



POTENTIEEL DIEPE GEOTHERMIE FLEVOLAND: WARM AANBEVOLEN!

- Vertrouwelijk -

Vincent van Hoegaerden (Ecofys)
Saskia Hagedoorn (Ecofys)
Erik Simmelink (TNO Bouw en Ondergrond)
Leslie Kramers (TNO Bouw en Ondergrond)

September 2007

Copyright Ecofys 2007

Ecofys PDCSNL061281
TNO 2007-U-R0430/B

in opdracht van:
Provincie Flevoland, afdeling Milieubeheer

Samenvatting en Conclusies

In opdracht van de provincie Flevoland, heeft Ecofys in 2007 samen met TNO een regionale potentieelstudie uitgevoerd voor de mogelijkheden van diepe aardwarmte (geothermie).

Geologisch potentieel

In de provincie Flevoland is er potentie voor diepe aardwarmtewinning. Met name in het noordoostelijk/centraal deel van de Noordoostpolder en Oostelijk Flevoland (Lelystad/ Dronten) biedt het oppompen van warm water uit de Slochteren zandsteen op het eerste gezicht mogelijkheden voor woningverwarming en/of toepassing in kasverwarming. Met één doublet tot circa 2.500 m diepte kunnen ongeveer 3.000 à 5.000 woningen verwarmd worden, al naar gelang de locatie. Verder naar het zuiden van Flevoland (Zeewolde, Almere) neemt de kans steeds verder af om voldoende hoeveelheden water te verpompen, waardoor ondanks een grote energie-inhoud van de Slochteren zandsteen op deze locatie, het thermisch vermogen naar verwachting gering is. Onder Urk is geen Slochteren zandsteen aanwezig, hier ontbreken mogelijkheden voor winning van aardwarmte.

Andere watervoerende geologische eenheden zijn niet warm genoeg (Tertiaire eenheden) of hebben een te kleine warmtecapaciteit (Trias en Carboon eenheden). De aardwarmtepotentie van deze eenheden is daarom laag. Daarnaast ontbreken gegevens omtrent de permeabiliteit van deze afzettingen vrijwel geheel, waardoor een goede potentieelschatting niet mogelijk is.

Onzekerheid geologische analyse

In deze verkennende studie is de bepaling van de energie-inhoud en geothermisch vermogen aan de hand van zeer globale gegevens uitgevoerd. Met name de dikte en de aan porositeit gelieerde permeabiliteitsinschatting is afgeleid van een beperkte dataset. Dit houdt in dat de onzekerheden groot zijn. De uitkomsten dienen dan ook louter om een algemene indruk te geven van de potentie, waarbij de verschillende locaties onderling vergeleken kunnen worden.

Voor een betere inschatting wordt aanbevolen om alle mogelijk beschikbare ruwe data te benutten in nader, meer locatiegericht onderzoek. Daarbij is het wellicht ook mogelijk om bijvoorbeeld additionele porositeit- en permeabiliteitsmetingen aan beschikbare boorkernen uit te voeren, of aan de hand van gespoeld boormonstermateriaal op indirecte wijze (via korrelgrootte analyse) de kennis over porositeit en of permeabiliteit te verkrijgen. Wanneer het mogelijk zou zijn om porositeit- en permeabiliteitsmetingen aan deze boring te doen, kan het positieve beeld

dat nu uit de vermogensberekeningen wordt verkregen worden geverifieerd. Hierdoor kunnen de huidige onzekerheden verkleind worden en wordt het risicoprofiel voor toepassing van aardwarmte daar aanzienlijk beperkt. Uiteindelijk kan alleen een boring ter plekke uitsluitend geven over de eigenschappen van de Slochteren zandsteen op de beoogde locatie.

Daarnaast wordt aanbevolen om alle aanwezige 2D seismiek rondom een beoogde locatie (opnieuw) te analyseren, om de diepteligging van de Slochteren zandsteen in meer detail vast te stellen en de ligging en mogelijke invloed van breuken te identificeren.

In vergelijking met gebieden waar veel ondergrond gegevens beschikbaar zijn, zoals West- en Noord-Nederland, zullen echter door de spaarzaamheid aan gegevens de onzekerheden significant blijven. Hierdoor is het risicoprofiel voor toepassing van aardwarmtewinning in Flevoland in vergelijking met die gebieden relatief hoog.

Vervolg

Uit deze studie kan geconcludeerd worden dat diepe geothermie een realistische optie is voor de Provincie Flevoland in de Noordoostpolder. Vooral de toepassing voor de tuinbouw in de Noordoostpolder lijkt op het eerste gezicht mogelijkheden te bieden. Er hoeft dan niet geïnvesteerd te worden in een warmtedistributienet, waardoor de installatie minder complex en kostbaar is. Daarnaast zal het eenvoudiger zijn een consortium te vormen voor een tuinbouw diepe geothermie project dan voor een woningwijk waar veel meer partijen bij betrokken moeten worden.

Door deze redenen is de aanbeveling om als eerste stap te beginnen met diepe geothermie in Flevoland bij de tuinbouwgebieden in de Noordoostpolder en daarvoor een (quickscan) economische haalbaarheid uit te voeren.

Er wordt daarnaast aanbevolen dat er op korte termijn goede kennisuitwisseling plaatsvindt tussen de provincie, gemeenten en mogelijke projectontwikkelaars binnen de gemeenten, zodat zij optimaal geïnformeerd zijn over de mogelijkheden van geothermie in de provincie en geïnteresseerd zijn om daadwerkelijk projecten te realiseren. Het is daarom aanbevelenswaardig om deze studie te verspreiden onder de organisaties die hier in de toekomst mogelijk mee te maken krijgen. Dit zou de eerste stap kunnen betekenen voor de vorming van een consortium. Wij raden aan te beginnen met het vormen van een consortium zodat de vervolgstudies die nodig zijn om het potentieel op een gekozen locatie en de financiële situatie van een geothermisch project goed in kaart te brengen, door een heel consortium gedragen kunnen worden. Al met al zal een tijdsspan van 2-4 jaar nodig zijn voordat geothermie gewonnen kan worden in de Provincie Flevoland.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Duurzame warmtevoorziening	6
1.2	Doel en aanpak studie	7
1.3	Leeswijzer	7
2	Berekening aardwarmte potentie	8
2.1	Thermische energie-inhoud van watervoerende lagen	8
2.2	Het vermogen van een doublet	9
2.2.1	Doorstroming	9
2.2.2	Potentie, uitgedrukt in equivalent te verwarmen woningen of ha tuinbouw.	10
3	Geologische situatie Flevoland	11
3.1	Data	11
3.1.1	Data in Flevoland	11
3.1.2	Selectie watervoerende eenheden	13
3.2	Slochteren zandsteen	15
3.2.1	Algemene beschrijving, diepte en dikte	15
3.2.2	Temperatuur	17
3.2.3	Porositeit en permeabiliteit	19
3.2.4	Thermische energie-inhoud	22
3.3	Overige watervoerende eenheden	24
3.3.1	Tertiaire eenheden	24
3.3.2	Trias eenheid- Onder Volprieausen zandsteen	26
3.3.3	Carboon eenheden - Ruurlo en Baarlo formaties	27
3.4	Boring Luttelgeest 01	28
3.4.1	Temperatuur in LTG-01	28
3.4.2	Principe Diepe boorgatwarmtewisselaar	29
3.4.3	Potentie van een boorgatwarmtewisselaar in LTG-01	31
3.4.4	Hot Dry rock toepassing voor Luttelgeest e.o.	32
4	Mogelijke Toepassingen in Flevoland	33

4.1	Warmtevraag Flevoland	33
4.2	Resultaten uitwerking case studies	34
4.3	Risico's	38
4.4	Conclusies	39
Referenties		40
Bijlage A: Geologische dwarsdoorsneden		42
Bijlage B: Verkenning diepe geothermie		43
Bijlage C: Vervolgstappen in Flevoland		60

1 Inleiding

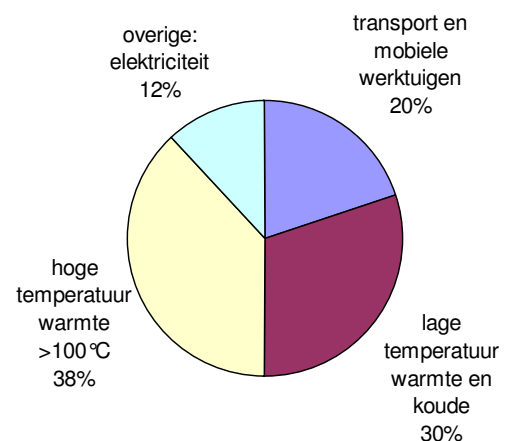
1.1 Duurzame warmtevoorziening

De Provincie Flevoland loopt voorop met duurzame energie en is geïnteresseerd in de mogelijkheden van een duurzame warmtevoorziening met diepe geothermie. Naast dit is er ook een potentieel bepaald voor ondiepe geothermie. Daarmee is de inventarisatie fase voor de provincie Flevoland compleet. Er zijn verschillende redenen om te zoeken naar alternatieve energiesystemen voor een duurzame warmtevoorziening. Ten eerste zijn “hoogwaardig” aardgas en andere fossiele brandstoffen niet onuitputtelijk. Daarnaast dragen de CO₂-reductieplannen binnen het Kyoto Verdrag bij aan de noodzaak tot het zoeken naar schone alternatieven. Ook benadrukken de actuele prijsstijgingen van energie uit fossiele bronnen de urgentie van de energieproblematiek in Nederland en internationaal.

