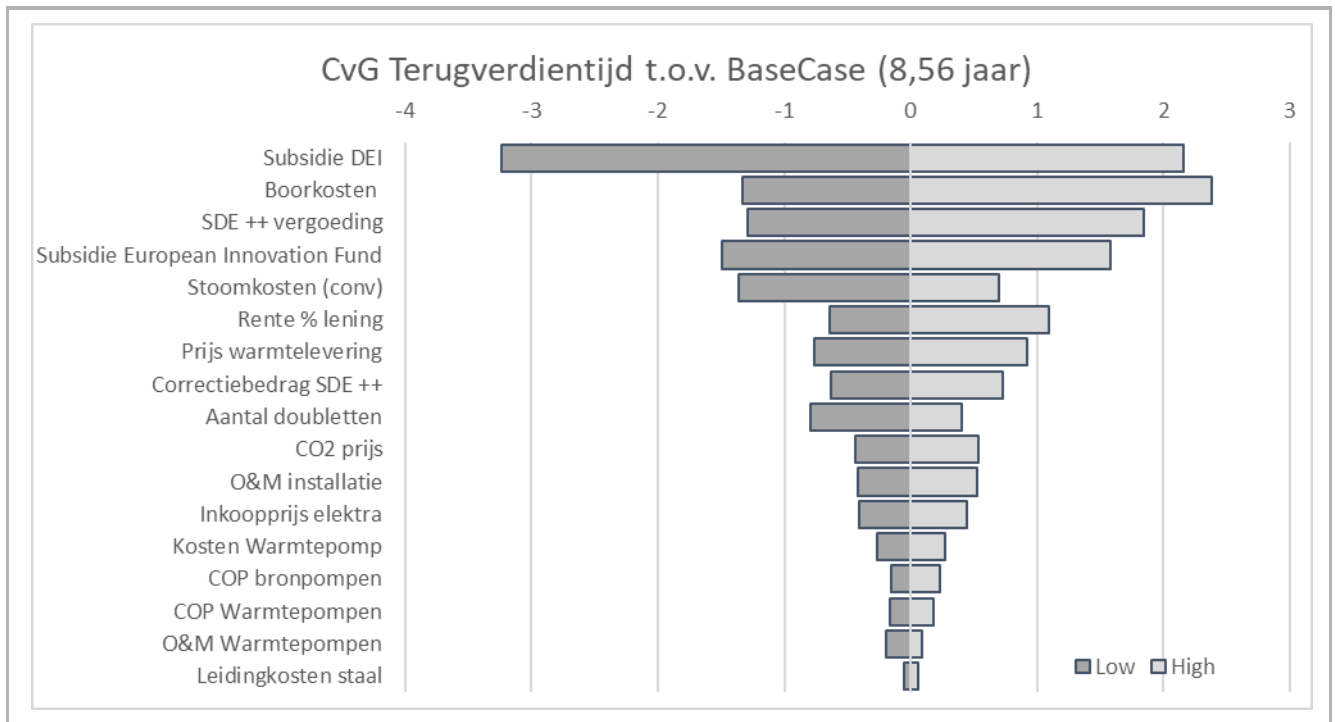
### Sensitiviteitsanalyse

Uit de analyses voor de CAPEX, OPEX en de inkomsten blijkt dat deze onderdelen gevoelig zijn voor verschillende parameters. Door de sensitiviteit voor de terugverdientijd te analyseren worden al deze verschillende onderdelen samengevoegd en ontstaat er een beeld van de parameters die de grootste invloed op een mogelijke investeringsbeslissing hebben. In tabel 5.23 staan alle sensitiviteitsparameters weergegeven en in figuur 5.13 staat de tornadografiek met de resultaten.

**Tabel 5.23: Crown van Gelder - sensitiviteit jaarlijkse inkomsten**

| <b>Parameter</b>  | <b>Low-case</b> | <b>Base-case</b> | <b>High-case</b> |
|---|-----------------|------------------|------------------|
| Aantal doubletten   | 1               | 2                | 4                |
| Stoomkosten (conventioneel € per ton stoom)                     | 20              | 15               | 13               |
| SDE ++-vergoeding (€ per kW thermisch vermogen)                 | € 0,0500        | € 0,0455         | € 0,0410         |
| Prijs warmtelevering (€ per kWh)                                | € 0,023         | € 0,018          | € 0,013          |
| Correctiebedrag SDE ++ (€ per kW thermisch vermogen)            | € 0,0160        | € 0,0180         | € 0,0200         |
| CO <sub>2</sub> -prijs per uitgestoten ton CO <sub>2</sub>      | € 55            | € 46             | € 36             |
| Rente % lening jaarlijks, op basis van looptijd van 15 jaar     | 2,50%           | 4,00%            | 6,00%            |
| O&M installatie (€ per kW thermisch vermogen)                   | € 110           | € 124            | € 140            |
| Inkoopprijs elektra (€ per kWh)                                 | € 0,04          | € 0,05           | € 0,06           |
| CAPEX European Innovation Fund (als % van de totale CAPEX)      | 20%             | 10%              | 0%               |
| COP bronpompen  | 20              | 17               | 14               |
| COP warmtepompen  | 3,6             | 3,4              | 3,2              |
| O&M warmtepompen (€ per kW thermisch vermogen)                  | € 32            | € 37,40          | € 40             |
| DEI sub (als % van het maximale DEI-subsidiebedrag à € 15 mln.) | 100%            | 50%              | 20%              |
| Leidingkosten staal (kosten per strekkende meter)               | € 600           | € 700            | € 800            |
| Boorkosten (€ per verticale meter boren)                        | € 1.200         | € 1.500          | € 2.000          |
| Kosten warmtepomp (€ per kW vermogen)                           | € 350           | € 400            | € 450            |

Figuur 5.13: Crown van Gelder - sensitiviteit terugverdientijd



Als eerste valt op dat er geen grote verschillen zijn met de sensitiviteitsanalyse van de businesscase van Tata Steel. Voor Crown van Gelder zijn ook de boorkosten en de SDE++-vergoeding en de mogelijke subsidie uit het European Innovation fund van groot belang. Het belangrijkste blijkt hier echter de impact van de DEI-subsidie te zijn. Omdat met twee doubletten de CAPEX lager is, speelt het mogelijke DEI-subsidiebedrag een veel grotere rol om de CAPEX-kosten te drukken.

Daaronder zijn de parameters met de meeste impact weergegeven: de conventionele stoomkosten, de rente op de lening en de prijs voor de warmtelevering aan warmtenetten. Hierbij is er wel vanuit gegaan dat er uit 90% van de restwarmte-inkomsten gegenereerd worden. Als deze inkomstenbron weg zou vallen stijgt de terugverdientijd van de basecase naar 15 jaar.

Ook in deze analyse scoort de prijs voor de uitstoot van een ton CO<sub>2</sub> een relatief kleine rol, maar zoals reeds bij de *Jaarlijkse inkomsten* is gemeld, kan het zijn dat deze prijs de komen tien jaar snel oploopt, waardoor de terugverdientijd met ruim drie jaar zou kunnen worden verkort.

Over het algemeen variëren de terugverdientijden tussen de 5,5 en 10,5 jaar, waarbij onze basecase uitgaat van een terugverdientijd van circa 8,6 jaar.

## 6 Oplossingen rond probleemstelling

### 6.1 Algemene doel en probleemstelling

De doelstelling van het project is om via een milieustudie te bepalen of - en in welke combinatie met andere (ondergrondse) technieken – er een businesscase is om geo-energie in te zetten om het genereren van warmte te verduurzamen, alvorens er een pilotproject opgestart kan worden.

Daarom zoeken wij binnen deze studie naar complementaire technieken en hoe deze zowel technisch en economisch samen kunnen komen. Dit heeft gaande het onderzoek nieuwe vraagstukken naar boven gebracht. Waar mogelijk zijn deze vraagstukken beantwoord of zijn ze vertaald naar een concrete lijst met innovatievraagstukken (zie hoofdstuk 7).

## 6.2 Haalbaarheidsvragen

In de vorige vijf hoofdstukken is ingegaan op de verschillende inventarisaties en onderzoeken die gedurende deze studie zijn uitgevoerd met als doel antwoord te kunnen geven op een vijftal haalbaarheidsvragen. Hieronder wordt zover mogelijk op deze vragen antwoord gegeven. Daarnaast wordt aangegeven waar het nog aan kennis ontbreekt en waarbij in een mogelijk vervolg nog aan gewerkt moet worden. Deze laatste twee punten komen in meer detail terug in hoofdstuk 7: Aanbevelingen en innovatievraagstukken.

### 6.2.1 Technisch

*Probleemstelling: Hoe zijn de verschillende productieprocessen aan te sluiten op (een mix van) duurzame energiebronnen?*

Zoals in 5.2.1.3 uiteen is gezet, is de meest realistische aanpak om door een combinatie van geothermie en warmtepompen stoom te genereren. Hierbij wordt het ondergrondse (geothermische) leidingcircuit middels een warmtewisselaar gescheiden van het leidingcircuit waarop de warmtepompen zijn aangesloten. Door dit gescheiden concept is het ook mogelijk om alternatieve (duurzame) energiebronnen voor het opwekken van stoom bij te schakelen. Hierbij moet gedacht worden aan:

- Stoomopwekking middels zon-thermische energie;
- Stoomopwekking uit elektra van bijvoorbeeld zonne- en windparken;
- Stoomopwekking uit waterstof;
- Conventionele stoomopwekking uit aardgas. Hoewel dit geen duurzaam alternatief is, is het met het oog op bedrijfszekerheid waarschijnlijk onontkoombaar om dit tot 2050 wel achter de hand te houden.

Hieronder staan korte beschrijvingen van overige bevindingen op het technische vlak, waarvan een aantal ook terug te vinden zijn in de aanbevelingen voor mogelijke vervolgfases.

