

**TNO-rapport NITG 05-009-A**

## Haalbaarheidsstudie Aardwarmtewinning voor de gebiedsontwikkeling Groningen-Meerstad

Princetonlaan 6  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T 030 2564600  
F 030 2564605  
[info@nitg.tno.nl](mailto:info@nitg.tno.nl)

|                 |   |
|-----------------|---|
| Datum           | 24 januari 2005                           |
| Auteur(s)       | Ad Lokhorst, mmv Martin Marquering (Nuon) |
| Exemplaarnummer |   |
| Oplage          |   |
| Aantal pagina's | 24  |
| Aantal bijlagen |   |

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vernenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2005 TNO

## Colofon

Deze haalbaarheidsstudie is uitgevoerd onder de regeling Ondersteuning Transitie Coalities en via SenterNovem gesubsidieerd door het Ministerie van Economische Zaken.

Projectnummer: 5005-03-20-01-045

Penvoerder: Gemeente Groningen

Partners: Energy Valley, Nuon, Provincie Groningen en N.V. Nederfdlandse Gasunie

## Inhoudsopgave

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding.....</b>                                   | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Aarde als warmtebron.....</b>                        | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>Aardwarmte uit de ondergrond van Groningen .....</b> | <b>9</b>  |
| <b>4</b> | <b>De toekomstige warmtevraag in Groningen .....</b>    | <b>13</b> |
| <b>5</b> | <b>Locatie van het doublet .....</b>                    | <b>15</b> |
| <b>6</b> | <b>Haalbaarheid.....</b>                                | <b>17</b> |
| 6.1      | Kosten aspecten .....                                   | 17        |
| 6.2      | Kosten aanleg aardwarmtebronnen.....                    | 17        |
| 6.3      | Globale financiële haalbaarheid.....                    | 19        |
| <b>7</b> | <b>Conclusies &amp; Aanbevelingen.....</b>              | <b>21</b> |
| <b>8</b> | <b>Epiloog .....</b>                                    | <b>23</b> |
| <b>9</b> | <b>Literatuur .....</b>                                 | <b>24</b> |

# 1 Inleiding

Dit rapport behandelt een haalbaarheidsstudie naar aardwarmtewinning uit de Slochteren Zandsteen ten behoeve van de geplande stadsuitbreiding Groningen Meerstad. Dit haalbaarheidsonderzoek is uitgevoerd in het kader van het subsidieprogramma transitie onderzoek warmte van SenterNovem.

Door SenterNovem is in maart 2004 aan TNO-NITG gevraagd in hoeverre de ondergrond van Groningen mogelijkheden biedt voor de winning van aardwarmte. Een eerste quick scan gaf aan dat in de ondergrond van Groningen aquifers voorkomen die geschikt zouden kunnen zijn voor aardwarmtewinning, echter met de kanttekening dat deze aquifers eveneens dienst doen als het reservoir gesteente waarin het Groningen gasveld zich bevind.

De gemeente Groningen heeft vervolgens TNO-NITG gevraagd om:

- globaal een nadere analyse van de mogelijke waterproductie en de omvang van de bijbehorende warmteproductie uit zanden van de Slochteren Formatie uit te voeren,
- een indicatie te geven van de ligging van een aardwarmte-douplet (zowel de bovengrondse winninglocatie als de ondergrondse locatie van het doublet), mede gelet op een mogelijke interferentie met het Groningen gasveld,
- een globale kostenraming te maken voor de realisatie van een aardwarmte project.

Om op bovenstaande vragen een antwoord te geven is het volgende onderzoek uitgevoerd:

- Op basis van bestaande gegevens is een inventarisatie gemaakt van de onder Groningen voorkomende watervoerende lagen en de voor aardwarmtewinning belangrijkste kenmerken van de watervoerende lagen zijn uitgezocht,
- Het in kaart brengen van de verwachte warmtevraag in de nabije toekomst
- Het aangeven van een mogelijke locatie van een doublet, gelet op de locaties van de warmtevraag en de kenmerken van de ondergrond, in het bijzonder de ligging van het Groningen gasveld,
- Het berekenen van de globale investeringskosten.

Dit rapport volgt de bovengenoemde onderzoeksopzet. Voor een nadere begripsbepaling gaat hier een overzicht met enkele belangrijke begrippen over aardwarmte aan vooraf.

## 2 Aarde als warmtebron

De aarde is een voortdurende bron van warmte. In een aantal vulkanische gebieden zoals in Italië en IJsland wordt al vele eeuwen warmte gewonnen uit warmtebronnen die direct aan het aardoppervlak liggen. Dit komt in Nederland niet voor.

Het is echter ook mogelijk om dieper gelegen aardwarmtebronnen te benutten. De temperatuur in de aardkorst neemt namelijk toe met de diepte, in de Nederlandse bodem ongeveer  $30^{\circ}$  Celsius per kilometer. Rekening houdend met een gemiddelde jaartemperatuur aan de grond van ongeveer  $10 - 15^{\circ}$ , betekent dit dat de temperatuur op drie kilometer diepte tot meer dan  $100^{\circ}$  Celsius kan oplopen.

Als bron dient het warme water dat opgeslagen ligt in watervoerende lagen die op deze diepten kunnen voorkomen. Deze watervoerende lagen zijn in nagenoeg de gehele ondergrond van Nederland aanwezig. Echter bij de winning van aardwarmte zijn grote hoeveelheden warm water nodig. Voor een economisch rendabele aardwarmte installatie is het daarom noodzakelijk dat de watervoerende lagen voldoende doorstroming hebben om de minimaal benodigde hoeveelheid formatiewater te produceren, bv ongeveer  $4000 - 5000 \text{ m}^3$  per dag. Deze hoeveelheid is bijvoorbeeld nodig voor de verwarming van ongeveer 3500 - 4000 woningen.

### *Doorstroming:*

De doorstroming van een watervoerende laag zoals zandsteen of kalksteen, is afhankelijk van de doorlatendheid (permeabiliteit) en de dikte van de laag. Om een voldoende hoeveelheid water ( $150-250 \text{ m}^3/\text{u}$ ) te kunnen produceren (en injecteren) zonder dat daarvoor een te grote hoeveelheid pompenergie benodigd is, dient de doorstroming van de te exploiteren watervoerende laag tenminste 15 Dm te bedragen (waarbij Darcy (D) een eenheid is voor permeabiliteit en meters voor de dikte van de laag).

Daar komt nog bij dat de doorlatendheid en dikte in een zeker evenwicht met elkaar moeten zijn om voldoende doorstroming te krijgen. In Duitsland, waar geologisch vergelijkbare omstandigheden als in Nederland voorkomen, gaat men er vanuit dat de dikte van de producerende laag ten minste 50 meter en de permeabiliteit van de formatie ten minste  $0,3 \text{ D}$  bedraagt, samen 15 Dm.

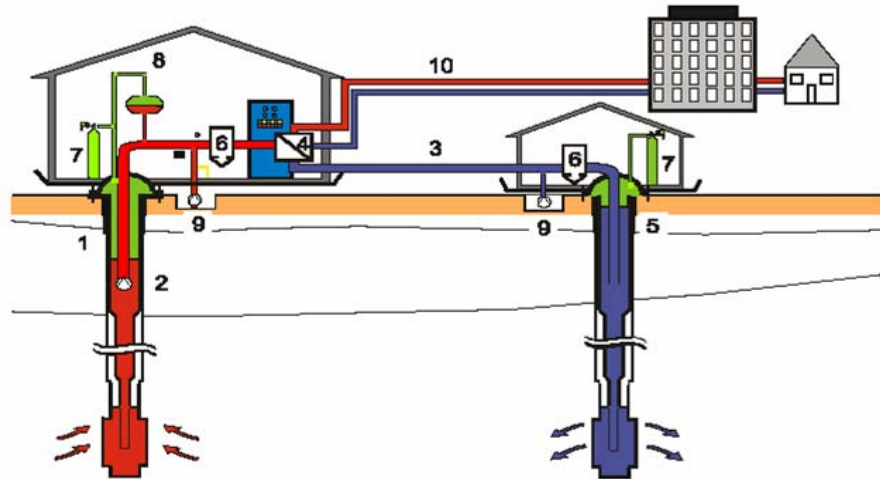
Om die reden zijn niet alle aanwezige watervoerende lagen geschikt voor het winnen van aardwarmte. De meest geschikte lagen voor het winnen van geothermische energie in Nederland zijn de diep gelegen aquifers in de verschillende soorten zandsteen in Noord-Nederland, Zuid-Holland en Noord-Brabant.