Circa 68% van de uiteindelijke energievraag in Nederland is gericht op warmte; 38% voor warmte met een temperatuur hoger dan 100 °C en 30% met een temperatuur lager dan 100 °C (zie Figuur 1). Door hernieuwbare energiebronnen te gebruiken voor de warmtevoorziening van gebouwen kan dus een grote hoeveelheid fossiele brandstoffen worden uitgespaard.

Diepe geothermie is een dergelijke hernieuwbare energiebron die op duurzame wijze huizen, kassen of ander gebouwen kan verwarmen door gebruik te maken van de (natuurlijk aanwezige) warmte in de ondergrond. De winning van diepe aardwarmte is een in Europa en wereldwijd al lang bestaande technologie, die de laatste jaren ook in Nederland meer belangstelling krijgt. Deze studie is een eerste verkennende stap om inzicht te krijgen in het potentieel en toepasbare mogelijkheden van diepe geothermie in de Provincie Flevoland.

Voor een duurzame warmtevoorziening kan ook gebruik worden gemaakt van andere hernieuwbare energiesystemen, zoals warmte/koude-opslag (ondiepe geothermie), bodemwarmtewisselaars (ondiepe geothermie), pelletbranders (biomassa), restwarmtelevering, warmtekrachtkoppeling met bio-brandstoffen, windmolens, etc. In deze studie zal ook worden ingegaan op de verschillen van deze bronnen ten opzichte van diepe geothermie.



Figuur 1: Uitsplitsing energievraag in Nederland (Projectbureau Duurzame Energie, 2002)

1.2 Doel en aanpak studie

Het doel van deze studie is om voor de provincie Flevoland regionaal in beeld te brengen wat de mogelijkheden zijn voor de winning van aardwarmte in de provincie, op basis van de aanwezige kennis over de fysieke eigenschappen van de ondergrond. De Provincie heeft hiertoe opdracht gegeven aan Ecofys Netherlands B.V., die op haar beurt TNO heeft gevraagd om het hieraan gerelateerde regionaal geologisch onderzoek te verrichten. Ecofys is hierbij tevens verantwoordelijk geweest voor de coördinatie van de studie.

Vanwege het verkennende karakter van deze studie zijn slechts direct beschikbare digitale en analoge data/kaarten gebruikt voor het regionaal geologisch onderzoek. Er zijn geen ruwe meetgegevens geïnterpreteerd.

De geologische gegevens zijn door Ecofys vertaald in praktisch toepasbare informatie voor projectontwikkelaars, zoals een korte beschrijving van realisatiemogelijkheden en principeschema's van de toepassing van diepe geothermie voor geplande uitbreidingen in Flevoland en kaartmateriaal om de projectontwikkelaar te helpen bij het plannen van de energievoorziening van woningen, utiliteit en kassen. De toepassingen worden geïllustreerd en geconcretiseerd met een tiental toepassingen in Flevoland. Algemeen worden de investeringen per effectief warmtevermogen voor diepe geothermie afgezet tegen die van andere warmteleveringstechnieken, zoals warmte/koude-opslag, bodem-warmtewisselaars, HR-ketels, warmtepompen, pelletbranders en restwarmtelevering in een prijs/prestatieverhouding. Tenslotte worden de vervolgstappen om daadwerkelijk projecten te realiseren met diepe geothermie in kaart gebracht, inclusief een kwalitatieve beschouwing van de mogelijke technische en financiële risico's.

1.3 Leeswijzer

In bijlage 2 wordt het principe van aardwarmtewinning nader toegelicht, met zowel uitleg over het ondergrondse systeem als wel over de mogelijke toepassingen van geothermische warmte. In deze bijlage wordt ook ingegaan op de kosten in vergelijking met andere duurzame bronnen voor warmtevoorziening. Verder wordt een aantal verwante projecten in binnen- en buitenland beschreven. In hoofdstuk 2 wordt de werkwijze beschreven die voor Flevoland is toegepast om het warmtepotentieel in beeld te brengen. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens de geologische situatie van de Provincie Flevoland omschreven. Hierbij wordt ook ingegaan op de beschikbaarheid van gegevens van de verschillende watervoerende lagen in en rond Flevoland en de onzekerheidsmarges die hieraan zijn gerelateerd. Met name de Slochteren-formatie zal in dit hoofdstuk uitgebreid behandeld worden. In hoofdstuk 4 wordt de toepassing van geothermie voor een tiental locaties gepresenteerd. In bijlage 3 worden de vervolgstappen behandeld om daadwerkelijk een diep geothermisch project te realiseren.

De firma TOTAL E&P Nederland BV wordt dank gezegd voor het ter beschikking stellen van gegevens uit de Luttelgeest-01 boring.

2 Berekening aardwarmte potentie

De aardwarmte potentie op een bepaalde locatie kan op twee manieren worden uitgedrukt, middels de energie (of warmte) -inhoud en middels het te produceren thermisch vermogen van een doublet. In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op beide berekeningsmethodieken.

2.1 Thermische energie-inhoud van watervoerende lagen

De in theorie te winnen thermische energie-inhoud van een watervoerende laag op een bepaalde locatie, is afhankelijk van de dikte, porositeit en temperatuur van de watervoerende laag op die bepaalde locatie, tezamen met een aantal constant te veronderstellen parameters (Haenel en Staroste, 1988):

$$H_{th} = ((1-\varphi) \cdot C_m \cdot \rho_m) + (\varphi \cdot C_w \cdot \rho_w) \cdot D \cdot (T_{prod} - T_{inj}) \cdot 0,33$$

Waarin:

H_{th} = thermische energie-inhoud (GJ/m²)

φ = porositeit (-)

C_m = soortelijke warmte capaciteit van het gesteente (850 J/kgK)

ρ_m = dichtheid van het gesteente (2600 kg/m³)

C_w = soortelijke warmte capaciteit van water (4219 J/kgK)

ρ_w = dichtheid van het water (1050 kg/m³)

D = dikte van de watervoerende laag (m)

T_{prod} = temperatuur van het geproduceerde water (°C)

T_{inj} = temperatuur van het geïnjecteerde water (°C)

Hierbij geldt een aangenomen winning-rendementsfactor van 0,33.

De factor ($T_{prod} - T_{inj}$) wordt ook wel het uitkoelingstraject ΔT genoemd.

Een watervoerende laag van 30 m dikte, met een porositeit van 20% heeft bij een aangenomen temperatuur van 80 °C (op een diepte van ongeveer 2.200 m) een hoeveelheid thermische energie-inhoud van ongeveer 1 GJ/m².

Wanneer er (kaart) data beschikbaar zijn van diepte ligging en temperatuur gradiënt, dikte en porositeit van een watervoerende laag een kaart worden gemaakt van de warmte-inhoud van deze laag. Hiertoe dient de temperatuur van het weer geïnjecteerde water, die mede het uitkoelingstraject bepaalt, te worden aangenomen. Hoe verder de uitkoeling plaats vindt, des te meer energie kan worden benut. Benadrukt wordt dat deze kaarten slechts indicatief zijn en niet de daadwerkelijk (permeabiliteit afhankelijke) te winnen thermische energie weergeeft. Dit wordt in de volgende paragraaf behandeld.

2.2 Het vermogen van een doublet

Het thermische vermogen (W_{th}) van een doublet is het product van het waterdebiet (Q), de soortelijke warmtecapaciteit van het formatiewater, de dichtheid (kg/m^3) en de uitkoeling van het geothermische water (ΔT):

$$W_{th} = Q \times \rho_w \times c_w \times \Delta T$$

(met W_{th} in W, Q in m^3/s , ρ in kg/m^3 , c_v in J/kgK en ΔT in $^\circ\text{C}$).

Bij een debiet van $200 \text{ m}^3/\text{uur}$, een warmtecapaciteit van $4,5 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ en een uitkoeling van 80°C naar 40°C bedraagt het vermogen derhalve 10 MW_{th} .

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 water te produceren. Als een ruwe indicatie kan worden gesteld dat voor de verwarming van ongeveer 4000 woningen een debiet van een ordegrootte van 150 m^3 per uur nodig is. Dit is natuurlijk sterk afhankelijk van de temperatuur van het opgepompte water.

2.2.1 Doorstroming

De productiviteit van een watervoerende laag zoals zandsteen of kalksteen, is afhankelijk van de doorlatendheid (permeabiliteit¹) en de dikte van de laag. Om een voldoende hoeveelheid water ($100\text{-}200 \text{ m}^3/\text{u}$) te kunnen produceren (en injecteren) zonder dat daarvoor een te grote hoeveelheid pompenergie benodigd is, dient de doorstroming (transmissiviteit) van de te exploiteren watervoerende laag tenminste 10-15 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 aanwezig zijn, gaat men er vanuit dat de dikte van de producerende laag tenminste 50 meter en de permeabiliteit van de formatie tenminste 0,3 D. bedraagt. 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 watervoerende lagen in de verschillende soorten zandsteen in Noord-Nederland, Zuid-Holland en Noord-Brabant. In deze reservoirgesteenten wordt op een aantal locaties olie en/of gas aangetroffen. De olie- en gasmaatschappijen in Nederland beschikken dan ook over een ruime kennis van deze gesteenten.