#### *Inpassing duurzame alternatieven*

De verwachte stoomvolumes die bij de bedrijven opgewekt kunnen worden is niet voldoende om in de volledige stoomvraag te kunnen voorzien (voor details, zie 6.2.2). In het geval van Tata Steel kan er circa 22% verduurzaamd worden met geothermie, bij Crown van Gelder is dit circa 41%.

Vanwege de geologische complexiteit en het daaruit resulterende extra onderzoek naar de inzet van warmtepompen in een dit scenario is er te weinig tijd over gebleven om in detail te kijken naar de technische inpassing van de hierboven beschreven alternatieven. Wij stellen dan ook voor om hier in een vervolgfase extra aandacht aan te besteden (zie paragraaf 7.1).

#### *Locaties bronnen en technische ruimten*

Voorgesteld wordt dat in het geval van Tata Steel er bij elke bovengrondse boorlocatie een technische ruimte komt waarin, naast bijvoorbeeld ontgassingsinstallaties en eventuele scrubbers voor olie en gas ook warmtewisselaars worden opgesteld. Hiermee wordt voorkomen dat het zeer zoute grondwater over grote afstanden bovengronds moet worden verpompt. Vanuit deze technische ruimtes zal dan het bovengrondse leidingcircuit naar één grote centrale technische ruimte worden geleid, waar de warmtepompen worden opgesteld. De exacte locaties van de boringen en technische ruimte zijn nog niet vastgesteld. Om zo min mogelijk warmteverlies te krijgen wordt wel voorgesteld ruimte met de warmtepompen zo dicht mogelijk bij amine-stripper te plaatsen, mits daar ruimte voor is.

In het geval van Crown van Gelder, zijn de afstanden op het terrein klein en kunnen de bronlocaties, warmtewisselaars en warmtepompen in één ruimte worden ondergebracht. Er is in de beginfase van het project gedacht om één locatie voor de geothermiebronnen en de bovengrondse installaties voor alle deelnemers te kiezen, en om van daaruit een stoomdistributienetwerk op te zetten. Doordat er een groot aantal doubletten nodig is, is het niet mogelijk om vanuit één punt alle boringen te doen. Hiermee vervalt ook de optie om één grote centrale te realiseren.

#### *Detailengineering in vervolgfase*

Op basis van kengetallen en overleg met zowel interne als externe experts is een goede eerste inschatting gemaakt in de haalbaarheid van het installatieconcept. In de verschillende vervolgfases zal hier meer detail aan moeten worden toegevoegd (zie 7.2).

#### *Aminestripper op lage druk*

Uit de geologische analyse is gebleken dat er met conventionele geothermie niet direct stoom gewonnen kan worden op de projectlocatie. Om warmwater op te zetten in stoom op hoge druk is een enorme hoeveelheid energie nodig, die in het huidige installatieconcept door warmtepompen geleverd moet worden. Een alternatief is aan de kant van het productieproces de vraag aan te passen. Aminestrippers kunnen bijvoorbeeld ook op lage druk functioneren, en zelf onderdruk creëren. Wanneer de aminestripper met een vacuüm werkt, kan er op veel lagere temperaturen stoom opgewekt worden. Door op onderdruk stoom te maken, kan het geothermisch vermogen direct ingezet worden en vervalt een (groot) deel van de CAPEX en OPEX die veroorzaakt worden door het moeten gebruiken van warmtepompen. Deze onderzoeksrichting was geen onderdeel van dit onderzoek, maar is een zeer interessant innovatievraagstuk voor de toekomst (zie 7.3).

#### *Lage druk stoom bij Crown van Gelder*

Ook voor de productieprocessen binnen de papierindustrie is het mogelijk om voor bepaalde delen ook lage druk stoom te gebruiken. Hiervoor is wel een grote aanpassing nodig van de installatie die gebruikt wordt om papier te kunnen drogen.

De vraag naar lage druk stoom is lager dan de huidige stoomvraag (8 bar(a)). Het hangt er vanaf van welk drukniveau wordt gekozen. Hoe lager het drukniveau hoe lager het verduurzamingspotentieel, maar hoe hoger de energetische efficiency. Bij een te laag gekozen drukniveau kan een dubbel doublet te groot gedimensioneerd zijn en wordt de business case een stuk slechter. Er lijkt echter wel ruimte voor optimalisatie door een juist drukniveau te kiezen. Wellicht is dan bijvoorbeeld ook geen extra compressie van de stoom nodig, wat weer in de CAPEX scheelt. Dit vergt nader onderzoek van de stoomvraag van Crown van Gelder als functie van het drukniveau.

Omdat in het huidige concept reeds 33% van de stoomvraag verduurzaamd zou kunnen worden is de vraag of dit voor de toekomst een interessante ontwikkelingsrichting is. Wel is dit mogelijk een interessante onderzoeksrichting, zie aanbeveling bij 7.4.

#### *Corrosie in bovengrondse installaties*

De afgelopen jaren is er veel te doen geweest over de problematiek rond putcorrosie bij bestaande geothermiebronnen. De sector heeft dit probleem inmiddels goed opgepakt. Een punt van zorg blijft nog wel het beheersen of voorkomen van corrosie in de bovengrondse installaties en het inschatten hoelang onderdelen als warmtewisselaars efficiënt kunnen blijven functioneren onder invloed van de extreme zoutgehalten en andere opgeloste stoffen die in het formatiewater aanwezig zijn (innovatievraagstuk 7.5).

### 6.2.2 Geologisch

*Probleemstelling: Is er voldoende potentie in de ondergrond om de aan een significant deel van de energievraag te voldoen?*

Uit de inventarisatie uit hoofdstuk 5 (zie 5.2.1.3) is gebleken dat er in het geval van Tata Steel 22 – 27% van de energievraag verduurzaamd kan worden. De potentiële verduurzaming voor Crown van Gelder bedraagt circa 33%. Deze relatief lage potentie is een gevolg van het ontbreken van een mogelijkheid om ultradiepe geothermie te realiseren. Wanneer er direct stoom gewonnen zou kunnen worden, was het goed mogelijk geweest om 100% van de energievraag te verduurzamen. Of deze potentie voldoende reden is voor een vervolg hangt af van de deelnemende bedrijven.

Hieronder staan korte beschrijvingen van overige bevindingen op het geologische vlak, waarvan een aantal ook terug te vinden zijn in de aanbevelingen voor mogelijke vervolgfasen.

#### *Geologische onzekerheden*

De huidige geologische analyse en het nabijgelegen doublet van Floricultura geven veel vertrouwen dat er bij Tata Steel en Crown van Gelder een succesvol geothermieproject in de Slochteren Formatie mogelijk is. Er zijn echter wel een aantal reservoir eigenschappen waarbij de onzekerheid hoog is. Voor een vervolgfase, zeker richting een eventuele aanvraag van een exploratievergunning is van groot belang dat een aantal onzekerheden nader onderzocht worden (zie aanbeveling 7.6).

#### *Geothermische gesloten lussen*

In het onderzoek naar de verschillende typen geothermische systemen kwam het concept van geothermische gesloten lussen naar voren (zie paragraaf 5.1.3). Deze technologie heeft als groot voordeel dat het tijdens exploitatiefase onafhankelijk is van de eigenschappen van het reservoir gesteente; het circulatiemedium stroom immers door een grote afgesloten buis. Hiermee kan een dergelijk systeem dus in principe voor elk gewenst temperatuurniveau ontworpen worden. Wij zien in deze innovatieve technologie grote potentie voor plekken in Nederland waar het ontbreken van geschikt reservoir gesteente conventionele geothermie onmogelijk maakt. Dit maakt geothermische gesloten lussen tot een zeer interessant innovatievraagstuk (zie paragraaf 7.7)

### 6.2.3 Wetgeving

*Probleemstelling: Is er binnen de (lokale) wettelijke kaders voldoende ruimte voor de realisatie van een geo-energie systeem, en waar zitten mogelijke knelpunten?*

Door de opkomst van geothermieprojecten en de beoogde potentie van aardwarmte binnen de energietransitie heeft de overheid de laatste jaren veel geïnvesteerd om de wettelijke kaders voor geothermieprojecten te actualiseren. De wettelijke kaders zijn sinds het voorstel voor het wijzigen van de Mijnbouwwet eind 2020 duidelijker vastgelegd, al zullen er met de komst van de nieuwe Omgevingswet wel een aantal dingen wijzigingen. Over het algemeen is onze verwachting dat de nieuwe Omgevingswet de procedures rond de realisatie van geothermieprojecten iets overzichtelijker maakt.

Naast de geldende wettelijke kaders (zie hoofdstuk 4), zijn er ook een aantal bovenwettelijke initiatieven die de realisatie van geothermieprojecten moeten versoepelen en innovatie en kostenreductie binnen de sector moeten bewerkstelligen. Daarom concluderen wij dat de wettelijke kaders voldoende ruimte bieden voor de realisatie van een geothermiesysteem. De procedures zijn vastgelegd en, ondanks dat de procedures omvangrijk zijn, zien wij vooralsnog geen knelpunten.

### *Opsporingsvergunning HVC: gebied Velsen*

Eén van de vereisten voor het kunnen ontwikkelen van een geothermiebron is het hebben van een vergunning voor het opsporen van aardwarmte. Op dit moment is HVC in bezit van een opsporingsvergunning voor aardwarmte voor het gebied rond Velsen: *gebied Velsen*. Wij adviseren om, ook met het oog op de levering van restwarmte aan regionale warmtenetten, in een mogelijke vervolgfase een intensieve samenwerking met HVC na te streven (zie aanbeveling 7.8).