In deze reservoirgesteenten wordt behalve water eveneens olie en/of gas aangetroffen. De olie- en gasmaatschappijen in Nederland beschikken dan ook over ruime kennis van deze gesteenten.

### *Het proces van aardwarmtewinning*

Het principe van de aardwarmtewinning wordt weergegeven in figuur 1.

Het warme water wordt via een productie put omhoog gepompt uit de aquifer, doorloopt vervolgens een warmtewisselaar en wordt na het afstaan van de warmte via een injectieput weer teruggepompt.



Figuur 1. Het principe van aardwarmtewinning

Het terugpompen van het afgekoelde water is noodzakelijk omdat het geproduceerde formatie water in het algemeen een hoog zout gehalte heeft en om die reden lozing aan het oppervlak niet wordt toegestaan. Bovendien wordt door de injectie de druk in de aquifer op peil gehouden.

Het opnieuw terugvoeren van het gewonnen water heeft ook een aantal nadelen. In de eerste plaats moet pomp capaciteit worden ingezet om het water terug te pompen. Het injectie proces zelf verloopt ook niet zonder risico. Vooral weinig verkittete zandsteen reservoirs die rijk zijn aan kleimineralen, zijn soms gevoelig voor verstopping tengevolge van de migratie van fijne deeltjes en verstopping door in het formatiewater zwevende deeltjes. Verstopping van een injectieput, vermindert de doorlatendheid. Dit heeft weer tot gevolg dat de benodigde druk om het water te injecteren verhoogd moet worden waardoor de elektriciteitskosten van de injectiepomp toenemen en de rentabiliteit van de geothermische installatie afneemt.

#### *Puttdoublet*

De productie- en injectieput vormen samen een zogeheten puttdoublet. Meestal worden zij vanuit één locatie schuin geboord, waardoor de boorgat lengte enkele honderden meters langer wordt. De ondergrondse afstand tussen de productieput en de injectieput is meestal zo groot dat het koudere water uit de injectieput de productieput niet eerder bereikt dan na ongeveer 30 jaar. Het tijdstip waarop het koudefront de productieput bereikt, heet de doorbraaktijd. Deze doorbraaktijd is afhankelijk van de geproduceerde hoeveelheid water, de onderlinge afstand op einddiepte tussen productie- en injectieput, de porositeit en de dikte van de aquifer. Vanaf dit tijdstip arriveert nog niet volledig opgewarmd injectiewater in de productieput en neemt de temperatuur van het gewonnen warme water geleidelijk

af. De exploitatie kan dan nog worden voortgezet totdat de productietemperatuur een kritische ondergrens bereikt heeft.

In de praktijk bedraagt de afstand tussen de putten tussen de 1200 en 1500 meter.

#### *De aardwarmtecentrale*

Bij de aanleg van een doublet komt eerst de keuze en aanleg van de boorlocatie en benodigde infrastructuur aan bod, gevolgd door de constructie van een boorplatform waarop de boorinstallatie kan worden geplaatst. Voor deze tijdelijke boorlocatie is ongeveer 100 x 100 m. ruimte nodig. Het permanente ruimtebeslag is echter beperkt tot de putlocatie van niet meer dan 10x10 m. en een gebouw waarin de warmtewisselaar en pieklastketel worden ondergebracht.

Daarna start het boren van twee gedeveerde putten. De putten worden verbuisd (casing) om instorten van de boorgatwand te voorkomen. Tussen buizen en gesteente wordt een cementslurry geïnjecteerd die uithardt. Om te voorkomen dat tijdens de productie zanddeeltjes worden meegepompt wordt de put op reservoir niveau voorzien van een filter en zonodig een gravel pack. Dit verhoogt eveneens de stabiliteit van het boorgat. In de buis wordt een productieput neergelaten. Deze kan aan de binnenzijde voorzien zijn van een kunststof coating om corrosie te voorkomen.

Vervolgens wordt een elektrische onderwaterpomp neergelaten in de productieput, die ongeveer 3 tot 5 jaar mee gaat. Zo nodig wordt een speciale leiding aangebracht die corrosiewerend materiaal op de putwanden kan spuiten.

Het bovengrondse gedeelte omvat een serie componenten die worden ondergebracht in een bovengrondse behuizing. De belangrijkste hiervan zijn:

- variabele frequentieregelaar ten behoeve van de elektrische onderwaterpomp die de afregeling van het putdebiet mogelijk maakt
- warmtewisselaars waarmee de warmte van het geothermische circuit wordt overgebracht op het warmtedistributienetwerk
- pompen voor de circulatie in het distributienetwerk
- zo nodig filters voor de verwijdering van zand, fijne deeltjes en eventuele corrosiedeeltjes om verstopping in de injectieput tegen te gaan
- een injectiepomp en doseerinstallatie voor corrosie-inhibitoren (optioneel)

Soms worden in de aardwarmtecentrale ook een warmtekrachtinstallatie, buffers, een warmtepomp en/of pieklastketel opgesteld.

Vanuit de aardwarmtecentrale wordt het warme water via een warmtetransportnet naar de woningen gevoerd. In de woningen wordt een warmtemeter geïnstalleerd die het warmtegebruik van de woning registreert. Dit deel van de warmtelevering is hetzelfde als warmtelevering uit andere bronnen dan aardwarmte, zoals uit WKK of uit restwarmte.

#### *Het vermogen van doublet*

Het thermische vermogen ( $W_{th}$ ) van een doublet is het product van het waterdebiet ( $q$ ), de warmtecapaciteit van het formatiewater (het product van soortelijke warmte ( $c_v$ ) en dichtheid ( $\rho$ )) en de afkoeling van het geothermische water ( $\Delta T$ ):

$$W_{th} = q \times \rho \times c_v \times \Delta T$$

(met  $W_{th}$  in kW,  $q$  in  $m^3/s$ ,  $\rho$  in  $kg/m^3$ ,  $c_v$  in  $J/kgK$  en  $\Delta T$  in  $^{\circ}C$ ).

Bij een debiet van  $200 m^3/uur$ , een warmtecapaciteit van  $4.452 \cdot 10^6 J/m^3K$  en een uitkoeling van  $80^{\circ}C$  naar  $40^{\circ}C$  bedraagt het vermogen daarom  $10 MW_{th}$ .

#### *Het gebruik van aardwarmte:*

Het thermische vermogen van een doublet is niet alleen afhankelijk van de opgeslagen hoeveelheid warmte in de aquifer en het debiet van het geproduceerde water maar vooral ook van het verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur. Hoe groter het verschil tussen productie- en injectietemperatuur, hoe hoger de warmteopbrengst. Een goede manier om dat te bereiken is het toepassen van cascadeprincipe waarbij verschillende typen verwarmingselementen in volgorde van afnemende aanvoertemperatuur aaneen worden geschakeld: conventionele radiatoren, lage-temperatuur convectoren en vloerverwarmingssystemen. Eventueel kan een warmtepomp het nog relatief warme retourwater nogmaals naar een hoger temperatuurniveau transformeren.