Op grond van analytische formules kan een globale inschatting van de COP (Coefficient of Performance, oftewel rendement) van een doublet op een bepaalde locatie worden gemaakt. In deze berekeningen worden de pompvermogens aan beide putten (benodigd voor injectiedruk/ productie en wrijvingsverliezen) verdisconteerd (TNO, 2000). Met de berekeningen, waarbij wordt uitgegaan van bepaalde aangenomen parameters zoals de wandruwheid van de put, dichtheid van het water

¹ Een permeabiliteit van 1D komt overeen met een doorlatendheid met ordegrootte 0,1 m/d (standaardcondities). De doorlatendheid is afhankelijk van dichtheid en viscositeit: bij hoge temperatuur in de ondergrond neemt de doorlatendheid toe.

etc., kan bij een vooraf aangenomen debiet, temperatuur en vastgestelde transmissiviteit de COP worden berekend.

2.2.2 Potentie, uitgedrukt in equivalent te verwarmen woningen of ha tuinbouw.

In overleg met de Provincie Flevoland is besloten om bij voldoende data provinciedekkende kaarten met thermische energie-inhoud van de watervoerende lagen (dus onafhankelijk van mogelijk debiet en COP) te genereren. Voor bepaling van het uitkoelingstraject wordt daarbij uitgegaan van 2 scenario's: uitkoeling tot 40 graden (met name gericht op woningbouw) en uitkoeling tot 25 graden (gericht op tuinbouw). De ondergrens van 40 graden bij woningbouw is gerelateerd aan de toepassing van Lage Temperatuur Verwarming (LTV), zonder gebruik van additionele warmtepompen (Platform Geothermie, 2005). Verdere uitkoeling naar een temperatuur lager dan 40 graden vereist toepassing van (en dus investeringen in) warmtepompen. Dit is in deze studie niet in beschouwing genomen. Bij de toegepaste uitkoeling tot 25 graden in het scenario van tuinbouwkasverwarming is als uitgangspunt genomen dat de eisen van een verwarmingssysteem ten opzichte van de verwarming van woningen lager liggen, waardoor grotere uitkoeling mogelijk is.

Daarnaast is besloten om voor een aantal vooraf gedefinieerde locaties in Flevoland het indicatieve thermisch vermogen te berekenen en dit vermogen uit te drukken in gemakkelijk te interpreteren kengetallen: het aantal te verwarmen woningen c.q. aantal hectares tuinbouwkassen per doublet.

Bij de berekeningen van de COP en omrekening van thermisch vermogen naar te verwarmen woningen/ ha tuinbouw zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Het toe te passen debiet levert een COP van minimaal 13;
- Saliniteit van formatie water is 100.000 ppm;
- Diameter van de putten 7 inch;
- Uitkoeling tot 40 graden voor woning bouw, tot 25 graden voor tuinbouw;
- Draaitijd van het doublet 4.000 uur vollast (de winterperiode);
- Warmteverbruik;
 - woningen: 22 GJ/jr (IF-DWA, 2007);
 - tuinbouw: 12.000 GJ/ha/jr (Janssen et al, 2006).

Het ingeschatte warmteverbruik per woning (verwarming + tapwater) ligt hiermee in tussen het verbruik van 35 GJ/jr zoals aangenomen in eerdere studies (o.a. TNO, 2006) en hierop door DHV geleverde commentaar (pers. Com. DHV). DHV houdt voor het toekomstig warmteverbruik een waarde aan van 15 GJ/jr.

Toepassing van andere uitgangspunten zal leiden tot andere uitkomsten van te genereren thermisch vermogen. Dit ligt buiten het bestek van deze verkennende studie.

3 Geologische situatie Flevoland

3.1 Data

Door TNO en haar voorganger de Rijks Geologische Dienst is in het verleden een aantal inventarisatiestudies uitgevoerd om de mogelijkheden van aardwarmte in Nederland in kaart te brengen. De belangrijkste studie is uitgevoerd in de jaren 80, waarbij voor de dieper gelegen watervoerende lagen gebruik is gemaakt van een zeer beperkt aantal gegevens, omdat de meeste gegevens niet voor publiek gebruik beschikbaar waren. In de jaren 90 is een aantal kleine aanpassingen gemaakt, met als doel een update te genereren van het aardwarmtepotentieel in Nederland.

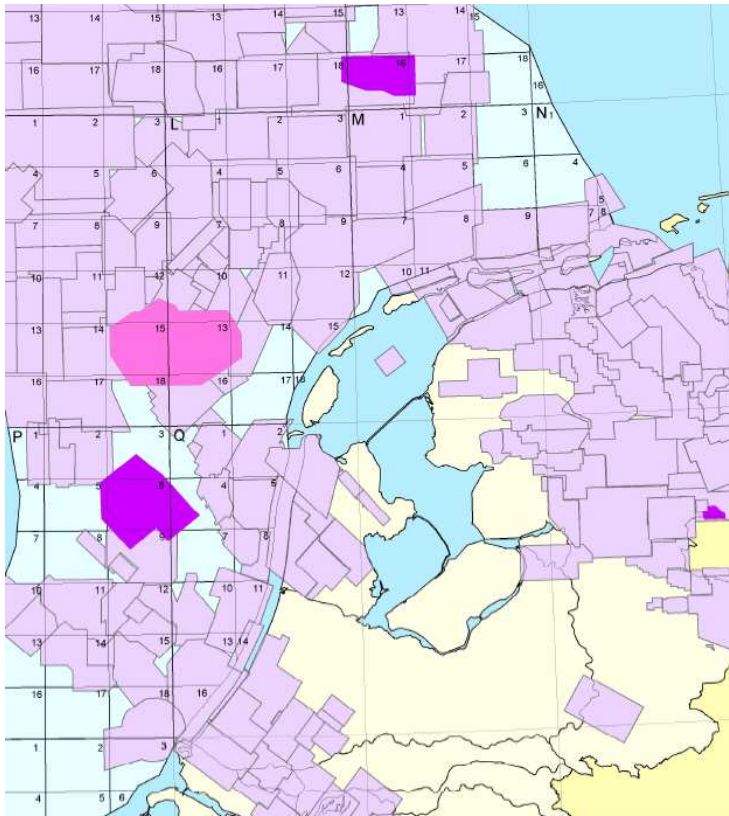
Naast de inventarisatie ten behoeve van het aardwarmtepotentieel is door TNO de diepe ondergrond van onshore Nederland in kaart gebracht, gebaseerd op een groot aantal seismische- en putgegevens, waarvan het gebruik door de industrie voor dit doel werd toegestaan. Dit resulteerde in de Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, gepubliceerd in deelkaarten vanaf 1991 tot 2005. In 2005 is een atlas gepubliceerd waarin de deelkaarten zijn gecompileerd tot een landsdekkend beeld (TNO, 2005). De kaarten in deze atlas(sen) geven een goed beeld van de regionale opbouw van de ondergrond van Nederland, zonder echter in te gaan op de verbreiding van de in de ondergrond voorkomende aquifers. Deze gegevens waren confidentieel. Na het van kracht worden van de nieuwe mijnwet in 2003, zijn gegevens, zoals boorgatmetingen, waaruit het voorkomen van deze aquifers valt af te leiden, eveneens publiek toegankelijk geworden.

De resultaten van de kartering van de diepe ondergrond zijn nog niet aangewend om het landsdekkende aardwarmtepotentieel opnieuw in kaart te brengen. Wel vormen deze kaarten, samen met de nu beschikbare informatie afkomstig van boringen, de basis waarmee de onderhavige verkenning gemaakt is binnen Flevoland. In Bijlage A zijn twee dwarsdoorsneden door de diepe ondergrond van Nederland afgebeeld. Deze dwarsdoorsneden geven een indruk van de complexiteit van de diepe geologie van Nederland en Flevoland.

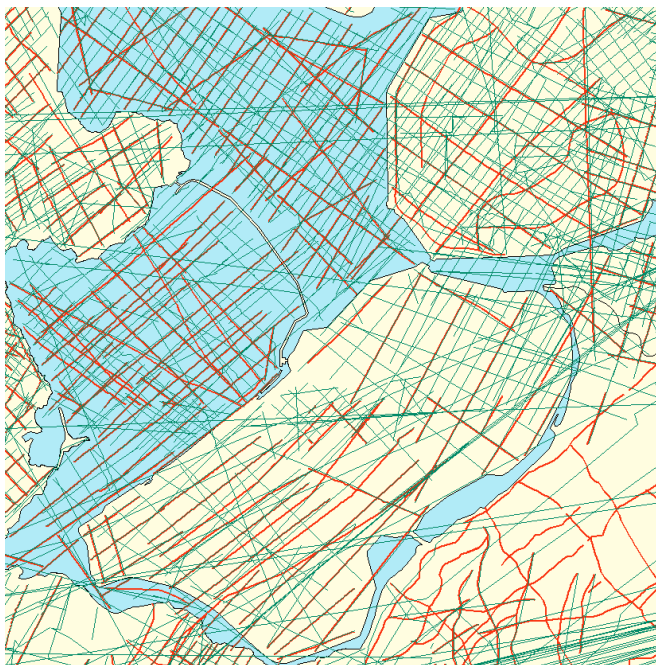
3.1.1 Data in Flevoland

De provincie Flevoland ligt in een deel van Nederland, met een relatief lage olie en gas prospectiviteit. Er is in het verleden wel een aantal 2D seismische lijnen geschoten en ook is een aantal exploratieboringen uitgevoerd. Deze hebben echter niet geleid tot vondsten van economische hoeveelheden olie en gas, waardoor verdere exploratieactiviteiten zeer beperkt zijn gebleven.