### **6.2.4 Financieel**

*Probleemstelling: Wat zijn de te verwachten investeringen die nodig zijn voor een dergelijke verduurzaming?*

In hoofdstuk 5, en voornamelijk paragrafen 5.3 en 5.4, is ingegaan op de financiële haalbaarheid van geothermiebronnen bij de deelnemende bedrijven. De uitgewerkte businesscases tonen aan dat de terugverdientijden van 8,5 à 10,5 jaar wel relatief lang zijn in vergelijking met de gebruikelijke terugverdientijden van 5 jaar die vaak op investeringen gehanteerd worden. Het betekent echter wel dat de realisatie een geothermieproject mogelijk is.

In tabel 6.1 staat een kort overzicht van de financiële analyse. Daaronder staan korte beschrijvingen van overige bevindingen op het financiële vlak, waarvan een aantal ook terug te vinden zijn in de aanbevelingen voor mogelijke vervolgfases.

**Tabel 6.1: overzicht financiële analyse - basecases**

| Businesscase     | Aantal doubletten (-) | CAPEX (€ mln.) | OPEX (€ mln.) | Jaarlijkse inkomsten (€ mln.) | Terug-verdientijd (jaar) | Stoom-levering (ton) | Verduurzaming (%) |
|------------------|-----------------------|----------------|---------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------|
| Tata Steel       | 8                     | 104,7          | 13,5          | 14,8                          | 10,49                    | 390.720              | 21%               |
| Crown van Gelder | 2                     | 22,5           | 3,3           | 3,7                           | 8,6                      | 97.680               | 33%               |

### *Subsidiemogelijkheden*

Uit onze analyses is gebleken dat de subsidiemogelijkheden een grote impact hebben op beide businesscases. Daarnaast zijn er nog onduidelijkheden over het mogelijk combineren van verschillende subsidieregelingen. Wij adviseren daarom om in een mogelijke vervolgfase ook extra aandacht te geven aan de subsidiemogelijkheden en hun kans van slagen (zie aanbeveling 7.9).

### *Samenwerking met regionale warmtenetten*

Uit de analyse voor de terugverdientijd is duidelijk geworden dat de geothermieprojecten zonder inkomsten uit warmtenetten kunnen oplopen naar 15 en 19 jaar. Hierdoor zouden de projecten niet rendabel zijn. Voor de levering van restwarmte zal er nauwgezette samenwerking moeten komen tussen de lokale en regionale overheden en investeerders van de geothermieprojecten. Er zijn op dit moment een aantal grote initiatieven voor regionale warmtenetten, die tegen problemen aanlopen. Wij zien dit dan ook als risico voor de financiële haalbaarheid, welke in het vervolgtraject extra aandacht verdient (zie aanbeveling 7.10).

### *Financiële haalbaarheid*

Het is op dit moment zeer de vraag of de deelnemende bedrijven zelf de gevraagde financiële en intellectuele investering kunnen en willen dragen. Zij zien wel potentie in een constructie waarbij een externe partij de realisatie en exploitatie op zich neemt en de deelnemende bedrijven als afnemers fungeren (zie aanbeveling 7.11).

### **6.2.5 Maatschappelijk**

*Probleemstelling: Wat zijn de belangrijkste factoren in het creëren (en behouden) van maatschappelijk draagvlak voor een dergelijk geo-energie project?*

Voor deze haalbaarheidsstudie is het diep ingaan op het creëren van maatschappelijk draagvlak geen kernpunt geweest. Gaande het onderzoek werd duidelijk dat deze fase van het project te vroeg kwam om actief toenadering met de maatschappelijke actoren te zoeken. In paragraaf 2.2 en 2.3 is hier kort aandacht aan besteed; in paragraaf 2.2 op het gebied van de eisen wat betreft de omgeving en in paragraaf 2.3 is ingegaan op een groot deel van de actoren en stakeholders, waaronder de maatschappelijke actoren. In een vervolgfase is het zeker van belang om de omgeving mee te nemen in de plannen en de ontwikkeling daarvan. Zie ook aanbeveling 7.13.

### **6.3 Eisen aan het project vanuit de omgeving**

In paragraaf 2.5 is als onderdeel van de te inventariserende uitgangspunten, ook een aantal 'Eisen aan het project wat betreft de omgeving' gedefinieerd met als opdracht voor deze eisen uit te zoeken hoe deze geborgd worden of kunnen worden. De in paragraaf 2.5 genoemde eisen worden hieronder puntsgewijs behandeld.

#### **6.3.1 Minimale overlast tijdens realisatie en exploitatie**

Voor de realisatie en exploitatie van een geothermieproject is het van essentieel belang dat er maatschappelijk draagvlak gecreëerd wordt en behouden blijft. Hierbij dienen zaken als trillingen tijdens het boren, verzakkingen, stankoverlast, geluidsoverlast, etc. tot een minimum beperkt te worden. Omdat er op grote diepte water wordt onttrokken en geïnjecteerd treden er wat betreft de exploitatie geen effecten zoals zetting op aan de oppervlakte.

Voor het inschatten van de trillingen, geluidsniveaus en eventuele stankoverlast komt deze studie te vroeg. Wij raden dringend aan om in een vervolgfase, wanneer ook meer duidelijk is over de detail-engineering en boorlocaties, hier extra aandacht aan te besteden, zie aanbeveling 7.13.

#### **6.3.2 Betrekken van omwonenden en NGO's**

Zoals reeds besproken in 2.3 en 6.2.5 is het voor deze studie te vroeg om een start te maken met het creëren van een breed (maatschappelijk) draagvlak. De inventarisaties en de bevindingen uit deze studie dienen vooral als basis voor een vervolgfase waarbij, naast het uitwerken van technische en financiële details het maatschappelijke draagvlak een prominente rol in zal gaan nemen (zie ook aanbeveling 7.13).

#### **6.3.3 Bijdrage van het project aan de verduurzaming van de regio**

Er worden plannen gemaakt om in een de ( nabije) toekomst een regionaal warmtenet te ontwikkelen om een deel van de gebouwde omgeving van de gemeenten Velsen en Beverwijk te verduurzamen. Door bijvoorbeeld restwarmte vanuit de geothermische installaties te leveren aan één of meerdere warmtenetten kan een significante bijdrage aan de verduurzaming van de regio worden geleverd.

Uit de thermische berekeningen en de inkomstenberekeningen uit hoofdstuk 5 blijkt dat in het geval van de basecases er jaarlijks aan circa 50.000 MWh door Crown van Gelder en 210.000 MWh door Tata Steel aan restwarmte geleverd zou kunnen worden. In totaal betekent dit circa 908.000 GJ (0,9 PJ) aan energie. Uitgaande van circa 57 GJ per aansluiting, zou er voor bijna 16.000 aansluitingen in de warmtebehoefte kunnen worden voorzien. De vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot bij de levering van 0,9 GJ aan geothermische restwarmte is, op basis van 54,5 kg CO<sub>2</sub> /GJ, circa 49.500 ton CO<sub>2</sub> per jaar.



### **6.3.4 Effecten op omliggende bodemenergiesystemen**

De voorgestelde diepte waarop de geothermiebronnen formatiewater produceren en injecteren is circa 2,5 kilometer onder het maaiveld. Eventuele omliggende open- en gesloten bodemenergiesystemen, welke zich op maximaal 250 meter diepte bevinden, zullen hiervan geen hinder ondervinden. De enige geothermische boring in de regio is op dit moment die van Floricultura in Heemskerk. In paragraaf 5.2.1.2 is berekend dat de voorgestelde bronlocaties van de 10 doubletten, bij 35 jaar productie, geen effect hebben op de onttrekkingstemperatuur en in de productieput van Floricultura.

### **6.3.5 Effecten op ondergrondse zaken**

Naast bodemenergiesystemen mag ook de bodem zelf geen negatieve effecten ondervinden van het realiseren en het langdurig opereren van een geothermie-systeem. Specifiek worden hiermee de grondwaterkwaliteit, grondwaterstromingen en de stijghoogten in de watervoerende pakketten bedoeld. Tijdens de vergunningaanvraag zullen deze zaken specifiek onderzocht worden, maar gezien de diepte waarop het geothermie-systeem opereert zal het diepe formatiewater geen contact hebben met de ondiepe bodemlagen waardoor er geen negatieve gevolgen zullen zijn. Hierbij wordt er wel vanuit gegaan dat zich geen lekkages voordoen. Wanneer dit wel het geval is, kan vooral de impact op de grondwaterkwaliteit enorm zijn. Recent zijn er veel problemen aan het licht gekomen met corrosie en lekkage bij enkelwandig uitgevoerde geothermiebronnen. De huidige industriestandaard moet dergelijke problemen voorkomen en schrijft voor dat geothermiebronnen dubbelwandig uitgevoerd moeten worden en dat er een monitoringssysteem geplaatst wordt. Hierdoor kan er bij eventuele problemen met corrosie snel actie ondernomen worden. Wel is het zo dat corrosiepreventie en detectie over productieperioden van 35 jaar nog extra onderzocht moet worden, zie paragraaf 7.5.

### **6.3.6 Effecten op bovengrondse zaken**

Voor de effecten op de bovengrondse belangen geldt in principe hetzelfde als voor de ondergrondse. Het geothermie-systeem zal volledig afgesloten opereren en geen effect hebben op zaken als zettingsgevoelige objecten, grondwaterafhankelijke natuur en eventuele waterkerende constructies. Deze zaken verdienen wel extra aandacht bij een vergunningaanvraag en bij realisatie, waarbij de risico's zo veel mogelijk beperkt moeten worden. Ook speelt hier het risico op lekkages van formatiewater een grote rol, waardoor het van groot belang is dat de problematiek rond corrosie en lekkages ook bovengronds wordt aangepakt, zie ook paragraaf 7.5.