Een voorbeeld is de stadsverwarming met aardwarmte in de Parijse voorsteden Chevilly-Larue en l'Hay-les-Roses. Het energiebedrijf biedt zijn klanten warmte aan op drie temperatuurniveaus:  $103^{\circ}$ ,  $72^{\circ}C$  en  $49^{\circ}$  Celsius. De retourtemperatuur is niet hoger dan  $35^{\circ}C$ .

In het buitenland wordt aardwarmte vaak ingezet als basislastvoorziening met een thermisch vermogen van 30 tot 35 procent van de aansluitwaarde. Dit percentage noemt men de zogenaamde aansluitfractie. Deze aansluitfractie is voldoende om een ruimte voor 90 procent te verwarmen. Voor de overige 10 procent moet een pieklastvoorziening zorgen.

**Een van de belangrijkste voordelen van het gebruik van aardwarmte is de leveringszekerheid. Aardwarmte is namelijk niet afhankelijk van schommelingen in de weersgesteldheid. Daarnaast is de winning van aardwarmte technische gezien een betrouwbare bewezen techniek is, waarbij vooral gebruik gemaakt wordt van de ervaringen uit de olie- en gasindustrie.**

Sinds enkele jaren wordt in bijvoorbeeld Duitsland en Oostenrijk naast warmte ook elektriciteit geproduceerd met behulp van aardwarmte. Hiervoor wordt met de zogeheten ORC techniek eerst elektriciteit geproduceerd uit het warme water. Dit proces heeft vooralsnog een gering rendement (10-15%). Maar de resterende warmte wordt vervolgens alsnog aan het warmtetransportnet toegevoegd. Het voordeel van het gebruik van deze ORC techniek is dat er naast "laagwaardige" warmte ook hoogwaardige elektriciteit wordt geproduceerd. Zo geeft de Duitse overheid een gegarandeerde goede prijs voor de opgewekte elektriciteit.

De toepassing van ORC technieken wordt aantrekkelijker naarmate de temperatuur van het opgepompte hoger is. De in Duitsland en Oostenrijk gebouwde ORC centrales hebben een aanvoertemperatuur van ruim  $100$  graden.

### 3 Aardwarmte uit de ondergrond van Groningen

#### *Geologische kenmerken*

Zoals gesteld zijn twee geologische randvoorwaarden bepalend voor de winning van aardwarmte: (1) de temperatuur van het formatiewater moet hoog genoeg zijn en (2) er moet voldoende formatiewater geproduceerd kunnen worden.

In de ondergrond van Groningen worden watervoerende lagen met een hoge permeabiliteit, voldoende dikte en een hoge temperatuur aangetroffen in de Boven Rotliegend Groep, een geologische formatie die ongeveer 200 miljoen jaar geleden is afgezet en die onder geheel Noord-Nederland voorkomt. De Boven Rotliegend Groep is vooral bekend vanwege de gaswinning uit de Slochteren Formatie, die een onderdeel van de Boven Rotliegend Groep vormt.

De Boven-Rotliegend Groep wordt in Noord- Nederland onderverdeeld in 3 eenheden. Van onder naar boven zijn dit de Slochteren Formatie (zandsteen), het Ten Boer Laagpakket (kleisteen) en de Akkrum Zandsteen. Afhankelijk van de plaats van afzetting kan de Slochteren Formatie verder onderverdeeld worden in een Onder- en Boven-Slochteren Laagpakket (zandstenen), gescheiden door het Ameland Laagpakket (kleisteen). Vanuit geothermisch oogpunt zijn, net als in de olie-industrie, de zandstenen uit de Slochteren Formatie van belang. De Akkrum Zandsteen heeft een te geringe dikte om effectief voor geothermische benutting in aanmerking te komen.

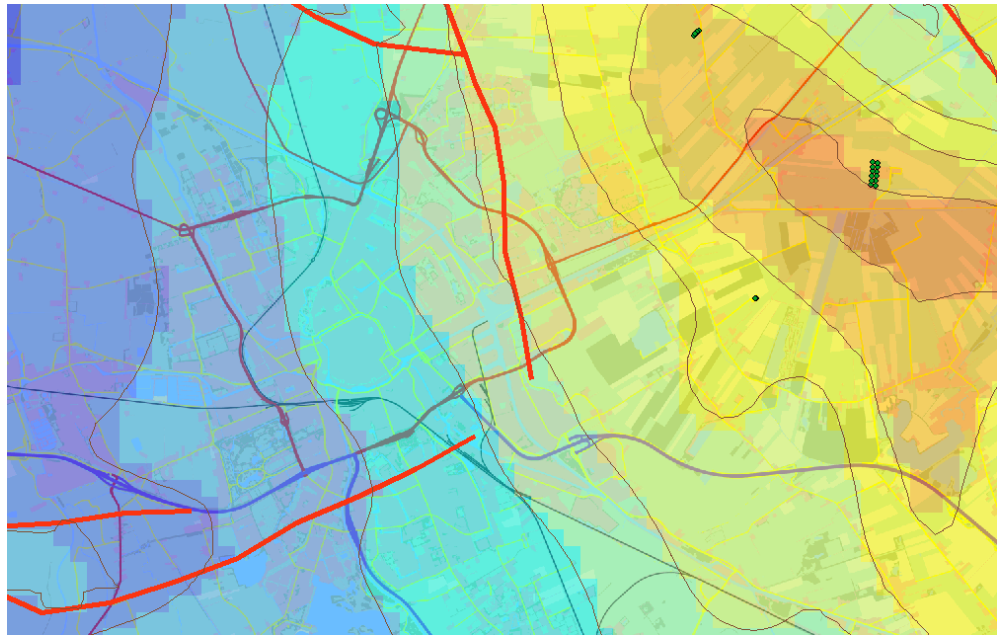
De zandstenen zijn onder een woestijnklimaat afgezet door de wind of door rivieren en de dunne kleisteen inschakelingen in deze zandstenen zijn afgezet in de tussenliggende meertjes en regelmatig droogvallende vlakten.

Omdat het Friesland Platform en het Groningen Hoog in noordelijke richting hellen, neemt de diepte waarop de Slochteren Formatie voorkomt in deze richting toe van 2500 tot 3500 m. In de tussenliggende Lauwerszee Trog zijn langs de randbreuken verzetten van 1100 (plaatselijk langs de Hantum Breuk) en 300 m gemeten, waardoor de Slochteren aquifer op een diepte tussen 3000 en 4500 m voorkomt. Onder de stad Groningen neemt de diepte van oost naar west toe (van ongeveer 2800 m. naar meer dan 3300m.).

Een gedetailleerde beschrijving van de geologische ontstaansgeschiedenis, stratigrafie en lithologie wordt gegeven in de Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond, Toelichting bij Kaartblad III (RGD, 1991).

#### *Slochteren Formatie*

De Slochteren Formatie onder de stad Groningen bestaat uit rode kwartszanden met inschakelingen van rode kleisteen. Het is een compacte geconsolideerde zandsteen, waardoor het migreren van fijne deeltjes beperkt zal zijn. Conglomeraten, (dat zijn zeer grofkorrelige grindbanken) worden in deze formatie vooral aan de basis aangetroffen. De netto zanddikte van de Slochteren Formatie varieert tussen 100 en 150 m. De Slochteren Formatie wordt aangetroffen op een diepte die varieert van ongeveer 2800 m. nabij Harkstede tot meer dan 3300 m. ten westen van Groningen. Zie figuur 2 .



Figuur 2 - Diepteligging van de Slochteren Formatie onder Groningen. Onder de stad Groningen is de diepte meer dan 3000 m. (groenblauw tot donkerblauw gekleurde deel); Aan de oostzijde van Groningen, (o.a. onder de uitbreiding Meerstad) is de diepte minder dan 3000 m. Het contourinterval bedraagt 100 m.