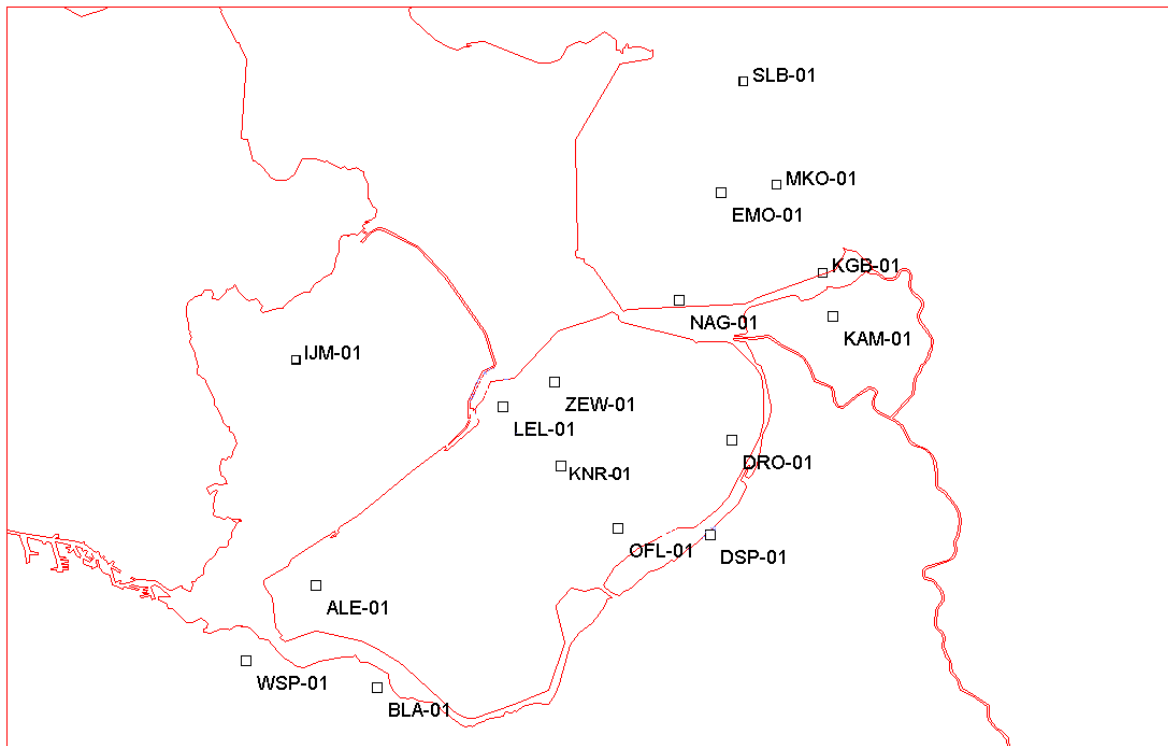
Dientengevolge is de gegevensdichtheid in en rond de provincie, op grond waarvan ook de aardwarmte potentie moet worden geschat relatief laag ten opzichte van bijvoorbeeld Noordoost Nederland en West Nederland (regio Den Haag- Rotterdam). In deze gebieden is veel 3D seismiek aanwezig (Figuur 2) en zijn vele boringen in en rond de aanwezige olie- en gasvelden gezet.



Figuur 2: Bedekking van 3D seismiek in Nederland. 3D seismiek ontbreekt in Flevoland



Figuur 3: Bedekking van 2D seismiek in Flevoland (in groene lijnen). De rode lijnen betreffen de voor de kartering gebruikte lijnen



Figuur 4: Aanwezige en gebruikte diepe boringen in en rond Flevoland. De beschrijving van de logs zijn onder andere gebruikt om de geschiktheid van de zanden te bepalen. Uit visueel oogpunt is Marknesse (MKN-01) niet afgebeeld, omdat deze te dichtbij Marknesse oost (MKO-01) gelegen is.

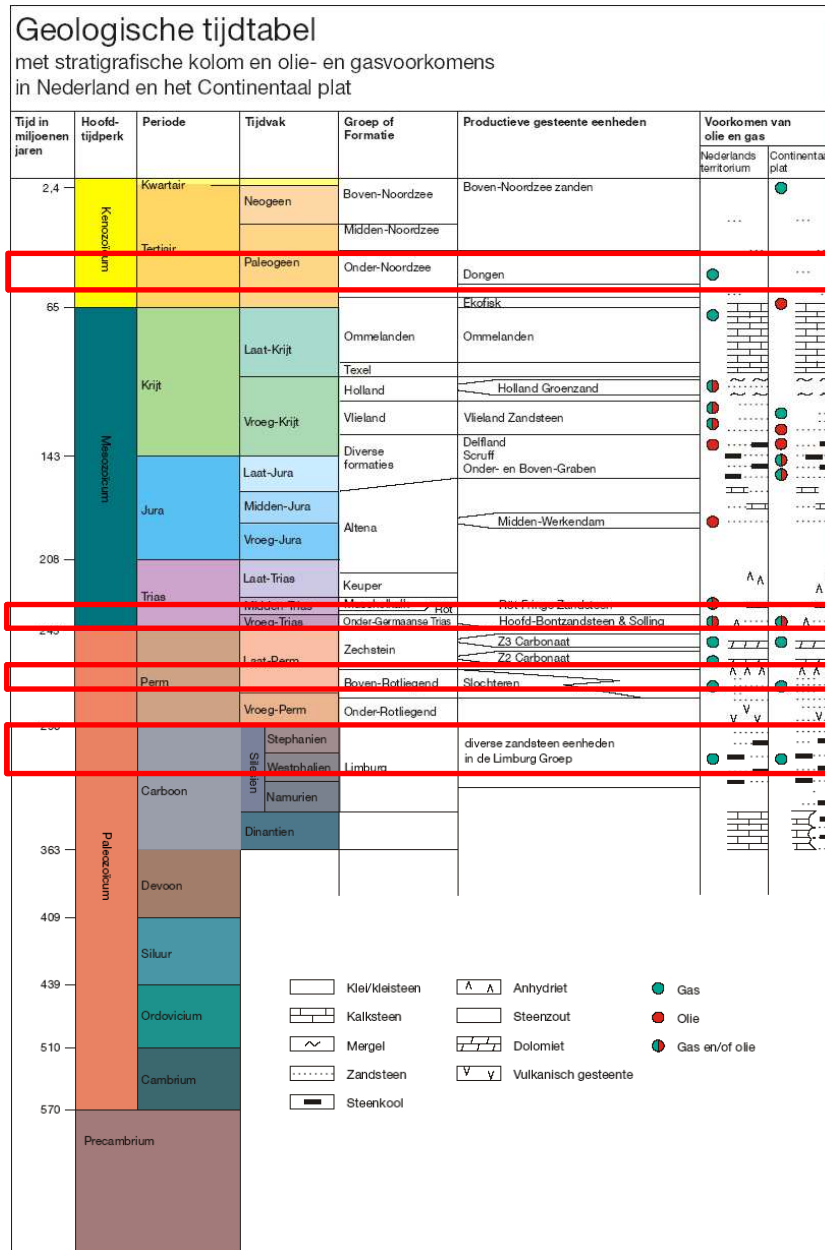
De kaarten van de verschillende stratigrafische intervallen van de Diepe Geologische Atlas van Nederland zijn in Flevoland gebaseerd op 2D seismiek. Deze zijn afgebeeld in Figuur 3. Deze dieptekaarten zijn gebruikt om de temperatuur in de watervoerende lagen in te schatten. De diktes van de verschillende watervoerende lagen (zandsteen “members”) zijn niet in het kader van de Geologische atlas bepaald. Informatie over dikte is daarom uit de boringendatabase gehaald. In Figuur 4 zijn de boringen in en rond Flevoland afgebeeld die zijn gebruikt om de dikte van de verschillende watervoerende lagen te schatten.

Voor een inschatting van de thermische energie-inhoud en thermisch vermogen zijn naast gegevens betreffende dikte en diepteligging (die via een aangenomen temperatuurgradiënt de temperatuur bepaalt) ook gegevens over porositeit en permeabiliteit in boringen nodig. Deze gegevens zijn in en rond Flevoland alleen beschikbaar voor één watervoerende laag: de Slochteren zandsteen. Voor deze eenheid was het mogelijk om daarom kaarten met energie-inhoud en thermische vermogens berekeningen te genereren. De beoordeling van andere watervoerende lagen in Flevoland is echter beperkt gebleven tot een kwalitatieve beschrijving.

3.1.2 Selectie watervoerende eenheden

Aan de hand van beschikbare putgegevens in en rondom de provincie Flevoland is een selectie gemaakt van de watervoerende lagen, die mogelijk geschikt zouden kunnen zijn voor

aardwarmtewinning. In tabel 1 zijn de watervoerende lagen vermeld die zijn geselecteerd voor nader onderzoek. De positie van deze lagen in de geologische tijdstabel van Nederland is in Figuur 5 aangegeven.