### **6.3.7 De verwachte levensduur van de installaties en de bronnen**

Standaard wordt er voor een geothermiebron van uitgegaan dat deze over een periode van minstens 35 jaar kan opereren. Deze periode is voor een groot deel afhankelijk van de slijtage van de installatie en het al dan niet voorkomen van thermische kortsluiting. Op basis van de thermische berekeningen, zou het met een ondergrondse bronafstand van 850 meter er na 35 jaar nog geen thermische kortsluiting op moeten treden (zie paragraaf 5.2.1.2). Door slijtage en vooral corrosie van de onderdelen die in contact komen met het formatiewater zullen deze over een periode van 35 jaar waarschijnlijk meer dan eens vervangen moeten worden. In het OPEX deel van de businesscase is hiermee rekening gehouden in de kosten voor Operate & Maintain. Als onderdeel van de aanbeveling op het gebied van corrosie (zie 7.5) moet onderzocht worden hoe vaak specifieke onderdelen als bronpompen, leidingwerk, warmtewisselaars en warmtepompen vervangen moeten worden over een looptijd van 35 jaar. Op basis van deze resultaten, moeten ook de consequenties voor de businesscase in kaart gebracht worden.

## **6.4 Conclusie probleemstelling**

Het voornaamste doel van deze studie, naast het opbouwen en delen van kennis, is om antwoord geven op de vraag: **Is geothermie kansrijk, en op welke manier kan het op de bedrijfslocaties worden ingezet om productieprocessen te verduurzamen?**

Uit de studie is gebleken dat geothermie wel degelijk kans van slagen heeft op de bedrijfslocaties. Door een innovatieve combinatie van warmtepompen en compressoren, gevoed met geothermie kan er stoom worden gegenereerd op de gewenste temperatuur en druk. Door het ontbreken van geschikte reservoirs waaruit direct stoom zou kunnen worden gewonnen, is er veel tijd en aandacht besteed aan het vinden van een installatietechnische oplossing waarbij de opbrengst van de wel aanwezige geothermische potentie kan worden gemaximaliseerd. Hierbij is uitgekomen op een tweetal doubletten voor Crown van Gelder en acht doubletten voor Tata Steel.

#### 6.4.1 Verwachte verduurzaming

De verwachte verduurzaming die met de geothermiesystemen zou kunnen worden bereikt is weergegeven in tabel 6.2. De verwachting is dat er per doublet circa 8,15 ton stoom per uur kan worden opgewekt. Hierbij is uitgegaan van een brondebiet van 175 m<sup>3</sup>/uur en 5,41 MW aan vermogen voor stoomgeneratie. Voor de levering van restwarmte aan regionale warmtenetten is circa 4,76 MW per doublet beschikbaar.

Tabel 6.2: verwachte verduurzaming geothermiesystemen

| <b>Potentiële verduurzaming Tata Steel (8 doubletten)</b>                                   |            |                |
|---|------------|----------------|
| <b>Potentiële verduurzaming t.o.v. energievraag</b>   | <b>22%</b> |                |
| Energievraag (ton stoom per uur)  | 300,00     |                |
| Potentiële stoomlevering d.m.v. geothermie (ton stoom per uur)                              | 65,12      |                |
|   |            |                |
| <b>CO<sub>2</sub>-besparing op jaarbasis (ton per jaar)</b>                                 |            | <b>711.200</b> |
| CO <sub>2</sub> -besparing t.o.v. opwekking met aardgas (ton per jaar)                      | 60.000     |                |
| CO <sub>2</sub> -die dankzij geothermie wordt afgevangen in de aminestripper (ton per jaar) | 651.200    |                |
|   |            |                |
| <b>Potentiële verduurzaming Crown van Gelder (2 doubletten)</b>                             |            |                |
| <b>Potentiële verduurzaming t.o.v. energievraag</b>   | <b>33%</b> |                |
| Energievraag (ton stoom per uur)  | 50         |                |
| Potentiële stoomlevering d.m.v. geothermie (ton stoom per uur)                              | 16,28      |                |
|   |            |                |
| <b>CO<sub>2</sub>-besparing op jaarbasis (ton per jaar)</b>                                 |            | <b>15.000</b>  |
|   |            |                |
| <b>Potentiële verduurzaming door levering van restwarmte aan gebouwde omgeving</b>          |            |                |
| CO <sub>2</sub> -besparing t.o.v. opwekking van 0,91 GJ met aardgas (ton per jaar)          |            | <b>49.500</b>  |
|   |            |                |
| <b>Totalen</b>  |            |                |
| CO <sub>2</sub> -besparing in deze studie (exclusief aandeel aminestripper) in ton per jaar |            | <b>124.500</b> |
| CO <sub>2</sub> -besparing in deze studie (inclusief aandeel aminestripper) in ton per jaar |            | <b>775.700</b> |
|   |            |                |

De geschatte stoomvolumes kunnen helaas, door de wat tegenvallende geothermische potentie, niet in de volledige energievraag voldoen. Wij zijn echter wel van mening dat een dergelijke constante bron van stoom (uitgaande van 6.000 vollasturen per jaar) een zeer interessante en solide basis is voor een mix aan duurzame energiebronnen. Hierbij moet ook worden meegenomen dat er simpelweg geen echte alternatieve technologieën beschikbaar zijn die een dergelijke basislast volcontinue kunnen leveren.

#### 6.4.2 Financiële of economische kansen

Uit de businesscases is gebleken dat er grote investeringen nodig zijn; de basecase CAPEX-investering voor de twee projecten is € 22,5 mln. en € 104,7 mln. Uit de analyse voor de OPEX en de opbrengsten is naar voren gekomen dat deze investeringen tussen de 8 à 11 jaar kunnen worden terugverdiend.

De factoren met de grootste impact op de terugverdientijd zijn:

- Ontwikkeling in de boorkosten van de bronnen;
- Onzekerheid in potentiële subsidiebedragen;
- Risico's rond de afzet van restwarmte.

Daarnaast is in de businesscase de prijs voor de uitstoot van CO<sub>2</sub> € 46 per ton aangehouden (10-jarlijks gemiddelde). Het is niet te voorspellen hoe deze prijs zich zal gaan ontwikkelen, de verwachting is dat de prijs richting 2030 en 2050 zal stijgen wat de terugverdientijden drastisch zou kunnen verkorten.

Het is zeer de vraag of de deelnemende bedrijven zelf de gevraagde financiële en intellectuele investering kunnen en willen dragen. Zij zien wel potentie in een constructie waarbij een externe partij de realisatie en exploitatie op zich neemt en de deelnemende bedrijven als afnemers fungeren. In dit scenario zou een dergelijke partij bijvoorbeeld ook (een deel) van de exploitatie van de te ontwikkelen regionale warmtenetten op zich kunnen nemen.

#### ***Niet-technologische factoren***

Gaande het onderzoek werd duidelijk dat vanwege de wat tegenvallende geothermie potentie dat er veel tijd gestoken moest worden in een technische oplossing. Hierdoor is er minder tijd overgebleven voor de niet-technologische factoren. De meest belangrijke van deze factoren zijn wat ons betreft:

- Het creëren en behouden van maatschappelijk draagvlak;
- De relatief lange terugverdientijden voor de investering, al zijn er ook geen goede alternatieve energiebronnen gevonden;
- Het risico op het vinden van mogelijke externe financierende partij;
- Afhangelijkheid van het succesvol realiseren van een regionaal warmtenet om restwarmte aan te leveren.

#### **6.4.3 Opschalingsmogelijkheden en het herhaalpotentieel**

De ontwikkeling van het concept dat het mogelijk maakt om uit een geothermiebron van minder dan 100°C toch op een rendabele manier stoom te genereren heeft wat ons betreft grote potentie voor de industrie in Nederland en wellicht daarbuiten. Omdat de bodem in Nederland complex is en relatief koud, zijn hier nog geen aardlagen gevonden waaruit direct stoom kan worden gewonnen. Met de initiatieven rond ultra diepe geothermie wordt wel geprobeerd om dit te realiseren, maar dit staat nog in de kinderschoenen en zal niet binnen vijf à tien jaar een breed toegepaste techniek worden. Omdat onze aanpak is gebaseerd op de bewezen techniek van conventionele geothermie is deze in Nederland veel breder toepasbaar.

In principe is een studie als deze toe te passen voor alle industriële bedrijven die een stoomvraag willen verduurzamen van minstens 5 à 10 MW.

#### **6.4.4 Bijdrage aan ontwikkeling van haalbaarheidsstudies voor geothermie**

Met de brede opzet van het onderzoek willen wij een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van haalbaarheidsstudies voorafgaand aan het toepassen van geothermie. Via een generiek, breed toepasbaar stappenplan moet de toegankelijkheid van beschikbare en opgedane kennis worden vergroot. Dit stappenplan is terug te vinden in bijlage 4. Wij hopen dat publicatie van ons generiek stappenplan ook andere adviesbedrijven een kans geeft om met haalbaarheidsstudies voor geothermie aan de slag te gaan.

#### **6.4.5 Aanbevelingen en innovatievraagstukken**

Voor de openstaande vragen, problemen waarvoor geen technieken en technologieën beschikbaar zijn of optimalisatie wenselijk is, zijn er aanbevelingen en innovatie-vraagstukken gedefinieerd. Deze zijn terug te vinden in hoofdstuk 7.

#### 6.4.6 Wijzigingen ten opzichte van projectplan

Behoudens de aangepaste planning als gevolg van de COVID-19 uitbraak zijn er geen grote wijzigingen ten opzichte van het originele project plan. Graag hadden wij meer tijd besteed aan het maatschappelijke draagvlak, maar gaande het onderzoek werd duidelijk dat een dergelijke externe communicatie te vroeg zou zijn geweest. Nu de potentie en de (on)mogelijkheden van geothermie bij de deelnemende bedrijven verhelderd zijn, is het wel zaak om voor een eventuele vervolgfase hier extra aandacht aan te besteden. Door de tegenvallende geothermische potentie, is er extra veel tijd gestoken in het uitwerken van een technisch haalbaar concept dat de aanwezige potentie kan maximaliseren. Hierdoor is er helaas minder tijd over gebleven om een aantal van de innovatievraagstukken op te pakken.