#### *Aquifer eigenschappen:*

De belangrijkste eigenschappen waaraan een aquifer moet voldoen om voldoende water te produceren zijn een goede doorlatendheid in combinatie met de dikte van de aquifer. Het product van deze twee grootheden (transmissiviteit) bepaald de productiviteit van de aquifer en moet voldoende groot zijn om zonder een te groot pompvermogen een acceptabel debiet te produceren. Helaas is over het algemeen de doorlatendheid van een zandsteen onvoldoende bekend. Deze wordt bij voorkeur gemeten aan kernen, welke tijdens het boorproces naar boven worden gehaald. Meestal worden deze kernen slechts op enkele plaatsen in het zandsteen pakket genomen en lang niet in elke boring. Veelal is er gelukkig een duidelijke samenhang met de porositeit en het kleigehalte van het gesteente. Deze worden meestal wel gemeten middels het “loggen” van het boorgat, dat is het meten van een aantal fysische kenmerken van het gesteente door meetapparatuur die in het boorgat wordt gelaten. Uit deze metingen zijn ondermeer de porositeit en het kleigehalte te berekenen.

Uit deze metingen blijkt dat rondom Groningen de gemiddelde porositeit 16 % (RGD, 1995) bedraagt (zie ook tabel 1). De permeabiliteit varieert onder Groningen van 50 tot meer dan 600 m.d. Gebaseerd op de bekende porositeit waarden is bij deze studie voor de berekeningen een gemiddelde permeabiliteit van ongeveer 300 mDarcy aangenomen. De netto zanddikte bedraagt ongeveer 100 m. De transmissiviteit bedraagt ongeveer 30 Dm, wat ruim voldoende is voor het produceren van warm water.

Tabel 1 Bruto en netto zanddikte (meters) en effectieve porositeit en het kleigehalte (procenten) zoals gemeten in reservoirs van de Slochteren Formatie.

| Put         | Zandsteen  | Aquifer Dikte |            | Ø <sub>em</sub><br>% | V <sub>clm</sub><br>% |
|-------------|------------|---------------|------------|----------------------|-----------------------|
|             |            | Bruto (m.)    | Netto (m.) |                      |                       |
| Harkstede 2 | Slochteren | 109.3         | 101.3      | 16.7                 | 23.0                  |
| Norg 1      | Slochteren | 118.5         | 106.6      | 16.2                 | 16.9                  |

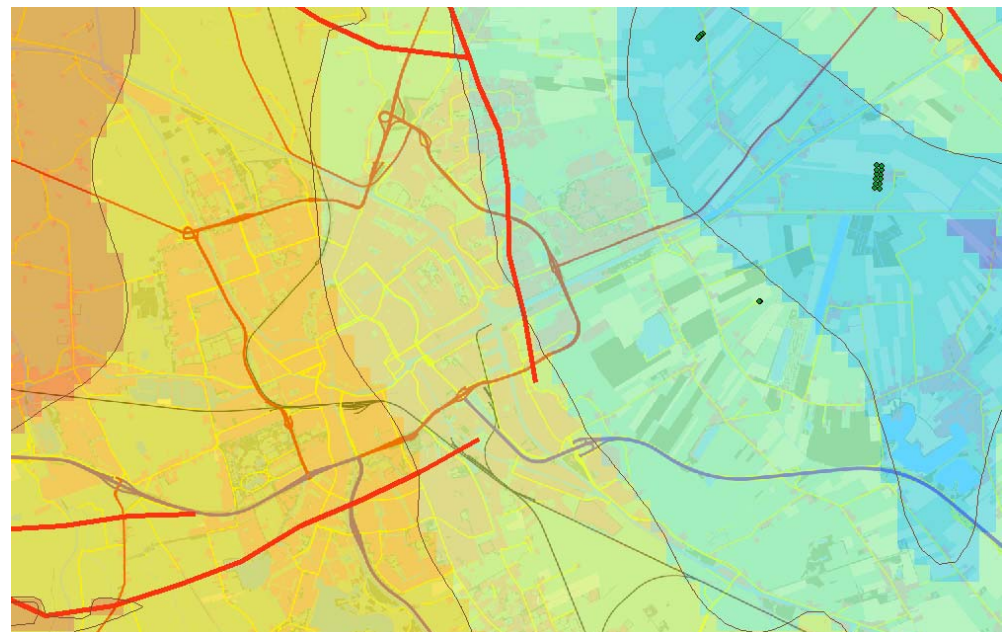
*Temperatuur.*

Een derde kenmerk van belang bij het produceren van warmte is uiteraard de temperatuur van de watervoerende laag. Deze is direct afhankelijk van de diepte waarop de aquifer voorkomt en van de temperatuurgradiënt, dat is de toename van de temperatuur met de diepte. Naarmate de watervoerende laag op een grotere diepte ligt is de temperatuur hoger. Dit voordeel voor diepe lagen wordt echter weer deels tenietgedaan omdat doorgaans met de diepte ook de belangrijke eigenschappen zoals de doorstroming afnemen. Daarnaast nemen de boorkosten meer dan evenredig toe met de diepte.

Bij het bepalen van de temperatuur is uitgegaan van de beschikbare dieptekaarten onder Groningen. De daarbij behorende temperatuur is berekend aan de hand van de volgende relatie:

$$T_{\text{diep}} = (30 * \text{diepte}) + 15.$$

De resultaten zijn weergegeven in figuur 3



Figuur 3 - Temperatuur aan de top van de Slochteren Zandsteen in de ondergrond van Groningen. Contourinterval bedraagt 5 graden C. De temperatuur onder de beoogde uitbreiding Meerstad bedraagt 100 tot 105 graden en neemt in westelijke richting toe tot meer dan 120 graden in het westelijke deel van de kaart.

### *Compartimentalisatie*

Naast bovengenoemde aquifer eigenschappen is ook de structurele ontwikkeling van een gebied van belang. Als een watervoerende laag sterk is opgebroken door breukvorming in het verleden kan dit leiden tot compartimentalisatie (= opdeling in deelreservoirs door breuken). Dit verkleint het effectieve reservoir en heeft vaak een ongunstig effect op stromingspatronen in aanwezige aquifers. Ook de Boven-Rotliegend aquifer is als gevolg van deze tektonische bewegingen opgeheven of gedaald en kan deze zijn opgebroken.

Met uitzondering van de aanwezige randbreuken, zijn op het Groningen Hoog slechts weinig grote preferente breukstructuren aanwezig. Het Groningen Hoog wordt wel door breuken doorsneden, maar deze hebben normaliter een beperkt verzet (veelal minder dan 50 m). De compartimentalisatie zal hier derhalve over het algemeen vrij gering zijn. In de naast het Groningen gasveld gelegen de Lauwerszee Trog zijn de velden meer opgelijnd volgens een NO-ZW georiënteerde breukenpatroon. De randbreuken die de Lauwerszee Trog begrenzen hebben spronghoogten van vele honderden meters, met een maximum van 1100 m over de Hantum Breuk ten zuiden van Ameland. De velden zijn echter relatief groot in vergelijking met die in het Centraal Nederland Bekken. Meerstad bevindt zich echter direct onder een uitloper van het Groningen gasveld. In dit gebied zijn betrekkelijk weinig breuken aan bezig. Op de dieptekaart van de Slochteren zandsteen staan de breuken aangegeven.