Figuur 5: Geologische tijdstabel, met in rood de aanduiding van de beoordeelde lithostratigrafische eenheden ("members")

De geschiktheid van een aquifer hangt mede af van de lithologie en verbreiding van de zanden, welke in de volgende paragrafen nader besproken zal worden. Hiervoor is gebruikt gemaakt van de lithostratigrafische nomenclator (RGD, 1993), welke een gedetailleerde beschrijving geeft van de afzonderlijke lithostratigrafische eenheden ("members"), tezamen met de lithologie beschrijvingen afkomstig van de boringen.

Tabel 1: Beoordeelde watervoerende lagen

Periode	Groep	Formatie	Member
Tertiair	Boven Noordzee Groep	Breda Formatie	
	Onder Noordzee Groep	Dongen Formatie	Brussels Zand Member
		Landen Formatie	Heers Member
Trias	Onder Germaanse Trias Groep	Volpriehausen Formatie	Onder Volpriehausen Zandsteen Member
Perm	Boven Rotliegend Groep	Slochteren Formatie	Onder en Boven Slochteren Zandsteen Member
Carboon	Limburg Groep	Baarlo Formatie	
		Ruurlo Formatie	

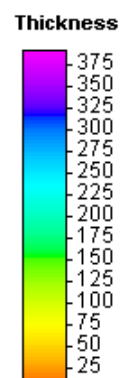
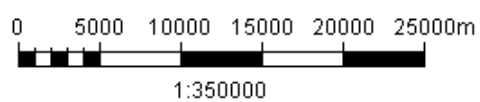
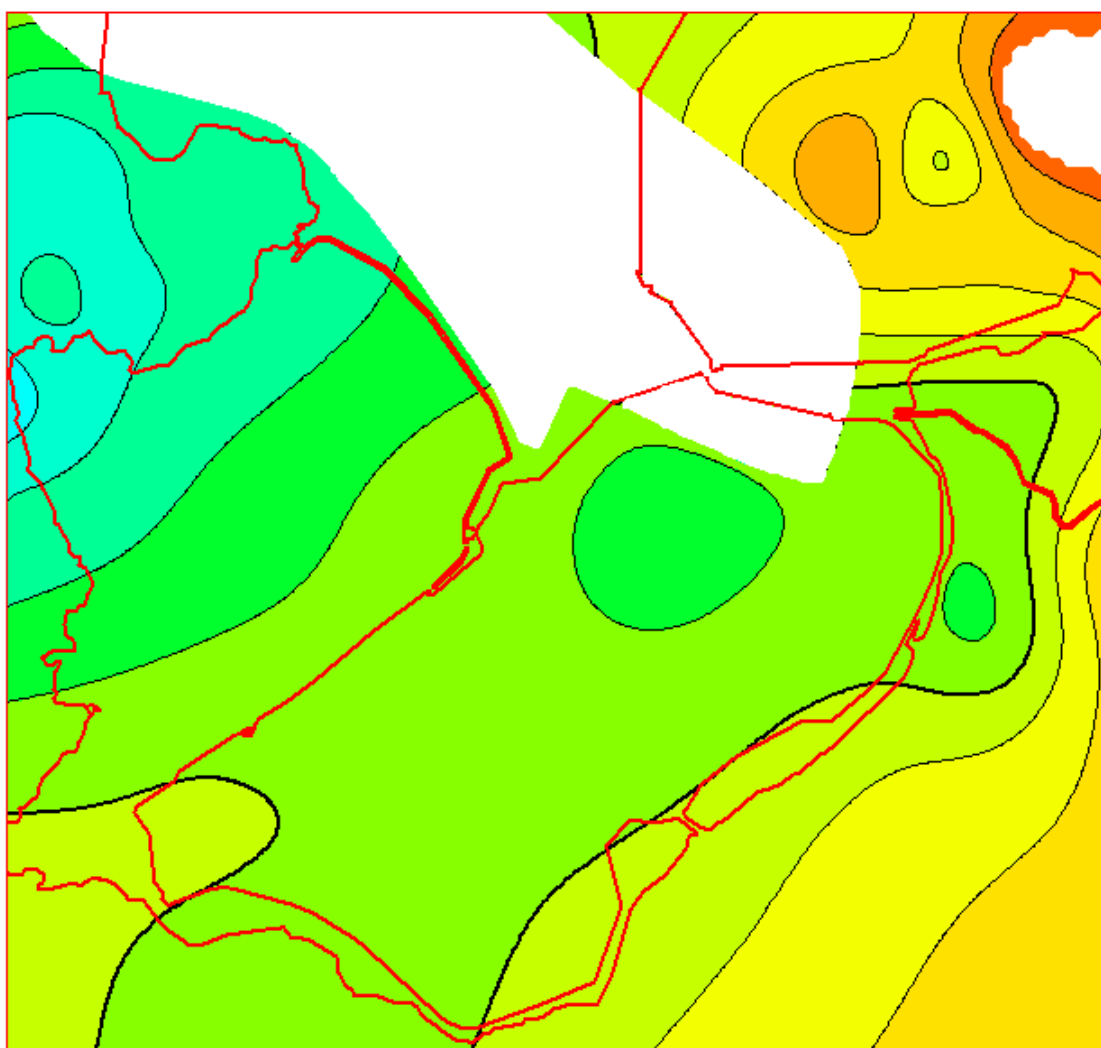
In de volgende paragrafen worden de resultaten van de verkenning beschreven. De uitgebreide behandeling van de Slochteren zandsteen wordt in paragraaf 3.2 behandeld. De overige watervoerende eenheden komen aan bod in paragraaf 3.3.

3.2 Slochteren zandsteen

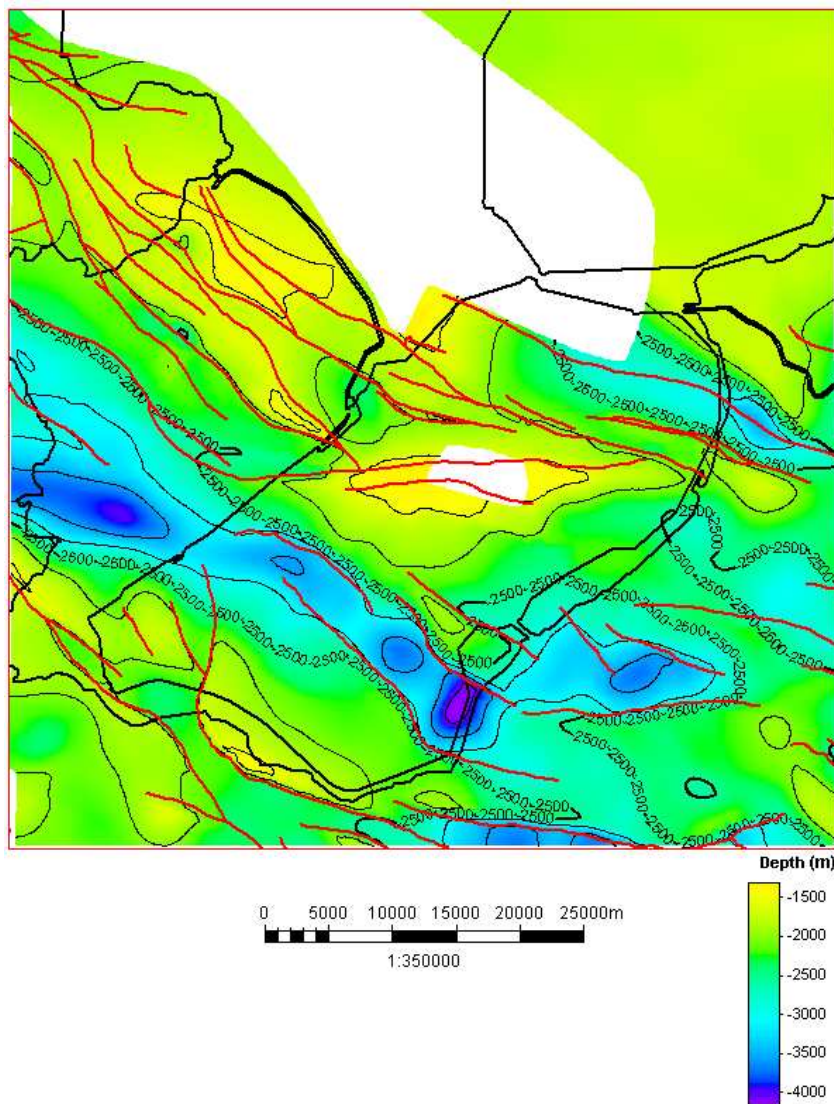
3.2.1 Algemene beschrijving, diepte en dikte

De Slochteren zandsteen is met name bekend als reservoir gesteente voor olie en gas. De zandsteenpakketten worden omschreven als een sequentie van paars tot rood/bruine zanden en conglomeraten met inschakelingen van donkerrode, roodbruine en/of groengrijze ziltige schalies. Deze zanden uit het vroeg Perm (ca. 260-255 Ma) variëren sterk in korrelgrootte, textuur en sedimentaire structuren. Doorgaans worden conglomeraten, oftewel grofkorrelige grindbanken, aangetroffen aan de basis van de Slochteren Formatie. Eolische afzettingen komen met name voor in het midden van de Boven-Rotliegend Groep. De contactzone tussen het Slochteren zandsteen en de bovenliggende Zechstein Groep is vaak gebreccieerd en sterk gecementeerd (RGD, 1993). De zanden hebben een behoorlijke dikte variërend tussen de 50 en 150 meter (Figuur 6) en dit op een diepte van 1.400 tot wel 4.000 meter. Zowel de dikte als de diepte maakt deze zanden een potentiële aquifer voor aardwarmtewinning. Dit is de reden dat de eigenschappen van deze laag hieronder uitgebreid wordt behandeld.