#### 6.4.7 De te nemen vervolgstappen van het samenwerkingsverband

Na afloop van de studie zijn er de volgende vervolgstappen gedefinieerd:

- Actie Tata Steel: Intern de resultaten van deze studie bespreken en nagaan of er voldoende potentie is om tot een vervolg over te gaan. Er is afgesproken dat er in Q4 2021 een terugkoppeling zal zijn tussen de deelnemende bedrijven om eventuele vervolgstappen te gaan nemen.
- Actie Crown van Gelder: Intern de resultaten van deze studie bespreken en nagaan of er voldoende potentie is om tot een vervolg over te gaan. Er is afgesproken dat er in Q4 2021 een terugkoppeling zal zijn tussen de deelnemende bedrijven om eventuele vervolgstappen te gaan nemen.
- Actie KWA: Verdere kennisdeling intern en binnen eigen klantenbestand actief zoeken naar bedrijven waarvoor geothermie interessant zou kunnen zijn.
- Actie KWA: KWA maakt twee keer per jaar een bedrijfsblad genaamd KWAdrants, dat naar alle bedrijfsrelaties wordt verstuurd. In de volgende editie zal dit project worden opgenomen, om zo de kennisdeling van dit project te vergroten. Hopelijk leidt dit naast verdere kennisdeling ook tot nieuwe geothermiestudies.
- Actie allen: Plan om bij de verschillende bedrijven platforms van KWA en die van Tata Steel, Crown van Gelder en CMF deze studie te presenteren en ander bedrijven te informeren en enthousiasmeren over de potentie van geothermie binnen de industrie.
- Actie KWA: Contact leggen met de branchevereniging Geothermie Nederland over hun visie op deze studie en het concept rond warmtepompen voor stoomgeneratie
- Actie samenwerkingsverband: het streven is om een zo compleet mogelijk rapport openbaar te maken, dat kosteloos digitaal is op te vragen bij KWA via Alwin ten Hove ([ath@kwa.nl](mailto:ath@kwa.nl)), tel. +31 (0)33 4221361)

## 7 Aanbevelingen en innovatievraagstukken

Lijst met aanbevelingen en innovatie vraagstukken. Deze kunnen zowel voor dit specifieke project van belang zijn als voor de gehele keten.

### 7.1 Innovatie: Inpassing en schakelen tussen duurzame alternatieven

In detail kijken naar de haalbaarheid (en beschikbaarheid) van de inzet van alternatieve duurzame energiebronnen voor stoomopwekking:

- Stoomopwekking middels zon-thermische energie;
- Stoomopwekking uit elektra van bijvoorbeeld zonne- en windparken;
- Stoomopwekking uit waterstof.

Bij het schakelen tussen en/of combineren van zonne- en windenergie, H<sub>2</sub> en geothermie moet onderzocht worden hoe deze bronnen efficiënt ingezet kunnen worden en of dit proces geautomatiseerd kan worden.

### **7.2 Aanbeveling: Detailengineering bovengronds in vervolffase**

Op basis van kengetallen en overleg met zowel interne als externe experts is een goede eerste inschatting gemaakt in de haalbaarheid van het installatieconcept. In de verschillende vervolffasen zal hier meer detail aan moeten worden toegevoegd.

Denk hierbij aan: vaststellen bronlocaties, engineering leidingtracé, dimensionering warmtewisselaars en de warmtepompen. Ook de detailengineering voor de koppeling van geothermische installatie en productieprocessen is hierbij van groot belang.

### **7.3 Innovatie: Aminestripper op lage druk met geothermie**

Wanneer een aminestripper met een vacuüm werkt, kan er op veel lagere temperaturen stoom opgewekt worden. Door op onderdruk stoom te maken, kan het geothermisch vermogen bij temperaturen < 100°C direct ingezet worden en vervalt een (groot) deel van de CAPEX en OPEX die veroorzaakt worden door het moeten gebruiken van warmtepompen. Het inzetten van een aminestripper op lage druk, met conventionele geothermie (< 100°C), kan een zeer interessant concept zijn om CO<sub>2</sub> uit rookgassen te wassen en deze middels CCUS op te slaan.

Voor de haalbaarheid van dergelijk concept is het van belang om de technische details van geothermie-installaties en aminestrippers met onderdruk te onderzoeken en na te gaan of deze technieken te verenigen zijn en op welke schaalgroottes dus zou kunnen werken.

### **7.4 Aanbeveling: Lage druk stoom bij Crown van Gelder**

Ook voor de productieprocessen binnen de papierindustrie is het mogelijk om voor bepaalde delen ook lage druk stoom te gebruiken. Hiervoor is wel een grote aanpassing nodig van de installatie die gebruikt wordt om papier te kunnen drogen.

De vraag naar lage druk stoom is lager dan de huidige stoomvraag (8 bar(a)). Het hangt er vanaf van welk drukk niveau wordt gekozen. Hoe lager het drukk niveau hoe lager het verduurzamingspotentieel, maar hoe hoger de energetische efficiency. Bij een te laag gekozen drukk niveau kan een dubbel doublet te groot gedimensioneerd zijn en wordt de business case een stuk slechter. Er lijkt echter wel ruimte voor optimalisatie door een juist drukk niveau te kiezen. Wellicht is dan bijvoorbeeld ook geen extra compressie van de stoom nodig, wat weer in de CAPEX scheelt. Dit vergt nader onderzoek van de stoomvraag van Crown van Gelder als functie van het drukk niveau.

Omdat in het huidige concept reeds 33% van de stoomvraag verduurzaamd zou kunnen worden is de vraag of dit voor de toekomst een interessante ontwikkelingsrichting is. Wel is dit mogelijk een interessante onderzoeksrichting,

### **7.5 Aanbeveling: Onderzoek naar corrosie in bovengrondse installatie**

De afgelopen jaren is er veel te doen geweest over de problematiek rond putcorrosie bij bestaande geothermiebronnen. De sector heeft dit probleem inmiddels goed opgepakt. Een punt van zorg blijft nog wel het beheersen of voorkomen van corrosie in de bovengrondse installaties en het inschatten hoe lang onderdelen als warmtewisselaars efficiënt kunnen blijven functioneren onder invloed van de extreme zoutgehalten en andere opgeloste stoffen die in het formatiewater aanwezig zijn.

De huidige aanpak van corrosie in geothermieprojecten is vooral gebaseerd op het gebruik van inhibitors die aan het formatiewater worden toegevoegd. Doorgaans brengt het gebruik van inhibitors ook milieुरisico's met zich mee. Mogelijk zijn er op het gebied van corrosiepreventie nog innovaties mogelijk die het gebruik van inhibitors zoveel mogelijk beperken. De installatietechnische onderdelen waarbij deze innovaties toegepast zouden kunnen worden zijn: ontgassingsinstallaties, scrubbers, warmtewisselaars en bronpompen.

Daarnaast moet onderzocht worden hoe vaak specifieke onderdelen als bronpompen, leidingwerk, warmtewisselaars en warmtepompen vervangen moeten worden over een looptijd van 35 jaar. Op basis van deze resultaten, moeten ook de consequenties voor de businesscase in kaart gebracht worden.

### **7.6 Aanbeveling: Onderzoek geologische onzekerheden**

De huidige geologische analyse en het nabijgelegen doublet van Floricultura geven veel vertrouwen dat er bij Tata Steel en Crown van Gelder een succesvol geothermieproject in de Slochteren Formatie mogelijk is. Er zijn echter wel een aantal reservoir eigenschappen waarbij de onzekerheid hoog is. Voorbeelden hiervan zijn bijvoorbeeld de porositeit, de permeabiliteit en de samenstelling van het formatiewater. Een ander vraagstuk blijft de diepte van de bovenkant van de Slochteren Formatie. Deze diepte varieert namelijk door het projectgebied heen en kan vooral in de nabijheid van breuken grote verschillen kennen. Voor een vervolgfase, zeker richting een eventuele aanvraag van een exploratievergunning, is het van groot belang dat een aantal onzekerheden nader onderzocht worden. Hieronder staan een aantal onderwerpen die extra verdieping vragen:

- Nadere analyse van de resultaten van het doublet van Floricultura om de reservoir kwaliteit beter in te schatten;
- Nieuwe seismische analyse van bestaande data om de structuren en de diepte van de Slochteren Formatie beter in kaart te brengen. In de fase richting exploratievergunning zal er zeer waarschijnlijk nieuwe seismische data moeten worden vergaard; Geavanceerdere reservoirsimulaties, met bijvoorbeeld ECLIPSE, om de eventuele interferentie tussen verschillende doubletten te kunnen analyseren. Dit heeft mogelijk gevolgen voor de ondergrondse afstanden tussen de verschillende productie en injectiepunten.

### **7.7 Innovatie: Onderzoek naar Closed-Loop geothermie**

Zoals reeds aangegeven in paragrafen 5.1.3 en 6.2.2 is de innovatieve techniek rond diepe gesloten lussen erg interessant voor plekken in Nederland waar op diepte geen goede reservoirgesteenten aanwezig zijn. Helaas waren de geologische parameters op een diepte van circa 4,5km te onzeker om samen met Eavor Technologies de potentie en de haalbaarheid voor Tata Steel en Crown van Gelder verder te onderzoeken. Vanuit KWA zal er zeker een opvolging komen met Eavor Technologies om te kijken of er binnen het huidige klantenbestand een industriepartner is te vinden voor een haalbaarheidsstudie.