### *Conclusie betreffende de aquifereigenschappen:*

**Op grond van het onderzoek kan worden geconcludeerd dat de belangrijkste eigenschappen waaraan een aquifer moet voldoen om voldoende warm water te produceren aanwezig zijn.**

Dit zijn vooral de temperatuur en de transmissiviteit (dat is het product van de dikte van de aquifer en haar doorlatendheid). De aquifer komt voor op een diepte van ongeveer 3000 m. tot meer dan 3300 m. en heeft een temperatuur die rondom de 105 tot 110 graden Celsius bedraagt, wat ruim voldoende is voor een stadsverwarming. De porositeit van de Slochteren Formatie in de ondergrond van Groningen bedraagt ongeveer 16%, de doorlatendheid van de aquifer wordt op grond van literatuurgegevens geschat op 300 mD, maar deze kan variëren van 50 tot meer 600 mD. De netto zanddikte van de aquifer bedraagt 100 m. (onder ander in de nabij gelegen put Harkstede-1). De gemiddelde transmissiviteit bedraagt derhalve 30 Dm (Darcymeter). Een goed doorlatende aquifer, zoals de Slochteren Formatie biedt de mogelijkheid om een goede productie te halen, zonder dat er een groot pompvermogen moet worden opgesteld.

Bij het opstellen van de globale kosten (paragraaf 6) is er van uitgegaan dat een productie van 200 m<sup>3</sup> per uur goed haalbaar is zonder dat hoge pompkosten noodzakelijk zijn.

Gezien het beperkte karakter van deze studie zijn echter geen optimalisatieberekeningen gemaakt. Voor zover het de temperatuur betreft is, rekening gehouden met een geringe afkoeling bij het oppompen van het water. De temperatuur aan zowel de putmond als in het reservoir is gezien het globale karakter gesteld op 105 graden.

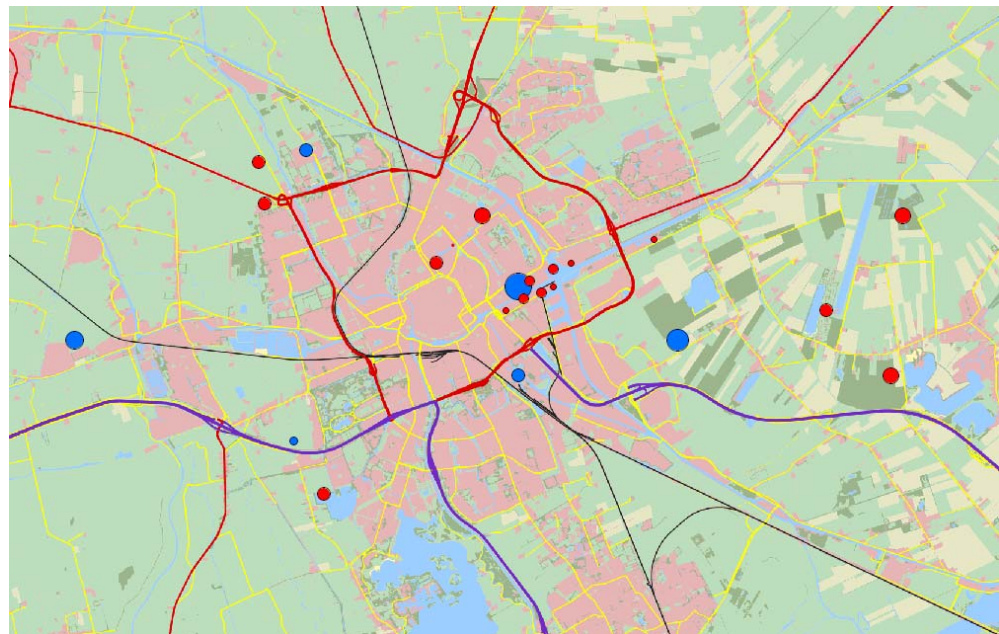
## 4 De toekomstige warmtevraag in Groningen

Voor een economische winning van aardwarmte is naast het aanbod aan warmte uit de ondergrond van groot belang. Immers de warmte afkomstig uit de ondergrond (het primaire warmtenet) wordt via een warmtewisselaar afgegeven aan het lokale distributienet (het secundaire net).

Bij het benutten van de warmte zijn een tweetal die de rentabiliteit van een aardwarmtewinnig voor een belangrijk deel bepalen:

- 1 De afstand van de winningslocatie tot het distributienet: een te grote afstand kan tot aanzienlijke transportverliezen leiden. Bovendien moeten er extra transportleidingen worden aangelegd.
- 2 De mate van uitkoeling van het opgepompte water. Naarmate deze groter is, neemt het rendement toe. Dit is vooral een gevolg van het feit dat aardwarmtewinning hoge initiële kosten met zich meebrengt in de vorm van de boorkosten. Deze kosten zijn vooral afhankelijk van de diepte waarop de watervoerende laag wordt aangetroffen. De mate van uitkoeling staat daar los van. Wel heeft een diep gelegen aquifer een hoge temperatuur en kan daardoor een groter vermogen realiseren.

Om na te gaan wat de beste locatie is voor de aardwarmtewinning is een inventarisatie gemaakt van de verwachte toekomstige warmte in de stad Groningen.

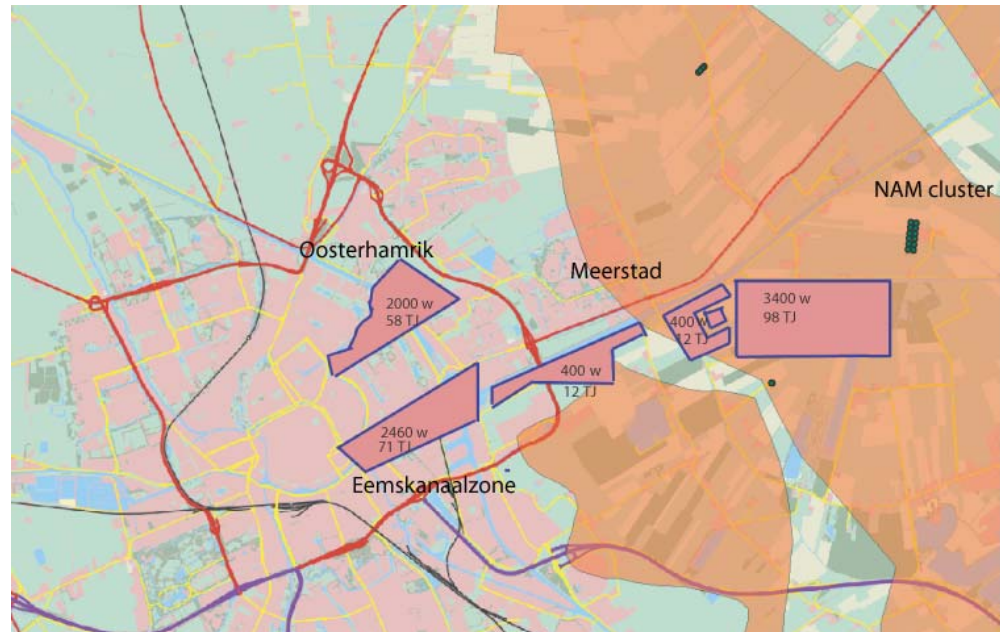


Figuur 4 - Toekomstige warmtevraag in de stad Groningen. De blauwe bolletjes representeren de warmtevraag van de bedrijven, de rode bolletjes hebben betrekking op nieuw te bouwen woningen. De kleinste bolletjes representeren een warmtevraag kleiner dan 10.000 GJ/jaar, het grootste (blauwe) bolletje representeert een vraag van meer dan 300.000 GJ.

Figuur 4 geeft deze warmtevraag weer. De omvang van de bolletjes is een maat voor de vraag. Naast de nieuwe warmtevraag, die wordt gegenereerd door de stadsuitbreiding

Meerstad is ook binnen de stad en aan de west en noordwest zijde nieuwe vraag aanwezig. Dit houdt in dat naast de stadsuitbreiding Meerstad ook op ander plaatsen binnen Groningen mogelijkheden voor het gebruik van aardwarmte aanwezig zijn.

Omdat de huidige haalbaarheidsstudie zich concentreert op de uitbreiding Meerstad is de warmtevraag op een aantal locaties samengevoegd en in figuur 5 weergegeven.