Slochteren zanden zijn niet aanwezig in het noorden van Oostelijk Flevoland waar zij ‘onlappen’ op een structureel hoog genaamd het Texel-IJsselmeer Hoog (TIJH). Dit is te zien op de kaart met diepteligging van de top Rotliegend (waarvan de Slochteren Formatie deel uit maakt (Figuur 7). Ten noorden van dit TIJH, te weten rond Emmeloord en omstreken, is de zandsteen wel aanwezig. De dikte van deze formatie is echter gering in de Noordoostpolder, met name onder Emmeloord.



Figuur 6: Dikte kaart (m) van de Slochteren zandsteen.



Figuur 7: Diepteligging van de Top van de Rotliegend Groep; in deze eenheid zit de Slochteren zandsteen.

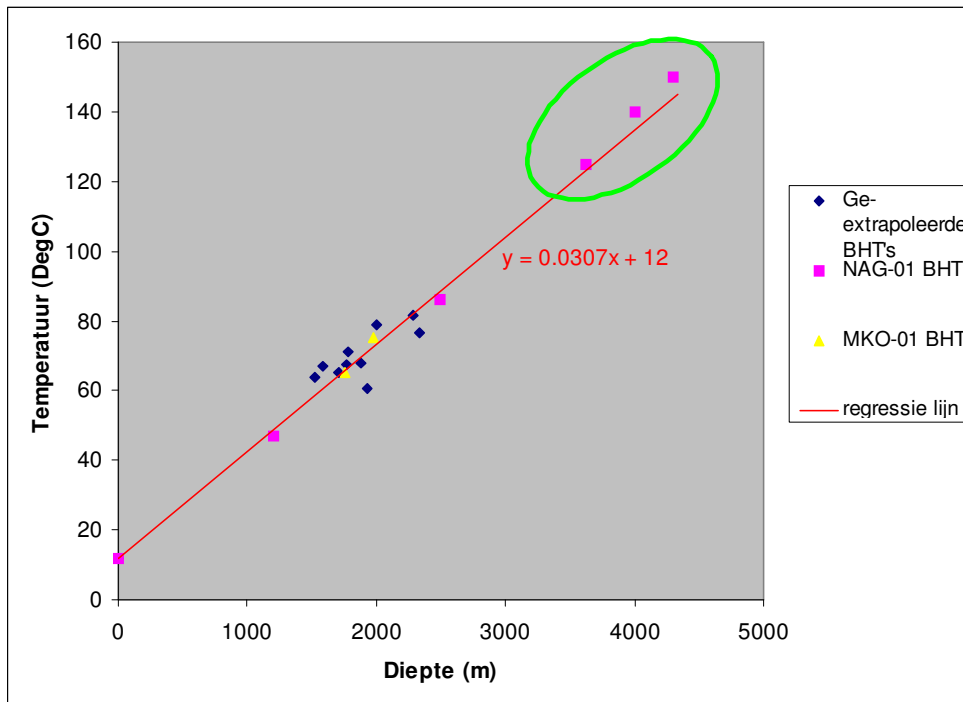
3.2.2 *Temperatuur*

Op grond van de (geringe) temperatuur data die in de gebruikte boringen zijn aangetroffen is een lineaire temperatuurgradiënt voor de ondergrond in Flevoland afgeleid (Figuur 8):

$$T \text{ (degC)} = 0,031 \times Z + 12$$

Waarbij Z = diepteligging in meters en een aangenomen temperatuur direct onder het maaiveld van 12 graden.

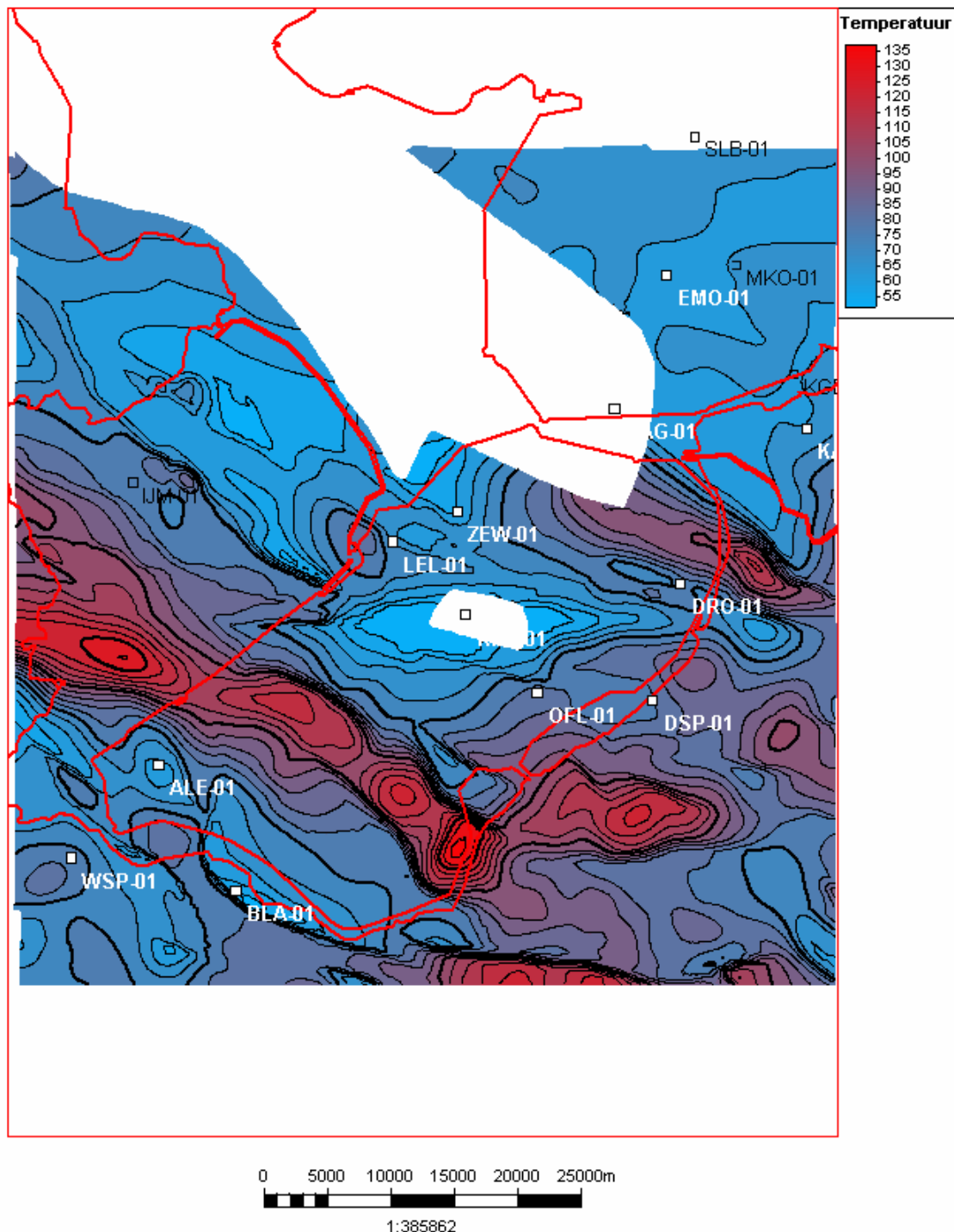
Op grond van de gebruikte gegevens konden er geen geografische verschillen in gradiënt worden afgeleid voor het dieptebereik van 0-3.000m. Dit wil zeggen dat er geen gebieden aan te wijzen zijn, waar de temperatuur gradiënt sterk afwijkt van het gemiddelde. Wel is in de boring Nagele



Figuur 8: Temperatuur-diepte plot met afgeleide gemiddelde temperatuurgradiënt (BHT: BoreHole Temperatuur).

(NAG-01) op grote diepte (> 3.500m) te zien dat de waargenomen temperatuur hoger is dan de gemiddelde gradiënt.