### **7.8 Aanbeveling: Samenwerking met HVC**

Eén van de vereisten voor het kunnen ontwikkelen van een geothermiebron is het hebben van een vergunning voor het opsporen van aardwarmte. Op dit moment is HVC in bezit van een opsporingsvergunning voor aardwarmte voor het gebied rond Velsen: *gebied Velsen*, waar het ook terrein van Tata Steel onder valt. Het terrein van Crown van Gelder valt net buiten de opsporingsvergunning, maar de voorgestelde injectie en onttrekkingspunten vallen wel binnen de grenzen van de vergunning. Uit verkennende gesprekken is duidelijk geworden dat HVC open staat voor een eventuele samenwerking om een geothermieproject te kunnen realiseren. Hierbij zou bijvoorbeeld een deel van de opsporingsvergunning aan de deelnemende bedrijven gegund worden. Ook is het mogelijk om met HVC samen te werken omtrent het leveren van restwarmte aan nog te ontwikkelen warmtenetten. Wij raden aan om bij een vervolgfase een intensieve samenwerking met HVC na te streven.

### **7.9 Aanbeveling: Slagingskansen subsidieaanvragen**

Voor geothermie zijn in Nederland en in Europees verband meerdere subsidiemogelijkheden. Voor het doen van onderzoek naar de haalbaarheid van geothermie kan de TSE gebruikt worden met een maximum bedrag van € 500.000 euro. Voor het ontwikkelen van een demonstratieproject kan de DEI gebruikt worden met een maximum van € 15 mln. In het geval van dit project zou dat neerkomen op het ontwikkelen van het eerste doublet. Simultaan aan de DEI kan ook subsidie aangevraagd worden uit het European Innovation Fund.



Dit fonds bevat ongeveer een miljard euro en wordt bekostigd van de opbrengsten van de ETS. Er is geen maximum gesteld aan het aan te vragen subsidiebedrag. De kansen om subsidie uit het EIF vergroten als er sprake is van een significante reductie in CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Tijdens het uitvoeren van het project en als het is afgerond, kan er beroep worden gedaan op de Energie-investeringsaftrek. Hiermee kan tot 45% van de kosten van de investeringen worden afgetrokken van de winst van de aanvrager.

Als het project warmte levert, kan tevens een beroep worden gedaan op de subsidie Stimulering Duurzame Energietransitie. Deze SDE-subsidie vergoedt de meerkosten die een duurzame energiebron opleveren. Deze subsidie verandert elk jaar en wordt gebaseerd op de vigerende energieprijis. De subsidie kan oplopen tot enkele tientallen miljoenen.

Er moet in een vervolgfase nog wel onderzocht worden in hoeverre de aanvraag van deze subsidies kans van slagen hebben. Ook moet er meer onderzoek gedaan worden naar het mogelijk kunnen combineren van subsidies en of het gegund krijgen één bepaalde subsidie de mogelijkheid op een andere subsidie teniet doet.

#### **7.10 Aanbeveling: Samenwerking met regionale warmtenetten**

Uit de thermische berekeningen en de inkomstenberekeningen uit hoofdstuk 5 blijkt dat in het geval van de basecases er jaarlijks aan restwarmte circa 50.000 MWh door Crown van Gelder en 210.000 MWh door Tata Steel geleverd zou kunnen worden. In totaal betekent dit circa 908.000 GJ (0,9 PJ) aan energie. Afgaande op circa 57 GJ per aansluiting, zou er voor bijna 16.000 aansluitingen in de warmtebehoefte kunnen worden voorzien. Uitgaande van 54,5 kg CO<sub>2</sub> per GJ zou dit een besparing opleveren van 49.500 ton CO<sub>2</sub> per jaar.

Er worden op dit moment door de gemeenten Velsen en Beverwijk plannen gemaakt voor *Warmtenet IJmond*. De stand van zaken eind 2020 is dat de gemeente Velsen en gemeente Beverwijk samen met een aantal wooncorporaties kijken naar opties om op termijn woningen aan te sluiten op een warmtenet. De huidige inschatting is dat daarmee circa 18.000 huizen zouden kunnen worden verward. Dit lijkt goed aan te sluiten op de verwachte restwarmte die bij de geothermieprojecten vrij zou kunnen komen.

Voor de levering van restwarmte zal er dus nauwgezette samenwerking moeten komen tussen de lokale en regionale overheden en investeerders van de geothermieprojecten. Er zijn op dit moment helaas een aantal grote initiatieven voor regionale warmtenetten die tegen problemen aanlopen. Wij zien dit dan ook als risico voor de financiële haalbaarheid, welke in het vervolgtraject extra aandacht verdient. In een vervolgfase moeten in ieder geval de volgende vragen beantwoord worden:

- Wat zijn de plannen en wensen van de betrokken gemeenten en woningcorporaties?
- Welke investeringen zijn er nodig om een regionaal warmtenet op te zetten?
- In hoeverre hebben deze investeringen een impact op de businesscase van de geothermieprojecten?
- Is er een goede match tussen de aangeleverde en de gevraagde restwarmte? Denk hierbij aan mogelijk warmteverlies bij transport, temperatuurniveaus en hoeveelheden (zie ook 7.12).
- Wat is de beste (technische) oplossing om het bovengrondse leidingwerk (dus na de warmtewisselaars) aan te sluiten op het warmtenet.

#### **7.11 Aanbeveling: Externe realisatie en exploitatie**

Het is zeer de vraag of de deelnemende bedrijven zelf de gevraagde financiële en intellectuele investering kunnen en willen dragen. Zij zien wel potentie in een constructie waarbij een externe partij de realisatie en exploitatie op zich neemt en de deelnemende bedrijven als afnemers fungeren. In dit scenario zou een dergelijke partij bijvoorbeeld ook (een deel) van de exploitatie van de te ontwikkelen regionale warmtenetten op zich



kunnen nemen. Onze aanbeveling is dan ook om de resultaten van deze studie met externe partijen te delen om hun visie op dit project en de (financiële) haalbaarheid te krijgen.

### **7.12 Innovatie: Seizoensopslag restwarmte met HTO**

In Nederland wordt reeds geëxperimenteerd met hoge temperatuur opslag in de ondiepe ondergrond. De ontwikkelingen in dit veld gaan gestaag verder. Een grote zorg bij ecologen is het verstoren van het ondergrondse milieu. Een warmer milieu zou kunnen resulteren in een snellere ontwikkeling van de microbiologische organismen. Hierdoor is HTO tot een diepte van de Formatie van Breda vaak niet toegestaan, met uitzondering van pilotprojecten. Een dergelijk pilotproject is te vinden bij het tuinbouwbedrijf Koppert-Cress in het kader van het Europese project HEATstore. Hier wordt maximaal 45°C geïnfiltrerd via het bestaande open bodemenergiesysteem. Uit een evaluatie van het pilotproject van KWR blijkt dat er geen verhoogde groei van organismen is waargenomen. Opgemerkt dient te worden dat alle extra opgeslagen warmte tegen het einde van de winter was opgebruikt en de onttrekkingstemperatuur 1°C boven de achtergrondtemperatuur lag. Er is in dit geval geen sprake van een continue overschrijding van de wettelijk toegestane maximale temperatuur van 25°C.

De warmtevraag van de gebouwde omgeving fluctueert met de seizoenen en met de dag/nachtcyclus. Echter is geothermie een basisvoorziening van warmte die lastiger aan te passen valt aan de vraag, zeker de dagelijkse fluctuatie. HTO kan deze fluctuatie (deels) opvangen door de opslagcapaciteit van de bodem te gebruiken als een soort accu. Voor geothermieprojecten in de gebouwde omgeving is het onderzoeken van HTO een aanbeveling om de geproduceerde warmte optimaal te benutten.

### **7.13 Aanbeveling: Maatschappelijke samenwerkingen**

In een vervolgfase is het van groot belang om de omgeving mee te nemen in de plannen en de ontwikkeling daarvan. Communicatie is belangrijk voor het creëren en behouden van maatschappelijk draagvlak: communicatie zowel met het bevoegd gezag als de omgeving. Omwonenden hebben bijvoorbeeld gehoord van de problematiek in Groningen. Zij koppelen deze problematiek ook aan geothermie. Het is dan belangrijk om deze zorgen serieus te nemen en bewoners te informeren over de overeenkomsten en de verschillen en op welke wijze de (milieu)-risico's worden beheerst. Ook is het zorgen voor participatie omschreven in de regelgeving en de Gedragscode die opgesteld is door DAGO. Met het creëren van draagvlak dient in een eventuele vervolgfase mee begonnen te worden door het opstellen van een maatschappelijk plan van aanpak. Een groot onderdeel hiervan zal gericht zijn op communicatie. Ook kan er gedacht worden aan het kiezen voor mogelijk aanvullende overlast-mitigerende maatregelen die niet verplicht zijn. Denk hierbij aan reduceren van trillingen, geluids- en stankoverlast. Participatie kan ook verhoogd worden door men zich verbonden te laten voelen met het project door bijvoorbeeld eigenaarschap.