Figuur 5 – Overzicht van de woningbouwlocaties met bijbehorend aantal woningen en de warmtevraag (in TeraJoule per jaar).

Bij het gebruik van aardwarmte vormen de aanlegkosten van de bronnen een belangrijk deel van de kosten. Deze kosten zijn slechts beperkt afhankelijk van de uiteindelijk te winnen hoeveelheid warmte. Om de haalbaarheid van aardwarmtewinning te vergroten is het daarom van belang het maximaal haalbare debiet van een bron te produceren, omdat daardoor de kosten per eenheid gewonnen energie het laagst zullen zijn. Om die reden is, voor zover mogelijk, het samenvoegen van de warmtevraag uit verschillende gebieden van belang. De totale warmtevraag van de in figuur 5 opgenomen bouwlocaties bedraagt ongeveer 250 TJ/jaar. Dit omvat naast de Meerstad gebieden (120 TJ/jaar) ook het Oosterhamrik gebied (58 TJ/jaar) en de Eemskanaalzone (71 TJ/jaar). Zie ook tabel 2.

Tabel 2 – Overzicht warmtevraag van de projecten

| Projecten         | Aantal woningen | warmtevraag | Fasering bouw |
|-------------------|-----------------|-------------|---------------|
| Oosterhamriktrace | 2000            | 58          | 2007-2012     |
| Eemskanaal        | 2460            | 71          | 2008-2015     |
| Meerstad 1        | 400             | 12          | 2012          |
| Meerstad entree   | 400             | 12          | 2010          |
| Meerstad hart     | 3400            | 98          | 2007-2015     |

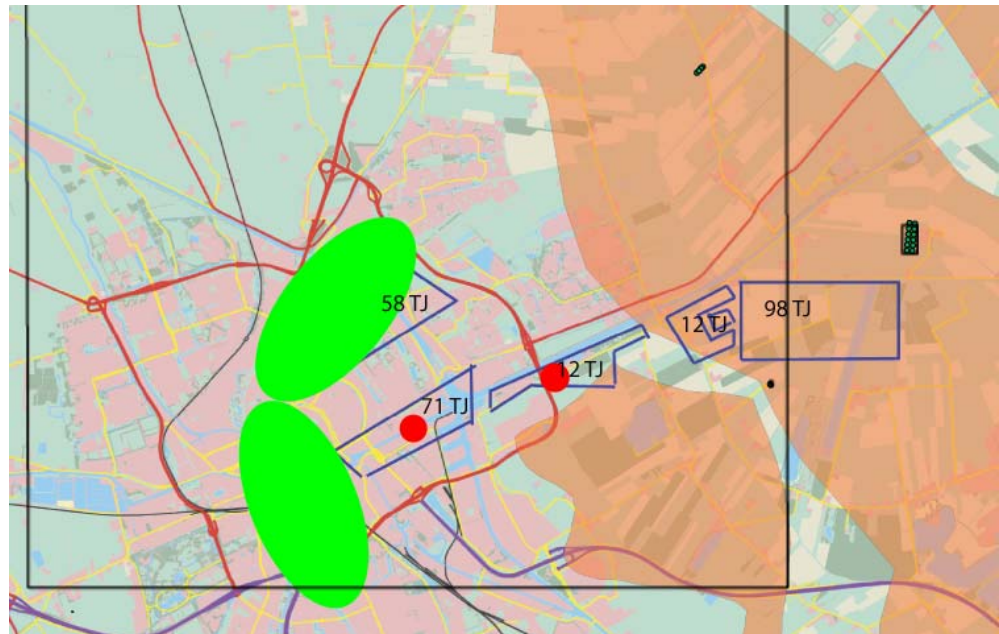
## 5 Locatie van het doublet

Naast het vastleggen op hoofdlijnen van de reservoir eigenschappen is gekeken naar de locaties van winningsputten (en de daarbij behorende ondergrondse putlocaties en bijbehorend ruimtebeslag) in relatie tot de verwachte warmtevraag. De belangrijkste randvoorwaarde in deze is de ligging van het Groningen gasveld. Het ondergrondse ruimtebeslag van een aardwarmtewinning is in eerste instantie afhankelijk van de afstand tussen de injectie en de productieput. Ruwweg betekent dit een ondergronds ellipsvormig oppervlak van tweemaal de putafstand in de lengterichting en eenmaal in de breedterichting. Binnen dit oppervlak veranderen temperatuur en druk van de aquifer. Deze temperatuur- en drukverandering kan mogelijk tot een ongewenste situatie aan leiding geven voor de gaswinning uit het Groningen gasveld. Eerdere studies laten zien dat het effect buiten het ellipsvormige gebied nog slechts beperkt aanwezig is (Brouwer et al., 2005) en naar verwachting slechts enkele graden en minder dan 1 bar drukdaling bedraagt. De werkelijk te verwachten omvang van een mogelijke beïnvloeding kan slechts met behulp van een simulatie studie worden uitgevoerd. Een dergelijke studie valt buiten het bereik van dit onderzoek, enerzijds gezien de omvang van deze, en anderzijds omdat dit slechts met behulp van vertrouwelijke gegevens van de operator (NAM) kan worden uitgevoerd.

**Om interferentie met de gaswinning van Groningen te voorkomen is het daarom gewenst voldoende afstand tot het gasveld te nemen. Hiervoor is een afstand van de ondergrondse locatie van de productie- en de injectieput tot het Groningen gasveld aangenomen van 3000 m.**

Los van de mogelijke invloed die zou kunnen ontstaan door de winning van aardwarmte op de productie van het Groningen gasveld, is omgekeerd de winning van het aardgas van invloed op de productie van het warme water. De winning van het gas kan tot gevolg hebben dat de druk in de aquifer te sterk verlaagd wordt, waardoor de natuurlijke stijghoogte van het water lager is. Bij een aanzienlijke drukdaling kan dit tot gevolg hebben dat de pompen erg diep moeten worden ingebracht, wat tot een kostenverhoging zal leiden. Hoe groot dit effect thans is en in hoeverre dit bij de voortgaande exploitatie van het Groningen gasveld, waarbij uiteindelijk een zeer aanzienlijke daling van de druk in het Groningen gasveld zelf zal plaats vinden, is op grond van publieke gegevens niet bekend. Bij een besluit tot winnen van aardwarmte is dit een belangrijk punt van aandacht. Dit zal in een vervolg onderzoek moeten worden.

**Het tweede aspect van belang voor de locatie van de aardwarmteputten is de afstand van de bovengrondse locatie tot de warmtevraag. Immers de afstand van deze putlocatie tot de vraag mag niet al te groot worden in verband met de aanleg van extra (en dus dure) transportleidingen en het warmteverlies in deze transportleidingen voordat het ter plekke bij de afnemers komt.**



Figuur 6 – Mogelijke ligging van het aardwarme doublet en de bovengrondse putlocaties. De groene ellipsen geeft het ondergrondse areaal weer dat door de winning van aardwarmte wordt beïnvloed. Om interferentie met de gaswinning uit het Groningen gasveld (transparant oranje gekleurd) te vermijden is een veiligheidsmarge van 3 km. Aangenomen, waarbinnen de winning van aardwarmte niet direct wenselijk is. De rode bollen geeft de oppervlaktelocatie weer van een doublet.

Figuur 6 laat de **mogelijke** locaties zien van het ondergrondse ruimtebeslag. Om interferentie met de gaswinning uit het Groningen gasveld te vermijden is een veiligheidsmarge van 3 km. aangenomen, waarbinnen de winning van aardwarmte niet direct wenselijk is. Een tweetal ellipsen zijn ingetekend. Deze geven bij benadering de invloedssfeer weer van de aardwarmtewinning in de ondergrond. In de praktijk kan langs de hele zone een doublet worden gesitueerd, alsmede ten westen en noordwesten van deze zone.