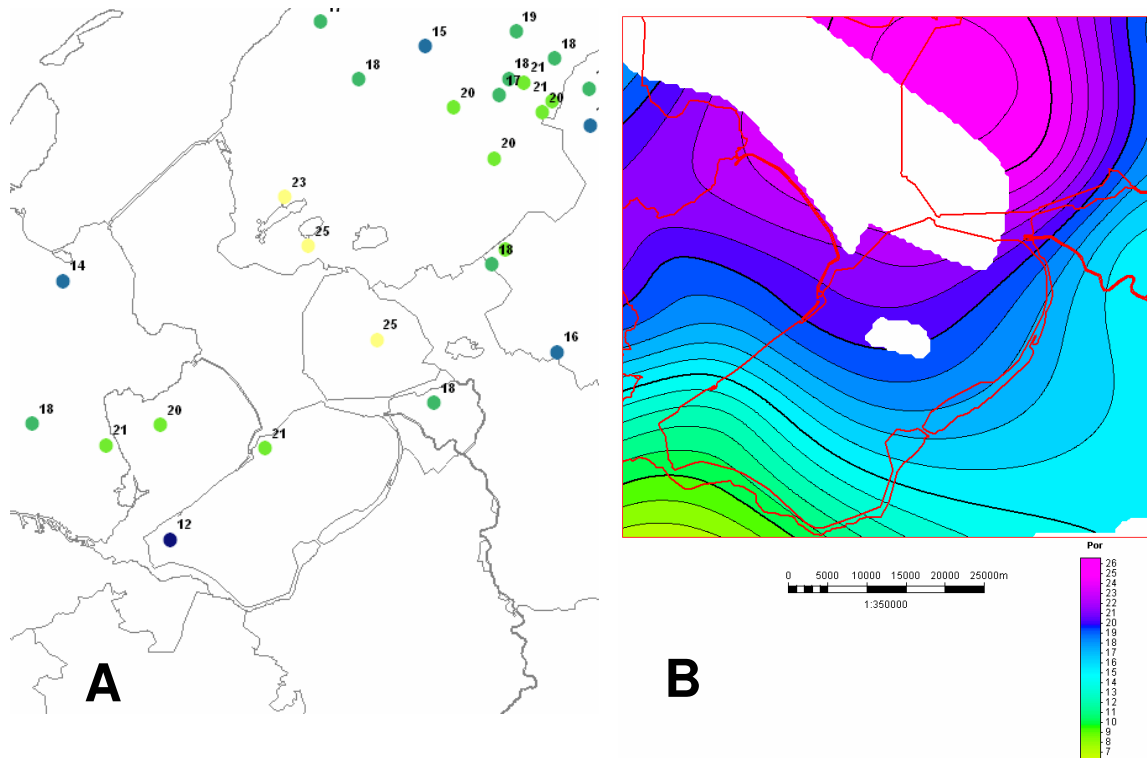
Op grond van deze gradiënt is met behulp van de dieptekaart een temperatuur kaart gemaakt voor de Slochteren Zandsteen (Figuur 9). Opgemerkt wordt dat dit de temperatuur weergeeft aan de top van de zandsteen.



Figuur 9: Temperatuur aan de top van de Slochteren zandsteen.

3.2.3 Porositeit en permeabiliteit

Porositeitdata zijn verzameld uit de diverse kaartbladen van de geologische atlas van de diepe ondergrond van Nederland (Rijks Geologische Dienst, 1993a; Rijks Geologische Dienst, 1993b;



Figuur 10: A Gemiddelde porositeit van Slochteren zandsteen in boringen. B: Geïnterpoleerde porositeitkaart van Slochteren zandsteen.

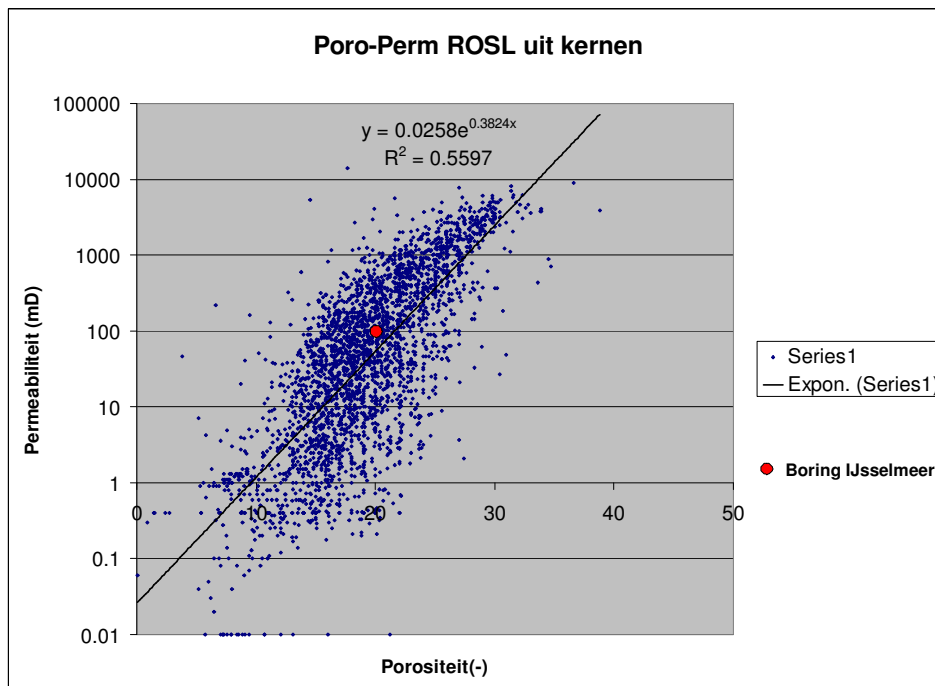
TNO-NITG, 2002). Van de puntdata is een geïnterpoleerde kaart gemaakt die als indicatief beschouwd moet worden. Zo is bijvoorbeeld de diepteligging niet verdisconteerd, terwijl porositeiten uit kernmetingen (Tabel 1) wel een diepteafhankelijkheid laten zien. Met name de porositeit langs het TYH hoog is goed tot uitstekend, variërend van 20 tot wel 30 %. Dit is mogelijk als gevolg van uitspoeling in het geologische verleden (Figuur 10). Dit heeft tevens tot gevolg dat de permeabiliteiten vrij hoog kunnen zijn ondanks de diepte van deze zanden. De porositeit in de omgeving van Almere is echter gering (10-15%, NITG, 1997). De verwachting is dat de permeabiliteit hier tevens veel lager zal zijn dan langs het Texel IJsselmeer-Hoog.

Directe permeabiliteitsmetingen in de Slochteren zandsteen of afgeleid uit puttasten ontbreken vrijwel geheel in de boringen in Flevoland. Slechts in de Boring IJsselmeer-01 (IJM-01) zijn metingen gedaan aan kernen. De gemiddelde permeabiliteit in de Slochteren zandsteen is hier ongeveer 100 mD (dit is equivalent met een ordegrrootte 0,1 m/d aan doorlatendheid).

Tabel 2: Informatie over de gebruikte putten voor de poro-perm gegevens.

put	Volledige naam	kern	diepte (m)	member	member naam	por/pem metingen
KGB-01	KRAGGENBURG-01	geen				
MKO-01	MARKNESSE OOST-01-S1	geen				
LEL-01	LELYSTAD-01	geen				
KNR-01	KNARDIJK-01	geen				
OFL-01	OOST-FLEVOLAND-01	geen				
NAG-01	NAGELE-01	geen				
ALE-01	ALMERE-01	geen				
BLA-01	BLARICUM-01	C-1	1511-1520	ROSL	Slochteren zandsteen	J
		C-2	1651-1660	DC	Limburg groep (niet gespecificeerd)	J
		C-3	1778-1785	DC	Limburg groep (niet gespecificeerd)	J
		C-4	2050-2059	DC	Limburg groep (niet gespecificeerd)	J
DR0-01	DRONTEN-01	C-1	2180-2231	ROSL	Slochteren zandsteen	N
DSP-01	DOORNSPIJK-01	C-1	1500-1581	RB	Burtsandsteen	N
		C-2	1986-2013	ZEZC	Zechstein carbonaat	J
		C-3	2205-2405	ZEZW1-ROSL-DC	Zech. anhydriet-Slo Zst - Limburg Groep	J
EMO-01	EMMELOORD-01	C-1	1685-1700	ROSL	Slochteren zandsteen	N
		C-2	1928-1940	DC?	Limburg groep (niet gespecificeerd)	N
KAM-01	KAMPEN-01	C-1	1810-1830	ROSL	Slochteren Zandsteen	J
MKN-01	MARKNESSE -01	C-1	1695-1710	ROSL	Slochteren Zandsteen	J
SLB-01	SLIJKENBURG-01	C-1	1763-1771	ZEZCP-ZEZ1W	Zechstein caprock (niet gesp)	N
			2010-2025	ROSL	Slochteren Zandsteen	N
SLB-02	SLIJKENBURG-02	C-1	2123-2131.7	ROSL	Slochteren Zandsteen	J
WSP-01	WEESP-01	C-1	2083.5-2087.5	ZEZ3C	Zechstein Carbonaat	N
		C-2	2087.5-2094.5	ZEZ3C	Zechstein Carbonaat	N
		C-3	2094.5-2105.5	ZEZ3C	Zechstein Carbonaat	N
		C-4	2105.5-2114.5	ZEZ3G +ZEZ2T	Grey salt clay Mb + Roof anhydrite Mb	N
		C-5	2151.5-2173.5	ZEZ1R+ZEZ1M	Top Anhydrite Mb. + Midden kleisteen Mb.	N
		C-6	2173.5-2177	ZEZ1M	Midden Kleisteen Mb	N
		C-7	2189-2196.7	ZEZ1M+ROSL	Midden Kleisteen Mb + Slochteren Zst	N
ZEW-01	ZEEWOLDE-01	C-8	2196.7-2208.5	DC	Limburg groep (niet gespecificeerd)	N
		C-9	2228.5-2231	DC	Limburg groep (niet gespecificeerd)	N
		C-1	1442.5-1447	ZEZC	Zechstein carbonaat	N
		C-2	1587-1602.5	ZEZW1?	Zechstein anhydriet	N
		C-3	1620-1638	ROSL	Slochteren Zandsteen	N

Figuur 11 geeft een porositeit-permeabiliteits-crossplot van kernmetingen uit boringen in Centraal Nederland weer (ongeveer een straal van 50 km rondom Flevoland). De permeabiliteit heeft een logaritmische schaal. Deze plot geeft een goede indruk van de spreiding in porositeit en ook permeabiliteit in de zandsteen en representeert de heterogeniteit van het sediment. De gemiddelde waarde van de boring IJsselmeer-01 ligt ongeveer op de regressie lijn, wat de indruk geeft dat de regressie lijn een maat voor de gemiddelde poro-perm relatie is.