## **Bijlage 1: Overzicht geothermieprojecten in Nederland**

**Tabel 7.1: overzicht gerealiseerde geothermieprojecten in Nederland**

| Project                   | Categorie* | Vermogen (MW)   | Temperatuur (°C)          | Diepte (m)     | Extra informatie                  |
|---------------------------|------------|-----------------|---------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Agriport A7               | GTB        | 14              | 92                        | 2.250          |                                   |
| Het Grootslag Andijk      | GTB        | 14              | 92                        | Ca. 2.000      |                                   |
| Hoogweg Aardwarmte        | GTB        | 15              | 78                        | 1.800          | 350 m <sup>3</sup> /uur           |
| Aardwarmte Koekoekspolder | GTB        | 7,4             | 73                        | 1.950          |                                   |
| Floricultura Heemskerk    | GTB        | 10              | 100                       | 2.700 – 2.900  |                                   |
| Greenbrothers Zevenbergen | GTB        | 6-9             | 25-45<br>(+warmtepomp>70) | 500 – 1.250    | Lage<br>Temperatuur<br>Aardwarmte |
| Haagse Aardwarmte Leyweg  | GO         | 7               | 76                        | >2.000         |                                   |
| Van den Bosch 3 & 4       | GTB        | 7,3             | 70                        | 1.800          | 130 m <sup>3</sup> /u             |
| Van den Bosch 1 & 2       | GTB        | 9               | 60                        | 1.600          |                                   |
| Wayland Energy            | GTB        | 18              | 67                        | 2.000          | 400 m <sup>3</sup> /u             |
| Ammerlaan TGI             | GTB en GO  | 7               | 70                        | >2.000         |                                   |
| Duijvestijn               | GTB        | 8               | 70                        | 2.300 en 2.950 |                                   |
| Aardwarmte Vogelaer       | GTB        | 18              | 85                        | 2.500          |                                   |
| Green Well Westland       | GTB        | 11,5            | 85                        | 3.000          | 180 m <sup>3</sup> /u             |
| Nature's Heat             | GTB        | 16              | 85                        | 2.500          |                                   |
| Trias Westland 2          | GTB en GO  | 15              | 90                        | 2.300          |                                   |
| Trias Westland 1          | GTB        | 25-45           | 90                        | 2.300          |                                   |
| Geothermie De Lier        | GTB        | 16              | 87                        | 2.400          |                                   |
| GeoPower Oudcamp          | GTB        | 18              | 95                        | 2.800          |                                   |
| Duurzaam Voorne           | GTB        | Nog<br>onbekend | Nog onbekend              | Nog onbekend   | Najaar 2021 in<br>productie       |
| Aardwarmte Vierpolders    | GTB        | 16              | 82                        | 2.200          |                                   |

\*GTB staat voor glastuinbouw, GO staat voor gebouwde omgeving

**Tabel 7.2: overzicht geothermieprojecten in ontwikkeling in Nederland**

| Projecten                            | Categorie* | Opsporingsvergunning | Overige informatie                                |
|--------------------------------------|------------|----------------------|---|
| Warmte van Leeuwarden                | GO         | Ja                   | 25 MW, 92°C, proefboring juli-augustus            |
| Aardwarmte Combinatie<br>Luttelgeest | GTB        | Ja                   | Triplet, 1.800 meter, medio 2021<br>ingebruikname |
| Geothermie Zwolle                    | GO         | Ja                   | 5 MW, 80°C  |
| Aardwarmte Castricum                 | GO         | Nee                  |   |
| Aardwarmte voor Almere               | GO         | Aangevraagd          |   |
| Haarlem - Schalkwijk                 | GO         | Ja                   |   |
| Aardwarmte regio Eemland             | GO         | Ja                   | 160.000 huizen, 72 putten                         |
| Rotterdamse Haven                    | GO         | Ja                   |   |
| Warmtebron Utrecht                   | GO         | Ja                   |   |
| Aardwarmte in de Vallei              | GO         | Ja                   |   |
| Geothermie Delft                     | GO         | Ja                   |   |
| Aardwarmteproject Polanen            | GTB        | Ja                   | 12 - 18 MW, 2.300 meter, SDE is binnen            |
| Aardwarmteproject Maasdijk           | GTB        | Ja                   | 40 - 60 MW, 2.900 meter, SDE is binnen            |

\*GTB staat voor glastuinbouw, GO staat voor gebouwde omgeving

## **Bijlage 2: Input voor 1D doubletberekening**

**Doublet Calculator v1.4.3 (1D) inputgegevens basecase**

| Geotechnische input  | Min.    | Mean    | Max.    | Bron   |
|--|---------|---------|---------|--|
| <b>Aquifer eigenschappen</b>   |         |         |         |  |
| Permeabiliteit (mD)  | 20      | 65      | 280     | Inschattingen via ThermoGIS, op de locatie van Floricultura in Heemskerk   |
| Net to gross (-)   | 0,9     | 0,95    | 1,00    | ThermoGIS, op projectlocatie   |
| Gross dikte (m)  | 150     | 170     | 190     | ThermoGIS, op projectlocatie   |
| Top-diepte bij productieput (-NAP)   | -       | 2.500   | -       | Combinatie van NLOG, Thermogis en rapportages van de boringen van Floricultura in Heemskerk  |
| Top-diepte bij Injectieput (-NAP)  | -       | 2.500   | -       | Dieptes van onttrekkingspunt en injectiepunt vooralsnog gelijk gehouden  |
| Zoutgehalte formatiewater (ppm)  | 130.000 | 150.000 | 160.000 | Wateranalyse van SGS bij boring Heemskerk-GT-01-S2, met conversie van mg/l naar ppm  |
| Kh/kv ratio (-)  | 2       | 3,5     | 20      | <a href="https://www.nlog.nl/sites/default/files/tno2015%20r10799%20radial%20drilling_final_public.pdf">https://www.nlog.nl/sites/default/files/tno2015%20r10799%20radial%20drilling_final_public.pdf</a> en gemiddelde waarde op basis van ThermoGIS                                |
| Temperatuur aan het maaiveld (°C)  | -       | 10      | -       | Algemene aanname   |
| Geothermische gradiënt (°C/m)  | -       | 0,031   | -       | Gemiddelde gradiënt in Nederland, maar wordt overschreven door de reservoir temperatuur (zie hieronder)  |
| Temperatuur midden in aquifer, ter hoogte van de productieput (°C) <sup>1</sup>  | -       | 98      | -       | ThermoGIS en rapportages Floricultura Boringen   |
| Initiële druk in het reservoir ter hoogte van de productieput (bar) <sup>1</sup> | -       | 256     | -       | Inschatting op basis van eerdere berekeningen in Doublet Calculator  |
| Initiële druk in het reservoir ter hoogte van de injectieput (bar) <sup>1</sup>  | -       | 256     | -       | Inschatting op basis van eerdere berekeningen in Doublet Calculator  |
| <b>Doublet en pomp-eigenschappen</b>   |         |         |         |  |
| Uitgangstemperatuur Warmtewisselaar (°C)   | -       | 75      | -       | Zelf gekozen waarde. Is een resultaat van afweging tussen een hoger geothermisch vermogen en het overhouden van een redelijke COP voor de hoge temperatuur warmtepompen. Voor de berekening van het totale vermogen (incl. warmtelevering) is de uitgangstemperatuur op 40°C gesteld |
| Putafstand op reservoir interval (m)   | -       | 850     | -       | Gevolg van iteratief modelleren met thermische kortsluitstromingsmoment in DoubletCalc2D   |
| Efficiëntie pompsysteem (-)  | -       | 0,61    | -       | Standaard waarde Doublet Calculator  |
| Diepte bronpomp (productieput) (m-mv)  | -       | 1.000   | -       | Gelijkgesteld aan diepte van floricultura bron   |
| Drukverschil bronpomp (bar)  | -       | 75      | -       | Als gevolg van het Protocol injectiedrukken bij aardwarmte van TNO   |
| <b>Puteigenschappen</b>  |         |         |         |  |
| Onderverdeling putsegmenten (m)  | -       | 50      | -       | Standaardwaarde Doublet Calculator   |
| Buitendiameter productieput (inch)   | -       | 6,625   | -       | Standaardwaarde Doublet Calculator   |
| Skin factor productieput   | -       | 0       | -       | Geen extra putstimulatie opgenomen   |
| Penetratiehoek productieput in aquifer (deg)                                     | -       | 45      | -       | Gangbare maximale penetratiehoek   |

| Geotechnische input                         | Min. | Mean  | Max. | Bron   |
|---|------|-------|------|--|
| Buitendiameter injectieput (inch)           | -    | 6,625 | -    | Standaardwaarde Doublet Calculator             |
| Skin factor injectieput                     | -    | 0     | -    | Geen extra putstimulatie opgenomen in basecase |
| Penetratiehoek injectieput in aquifer (deg) | -    | 45    | -    | Gangbare maximale penetratiehoek               |

<sup>1</sup>Optioneel voor de berekeningen in Doublet Calculator 1D

#### Lay-out productieput

| Segment # | Segment sectie (m – Along Hole) | Segment sectie (m – True Vertical Depth) | Binnendiameter pijp (inch) | Pijp roughness (mili-inch) |
|-----------|---------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| 1         | 500                             | 500                                      | 20,0                       | 1,2                        |
| 2         | 1.054                           | 1.054                                    | 12,38                      | 1,2                        |
| 3         | 1.930                           | 1.833                                    | 8,50                       | 1,2                        |
| 4         | 2.678                           | 2.505                                    | 6,13                       | 1,2                        |

#### Lay-out infiltratieput

| Segment # | Segment sectie (m – Along Hole) | Segment sectie (m – True Vertical Depth) | Binnendiameter pijp (inch) | Pijp roughness (mili-inch) |
|-----------|---------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| 1         | 500                             | 500                                      | 20,00                      | 1,2                        |
| 2         | 1.054                           | 1.054                                    | 12,38                      | 1,2                        |
| 3         | 1.930                           | 1.833                                    | 8,50                       | 1,2                        |
| 4         | 2.678                           | 2.505                                    | 6,13                       | 1,2                        |