Naast het ondergrondse deel van de aardwarmtewinning is het bovengrondse deel van belang. Van hier uit wordt de bron aangeboord. Deze oppervlakte locatie valt dus niet direct samen met het ondergrondse deel en het ruimte beslag is beperkt. Tijdens de boorfase, die enkele maanden duurt, is 100x100 m. een reële inschatting, daarna beperkt het zich tot het gebouw waarbinnen de diverse onderdelen van de aardwarmtecentrale worden opgesteld. De in figuur 6 weergegeven rode bolletjes geven mogelijke locaties aan van waaruit geboord kan worden.

De afstand tussen de ellips en de bovengrondse locatie van waaruit de aardwarmtebron wordt aangeboord is echter zeer bepalend voor de mate waarin extra gedeveerd geboord moet worden. Deze bovengrondse locatie is ook het punt van waaruit het transport van de warmte naar de wijken plaats vindt

## 6 Haalbaarheid

### 6.1 Kosten aspecten

Bij het berekenen van de globale kosten van een aardwarmte centrale is vooral gekeken naar de investeringskosten. Voor de operationele kosten en de onderhoudskosten is een vast bedrag per GJ genomen. Voor de investeringskosten is de volgende indeling gemaakt:

- 1 De aanleg van een doublet voor het oppompen en terugvoeren van het warme water. Deze kosten bestaan voornamelijk uit kosten van het boren (inclusief materiaalkosten) en de daarmee samenhangende activiteiten (waaronder de aanleg van de tijdelijke boorlocatie) en de installatiekosten (zoals pompen en warmtewisselaar).
- 2 Het warmte transportnet
- 3 Aansluitingen van de woningen.

De onder punt 1 genoemde kosten zijn specifiek voor aardwarmte. De andere genoemde kosten moeten ook worden gemaakt wanneer een andere vorm van warmteopwekking plaats zou vinden.

Behalve de kosten is ook de mogelijke opbrengst van de aardwarmtebron onderzocht. Hierbij is gekeken naar het verschil in opbrengst wanneer de aangesloten woningen gebruik maken van lage temperatuur systemen (uitkoeling tot 40 graden) versus een hogere temperatuur afname (uitkoeling tot 70 graden).

### 6.2 Kosten aanleg aardwarmtebronnen.

Voor het berekenen van de kosten van een doublet is uitgegaan van een drietal scenario's betreffende de bovengrondse locatie van het doublet ten opzichte van de ondergrondse locatie.

#### *Scenario's*

Scenario 1 is het basis scenario. In dit scenario ligt de oppervlaktelocatie van de productie (en tevens het beginpunt van het transportnet) boven de ondergrondse bron. In dit geval wordt er zeer beperkt schuin geboord wordt.

Dit scenario is goed toepasbaar in het Oosterhamrikgebied en in het westelijke deel van Groningen.

De twee overige scenario's (2 en 3) gaan uit van een ondergrondse afstand tussen de oppervlaktelocatie en de ondergrondse bron van 1500 m. respectievelijk 3000 m.

Scenario 2 komt overeen met een de ligging van de oppervlaktelocatie in het Eemskanaalzone gebied. Voor scenario 3 is gekozen voor een afstand van 3000 m. tussen oppervlakte locatie en het ondergrondse deel van het doublet. Deze is bijvoorbeeld gelegen in de aanloop naar Meerstad. De scenario's 2 en 3 leiden tot een

aanzienlijke verhoging van de kosten, omdat er over een veel grotere afstand schuin geboord moet worden.

Bij het vaststellen van de haalbaarheid van de scenario's worden de extra kosten die gepaard gaan met het gedeveerd boren van de putten afgezet tegen de extra kosten die gemaakt moeten worden voor het overbruggen van de afstand tussen de bovengrondse putlocatie en de uiteindelijke plaats van warmtelevering. De laagste boorkosten worden uiteraard gemaakt door die oppervlaktelocatie te kiezen die pal boven de ondergrondse locatie van de aardwarmtewinning ligt, bijvoorbeeld in het Oosterhamrikgebied.

#### *LT – HT Opties*

Daarnaast zijn er voor elke scenario 2 opties berekend, die betrekking hebben op de mate van uitkoeling van het warme water. De temperatuur van het water aan de putmond bedraagt naar verwachting ongeveer 105 graden. Optie a betreft een uitkoeling tot 70 graden (conventionele verwarmingssystemen), optie b gaat uit van een uitkoeling naar 40 graden (voor energetisch meer rendabele lage temperatuur (LT)-verwarmingssystemen). Zie tabel 3. Het verschil in uitkoeling heeft een grote invloed op het vermogen van de aardwarmtecentrale en de kosten per geproduceerde eenheid warmte. Een grote uitkoeling levert veel meer vermogen en daarmee productiecapaciteit op, terwijl de investeringen in de aanleg van het doublet en transportnetwerk nagenoeg hetzelfde zijn. Daarentegen zijn de aansluitkosten in de woning een fractie hoger. Een grote uitkoeling betekent wel hogere pompkosten, omdat een koudere vloeistof een hogere viscositeit heeft en daardoor moeilijker door de aquifer stroomt. De berekeningen laten echter zien dat de kostenverhoging betrekkelijk gering is. Dit wordt veroorzaakt door de goede eigenschappen van de aquifer. De gotere uitkoeling van het formatiewater geeft een productie van ongeveer 280 TJ, wat voldoende is voor alle in figuur 5 genoemde gebieden. Bij de berekening is uitgegaan van debiet van 200 m3 per uur. Dit is gezien de aquifereigenschappen goed haalbaar. Het aantal productie uren van de bron is gesteld op 5000 uur per jaar.

Tabel 3 Kosten (in miljoen euro), vermogen en productie van de scenario's voor aardwarmtewinning.

| Scenario's:                | 1a           | 1b      | 2a             | 2b       | 3a       | 3b       |
|----------------------------|--------------|---------|----------------|----------|----------|----------|
| Voorbeeld locatie          | Oosterhamrik |         | Eemskanaalzone |          | Meerstad |          |
| *Afstand (m.)              | 0            | 0       | 1500           | 1500     | 3000     | 3000     |
| Uitkoeling (graden)        | 105 - 70     | 105- 40 | 105 - 70       | 105 - 40 | 105 - 70 | 105 - 40 |
| Investeringskosten (Meuro) | 8,8          | 8,8     | 10,3           | 10,3     | 14,3     | 14,3     |
| Vermogen MWth              | 8,4          | 15,6    | 8,4            | 15,6     | 8,4      | 15,6     |
| Productie TJ               | 151          | 281     | 151            | 281      | 151      | 281      |

\*Afstand heeft betrekking op de afstand tussen de oppervlaktelocatie en de projectie van de locatie van het centrum van de ondergrondse bron aan het oppervlak.

De in tabel 3 vermelde uitkomsten laten zien dat optie b, een uitkoeling tot 40 graden C een grote toename van het vermogen geeft en daarmee de kosten per GJ sterk afnemen. Ook is het daarmee te bereiken vermogen voldoende voor het verwarmen van alle woningen in zowel het Meerstad gebied als in de twee aanpalende gebieden,

Oosterhamrik en Eemskanaal zone (zie figuur 5). Een keuze voor het energetisch gunstige LT systeem ligt voor de hand.

### 6.3 Globale financiële haalbaarheid

Om een inschatting te maken ten aanzien van de financiële haalbaarheid, is een globale haalbaarheidsstudie uitgevoerd. Hierin zijn de investeringen voor het realiseren van de aardwarmtebron en het warmtedistributienet meegenomen. Bij de aanleg van het warmtedistributienet is uitgegaan van de “groene weide” situatie, d.w.z. weinig tot geen bebouwing i.t.t. aanleg door een bebouwde omgeving. De aanlegkosten van de laatste variant zijn beduidend hoger en moeilijker inpasbaar. In tabel 4 zijn de belangrijkste uitgangspunten weergegeven die in de haalbaarheidsstudie zijn gebruikt.

Tabel 4 Uitgangspunten van de haalbaarheidsstudie.

|                                |                        |        |
|--------------------------------|------------------------|--------|
| <b>Investeringskosten</b>      |                        |        |
| Investeringkosten              | o.b.v. *”groene weide” |        |
| Bebouwingsdichtheid            | 25-30                  | Won/ha |
| <b>Exploitatie</b>             |                        |        |
| Warmtetarieven                 | Volgens het *nmda      |        |
| Aansluitbijdrage (BAK)         | 3.000                  | /weq   |
| <b>Technisch</b>               |                        |        |
| Warmtedistributieverlies       | 25 – 37                | %      |
| Aansluiten aardwarmtebron      | 85                     | %      |
| <b>Financieel / Economisch</b> |                        |        |
| Looptijd                       | 30                     | Jr     |
| Disconteringsvoet              | 12                     | %      |
| Subsidies                      | Geen                   |        |
| Kosten warmte                  | 3,5                    | /GJ    |

\*nmda: “niet meer dan anders”, houdt in dat de afnemer niet meer betaald dan bij gebruik van bijvoorbeeld aardgas.

Wegens de te hoge investeringskosten zijn scenario’s 2 en 3 (zie tabel 3) niet nader beschouwd. Voor scenario 1 zijn een aantal varianten geformuleerd. Een drietal varianten, gebaseerd op het aantal aan te sluiten gebieden/woningen, zijn onderscheiden (zie tabel 5).

Tabel 5 Aansluitvarianten.

| Projecten         | Aantal aansluitingen | Variant A | Variant B | Variant C |
|-------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|
| Oosterhamriktrace | 2000                 | X         | X         | X         |
| Eemskanaalzone    | 2460                 | X         | X         | X         |
| <b>Meerstad</b>   |                      |           |           |           |
| 1                 | 400                  |           | X         | X         |
| Entrée            | 400                  |           |           | X         |
| Hart              | 3400                 |           |           | X         |

Voor het beoordelen van de haalbaarheid van de inzet van aardwarmte bij de genoemde varianten is de Netto Contante Waarde als uitgangspunt genomen.

Het resultaat van de berekeningen, gebaseerd op de hier voor genoemde uitgangspunten is weergegeven in tabel 6. De netto investering is gelijk aan de bruto investering minus de aansluitbijdragen. Op grond van de berekeningen moet worden geconstateerd dat in alle varianten de Netto Contante Waarde van de investeringen negatief is.

Tabel 6 Resultaten van de haalbaarheidsberekeningen.

|                   |         | <b>Variant A</b> | <b>Variant B</b> | <b>Variant C</b> |
|-------------------|---------|------------------|------------------|------------------|
| NCW               | € milj. | -3.7             | -3.9             | -1.7             |
| Bruto investering | € milj. | 25               | 26               | 38               |
| Aantal woningen   | [-]     | 4.460            | 4.860            | 8.660            |
| Netto investering | € milj. | 12               | 13               | 17               |

## 7 Conclusies & Aanbevelingen

### *Conclusies:*

- Gelet op de resultaten van de globale kostenberekeningen moet worden geconstateerd dat de investering in warmtelevering middels aardwarmtebronnen een negatieve netto contante waarde heeft.
- Gelet op voorgaande is aardwarmtewinning zonder extra subsidies niet haalbaar. Een extra investeringssubsidie van ca. 1,7 milj. Euro is nodig. Dat is minder dan 200 euro per woning.
- Variant C heeft de hoogste haalbaarheid. Het is de variant, waarbij het debiet van de aardwarmtebron zo volledig mogelijk wordt benut. Het is de variant waarbij op termijn alle drie projecten worden aangesloten: EKZ, Oosterhamrik en entree/hart Meerstad.
- Bij het beoordelen van de haalbaarheid van aardwarmtewinning is uitsluitend gekeken naar de investeringskosten. De maatschappelijke voordelen van aardwarmte, zoals die van een betrouwbare (leveringszekerheid, bewezen technologie) duurzame warmtebron, met een zeer geringe CO2 uitstoot (slechts elektriciteit voor het aandrijven van de productiepomp en injectiepomp) zijn in de studie niet meegenomen.
- Reservoirtechnisch gezien bestaat er onzekerheid over de invloed van een mogelijke drukdaling door de bestaande gaswinning vanuit het Groningen gasveld. Indien deze daling groot is, dan heeft dit consequenties voor het ontwerp van de installatie, omdat de productiepomp diep in het boorgat moet worden gehangen. Dit kan bij een te hoge drukdaling leiden tot te hoge kosten.

### *Aanbevelingen*

- Het vooraf inrichten van de woongebieden als EKZ, OHT en Meerstad kan de haalbaarheid van gebruik van aardwarmte aanzienlijk vergroten. Immers als de aansluitingen er al liggen, is het risico voor de investeerder veel kleiner. Er is dan, uiteraard afhankelijk van de jaarlijkse productie, een warmtebron beschikbaar voor vele tientallen jaren, waarop ontwikkelingen op de langere termijn ook kunnen aanhaken.
- Het optimaliseren van de infrastructuur kan leiden tot een beter financieel resultaat:
  - Het temperatuur regime van de woningen.
  - Aanleg door “groene weide” i.p.v. door stedelijke bebouwing beperkt de aanlegkosten van het transportnet.
- Het uitvoeren van een aardwarmteproject vereist een nauwe samenwerking met de Nederlands Aardolie Maatschappij (NAM)

- Het in kaart brengen van alle subsidiemogelijkheden en mogelijkheden voor investeringsaftrek zal een positieve bijdrage leveren aan de NCW.
- Betrokkenheid / ambitie van de gemeente Groningen van groot belang.

## 8 Epiloog

Op een afstand van ongeveer 500 m. ten noordoosten van het Hart van Meerstad ligt een grote gaswinninglocatie van de NAM.

Een van de onderdelen van het winningproces van aardgas is het drogen van het gas. Bij het omhoog komen van aardgas bevat dit water. Door het gas af te koelen wordt dit gas “gedroogd”. Hierbij komt veel warmte vrij. Immers het gas heeft een temperatuur van ongeveer 90 tot 95 graden en wordt vervolgens afgekoeld naar bijvoorbeeld 40 graden. Doorgaans wordt dit gas aan de lucht gekoeld.

Een ruwe berekening laat een warmte afgifte zien van 100 tot 200 TJ per jaar, wat voldoende is voor de verwarming van de entree en het Hart van Meerstad.

Alvorens deze optie uit te werken is het van belang dat in elk geval de volgende vragen worden beantwoord:

- Is het hierboven beschreven proces onderdeel van de gaswinning op de clusterlocatie.
- Komt de ruwe berekening overeen met de werkelijke warmteafgifte.
- Wat zijn de mogelijkheden om het droogproces middels warmtewisselaars of andere technieken uit te voeren in plaats van lucht gekoeld
- Wat is het verwachte productieprofiel ter plekke en de resterende productieduur. Met andere woorden, wordt er ook in de toekomst (tot bijvoorbeeld 2040) voldoende aardgas en daarmee warmte geproduceerd om een deel van Meerstad van warmte te voorzien.

De optie van benutten van restwarmte van de NAM zal een veel lagere begininvestering vragen dan het aanboren van aardwarmte en het aanleggen van een transportnet naar Meerstad. De NAM optie zou in een gunstig geval een voorloper kunnen zijn van een toekomstig aardwarmtesysteem.

## 9 Literatuur

RGD (1995) Geological Atlas of the Subsurface of the Netherlands, Explanations to map sheet III: Rotumeroog-Groningen. Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 113 pp.

Brouwer, G., Lokhorst, A., Orlic, B., (2005) Simulation study of the Barendrecht geothermal field. (accepted for the World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 2005)