## **Bijlage 3: Input voor 2D doubletberekeningen**



## Input Doublet Calc 2D: Aquifer

| Input Aquifer                                | Advanced Settings          | Input Wells                               | Well Results                              | Grid Results                        |
|--|----------------------------|---|---|-------------------------------------|
| <b>REGION OF INTEREST</b>                    |                            |   |   |                                     |
| xmin   | 99600.0 m                  | nx  | 75.0 -                                    |                                     |
| xmax   | 106000.0 m                 | ny  | 75.0 -                                    |                                     |
| ymin   | 497000.0 m                 |   |   |                                     |
| ymax   | 503700.0 m                 |   |   |                                     |
| grid geometry                                | <input type="radio"/> none | <input checked="" type="radio"/> use grid | <input type="button" value="view"/>       |                                     |
| <b>AQUIFER PROPERTIES</b>                    |                            |   |   |                                     |
| initial temperature                          | 100.0 C                    | <input type="radio"/> none                | <input checked="" type="radio"/> use grid | <input type="button" value="view"/> |
| aquifer depth                                | 2500.0 m                   | <input type="radio"/> none                | <input checked="" type="radio"/> use grid | <input type="button" value="view"/> |
| (cell) thickness                             | 170.0 m                    | <input type="radio"/> none                | <input checked="" type="radio"/> use grid | <input type="button" value="view"/> |
| porosity                                     | 0.12 -                     | <input type="radio"/> none                | <input checked="" type="radio"/> use grid | <input type="button" value="view"/> |
| net to gross                                 | 0.95 -                     | <input type="radio"/> none                | <input checked="" type="radio"/> use grid | <input type="button" value="view"/> |
| actnum                                       | 1.0 -                      | <input type="radio"/> none                | <input checked="" type="radio"/> use grid | <input type="button" value="view"/> |
| permeability in xdir                         | 65.0 mDarcy                | <input type="radio"/> none                | <input checked="" type="radio"/> use grid | <input type="button" value="view"/> |
| permeability in ydir                         | 65.0 mDarcy                | <input type="radio"/> none                | <input checked="" type="radio"/> use grid | <input type="button" value="view"/> |
| water salinity                               | 150000.0 ppm               |   |   |                                     |
| <b>CALCULATION SETTINGS</b>                  |                            |   |   |                                     |
| time end production                          | 35.0 yrs                   |   |   |                                     |
| time end analysis                            | 40.0 yrs                   |   |   |                                     |
| output interval                              | 1.0 yrs                    |   |   |                                     |
| output/calculation interval after production | 250.0 yrs                  |   |   |                                     |

## Input Doublet Calc 2D: Advanced Settings

| Input Aquifer                      | Advanced Settings                  | Input Wells | Well Results | Grid Results |
|------------------------------------|------------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| <b>ADVANCED AQUIFER PROPERTIES</b> |                                    |             |              |              |
| storage capacity                   | 1.0E-9 m <sup>3</sup> Pa-1         |             |              |              |
| water conductivity                 | 0.6 W K-1 m-1                      |             |              |              |
| temperature dependent viscosity    | <input type="button" value="yes"/> |             |              |              |
| viscosity                          | 0.001 Pa s                         |             |              |              |
| temperature dependent density      | <input type="button" value="yes"/> |             |              |              |
| <b>ADVANCED ROCK PROPERTIES</b>    |                                    |             |              |              |
| rock conductivity                  | 4.0 W K-1 m-1                      |             |              |              |
| heat capacity                      | 1000.0 J kg-1 K-1                  |             |              |              |
| rock density                       | 2700.0 kg m-3                      |             |              |              |
| Young's modulus                    | 9.0E9 Pa                           |             |              |              |
| Poisson's ratio                    | 0.35 -                             |             |              |              |
| compaction coefficient             | 1.0E-5 bar-1                       |             |              |              |
| thermal compaction coefficient     | 2.0E-5 C-1                         |             |              |              |

## **Bijlage 4: Generiek stappenplan haalbaarheid geothermie**

| Onderwerp   | Belangrijkste punten   |
|---|--|
| <b>Inventarisatie uitgangspunten:</b>                         |  |
| Bedrijf en locatie  | Omschrijving van het bedrijf, de locatie, en de omgeving.  |
| Uitgangspunten bedrijfsproces                                 | Productieproces beschrijven; waar kan geothermie voor worden ingezet. Zijn er specifieke eisen? Voorbeeld: is de retourstroom van condensaat vervuild of niet?   |
| Energetische uitgangspunten                                   | Hoeveel warm water (m <sup>3</sup> /uur) of stoom (ton /uur) is er nodig?<br>De gevraagde temperatuur in °C.<br>De gevraagde druk in bar (a).<br>Het geschatte (thermische) vermogen dat nodig is in kW of MW.<br>Aantal vollasturen.<br>Is er hoog piekvermogen nodig of gaat het om basislast?   |
| Eisen vanuit de omgeving                                      | Omwonenden, andere bedrijven, natuur, etc.   |
| Financiële uitgangspunten                                     | Wat zijn de verwachtingen en de aspiraties van het bedrijf?<br>Wil het bedrijf zelf investeren? Wat zijn de eisen voor een investeringsbeslissing?   |
| Lijst met actoren en stakeholders                             | Breng alle stakeholders en actoren in beeld en geef aan, wanneer toepasbaar, wat hun invloed is op het project en hoe hiermee omgegaan dient te worden om het succes van het project te vergroten.   |
| <b>Inventarisatie ondergrond en omgeving:</b>                 |  |
| Ondiepe bodemopbouw (< 500m-mv)                               | Beschrijven van de geohydrologische situatie en de bodemopbouw. Met hierin aandacht voor de mate van doorlatendheid of de scheidende werking.  |
| Diepe bodemopbouw (> 500m-mv)                                 | Beschrijven van de geologische bodemopbouw, gebruik hierbij bijvoorbeeld de Hiërarchische Stratigrafische Nomenclator zoals die is te vinden op DINOloket.nl.  |
| Inschatten geothermische potentie                             | Geef per pakket een indicatie van de geothermische potentie; geen, laag, redelijk, goed of hoog.   |
|   | Maak per reservoir met redelijk tot hoge potentie een inschatting van de volgende reservoir-eigenschappen. Deze zijn vervolgens in te voeren in 1D DoubletCalc om de thermische potentie te berekenen.   |
|   | Permeabiliteit (mD).<br>Net to gross (-).<br>Gross dikte (m).<br>Top-diepte bij productieput (-NAP).<br>Top-diepte bij Injectieput (-NAP).<br>Zoutgehalte formatiewater (ppm).<br>Kh/kv ratio (-).<br>Temperatuur aan het maaiveld (°C).<br>Geothermische gradiënt (°C/m).<br>Temperatuur midden in aquifer, ter hoogte van de productieput (°C).<br>Initiële druk in het reservoir ter hoogte van de productieput (bar).<br>Initiële druk in het reservoir ter hoogte van de injectieput (bar). |
| <b>Inventarisatie wettelijke kaders en subsidieregelingen</b> |  |
| Wettelijke kaders   | Ga na of er wijzigingen zijn in de wettelijke kaders; Mijnbouwwet, Omgevingswet  |
| Subsidieregelingen  | Ga na welke subsidieregelingen van toepassing kunnen en hoe ze werken. Probeer ook na te gaan deze regelingen zijn te stapelen of dat de ene subsidie de andere bijvoorbeeld uitsluit.   |
| <b>Uitwerken geothermische potentie</b>                       |  |
| Type geothermiesysteem  | Bepaal welk type systeem met meest interessant is: conventioneel, conventioneel met stoomopwekking, gesloten lus of ultra diep.  |

| Onderwerp  | Belangrijkste punten  |
|--|---|
| Bereken de geothermische potentie  | <p>Bereken per doublet de geothermische potentie (met en zonder eventuele restwarmtelevering aan warmtenetten). Dit kan op dit moment het beste met DoubletCalc van TNO.</p> <p>Bij meerdere of nabijgelegen doubletten, kan een eerste inschatting van mogelijke interferenties worden gemaakt met Doubletcalc 2D van TNO. Deze tool is ook te gebruiken om te kijken welke putafstanden er minstens nodig zijn.</p> <p>Het overzicht van de thermische potentie kan er ongeveer zo uitzien:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aantal doubletten (-)</li> <li>- Aantal boringen (-)</li> <li>- Debiet per doublet (m<sup>3</sup>/uur)</li> <li>- Geothermisch vermogen per doublet voor stoom (MW)</li> <li>- Vermogen voor stoomgeneratie per doublet (incl. warmtepomp) (MW)</li> <li>- Geothermisch vermogen per doublet voor gebouwde omgeving (MW)</li> <li>- Vollasturen (-)</li> <li>- Geleverde stoom per doublet (ton/uur)</li> <li>- Temperatuurtraject geothermie (stoomgeneratie) (°C)</li> <li>- Temperatuurtraject geothermie (restwarmte) (°C)</li> <li>- Totaal geleverde energie per jaar (kWh)</li> </ul> |
| <b>Uitwerken financiële businesscases</b>  |   |
| Per scenario of per reservoir  | <p>CAPEX – realiseren bronnen, installaties, leidingwerk, verzekeringen, subsidies.</p> <p>OPEX – vaste lasten en variabele kosten, zoals onderhoud en elektriciteit.</p> <p>Jaarlijkse inkomsten – uit subsidies, vermeden kosten t.o.v. conventionele opwekking, inkomsten uit restwarmtelevering.</p> <p>Kosten-baten analyse en terugverdientijd</p>  |
| Sensitiviteitsanalyse  | <p>Neem bijvoorbeeld 15 à 20 parameters die een relatief grote invloed lijken te hebben op de CAPEX, OPEX of de inkomsten. Geeft voor al deze parameters een geschatte bandbreedte en analyseer het effect op de businesscase. Dit geeft een inschatting van de financiële parameters die in een vervolgfase extra aandacht verdienen.</p>  |
| <b>Beschrijven van openstaande vragen, aanbevelingen en onderzoeksrichtingen</b> |   |
| Technisch vlak   | Beschrijf de openstaande vragen, aanbevelingen en onderzoeksrichtingen op verschillende vlakken.  |
| Geologisch vlak  |   |
| Wetgevend vlak   |   |
| Financieel vlak  |   |
| Maatschappelijk vlak   |   |
| <b>Conclusie</b>   |   |
|  |   |

Uw specialist.  
Nu én overmorgen.



KWA Bedrijfsadviseurs B.V.  
Regentesselaan 2  
Postbus 1526  
3800 BM Amersfoort

t 033 422 13 00  
e [desk@kwa.nl](mailto:desk@kwa.nl)  
[www.kwa.nl](http://www.kwa.nl)

Rabobank Amersfoort  
NL86RABO0372977669  
KvK Gooi en Eemland 320 69286