Figuur 11: Poro-permrelaties van Slochteren zandsteen in boringen in Centraal Nederland

3.2.4 Thermische energie-inhoud

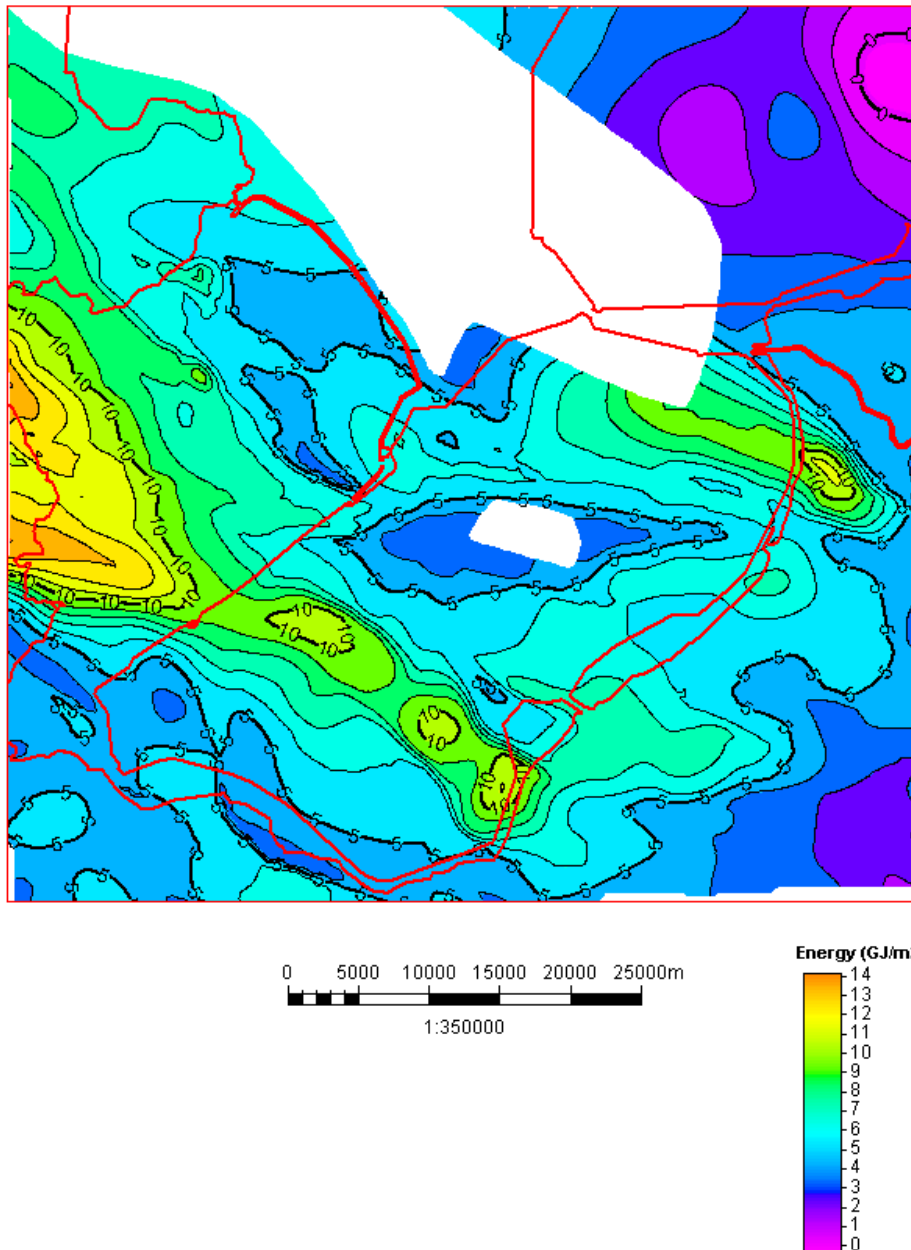
Op basis van de gekarteerde temperatuur, dikte en porositeit van de Slochteren zandsteen zijn kaarten gemaakt van de thermische energie-inhoud uitgerukt in GJ/m^2 , uitgaande van zowel uitkoeling tot 40 en tot 25 graden.

De kaarten worden in Figuur 12 en Figuur 13 weergegeven. De hoeveelheid energie is groter naarmate het water verder wordt uitgeoeld. In de kaarten is de invloed van de temperatuur (=diepte) variatie duidelijk zichtbaar: in de gebieden waar de zandsteen relatief diep ligt is ook de inhoud hoog. Mogelijkerwijs is in deze gebieden de aangenomen porositeit wel te hoog geschat, waardoor ook de thermische energie wordt overschat.

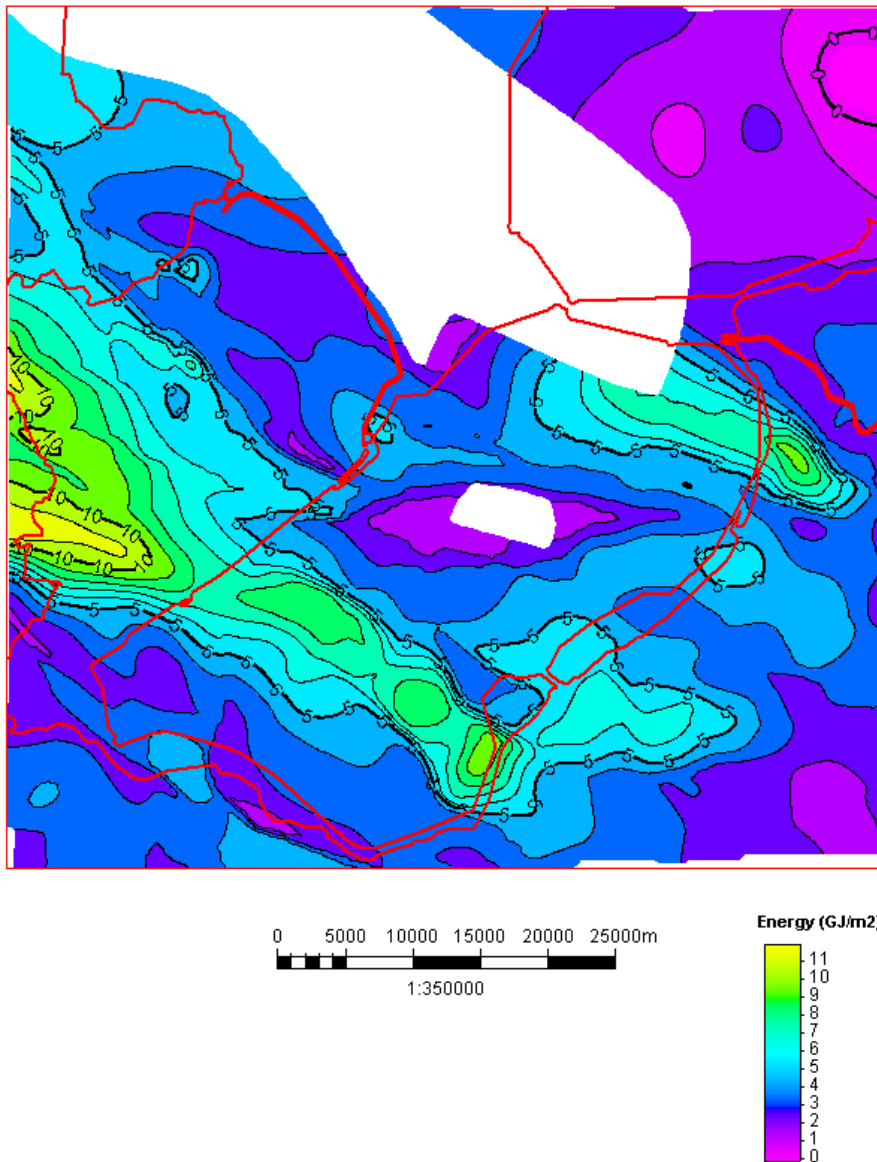
De dikte van de zandsteen is ook van invloed op de thermische energie-inhoud en komt terug in de kaartbeelden. Zo is door de relatief geringe dikte van de Slochteren formatie de energie-inhoud ten noorden van het TIJH relatief laag. Dit verklaart waarom de energie-inhoud in beide figuren heel gering tot afwezig is voor grote delen van de Noordoostpolder. Verderop in dit rapport zal blijken dat het potentieel voor aardwarmtewinning in de Noordoostpolder toch relatief gunstig is, door de gunstige eigenschappen van de watervoerende lagen in dit gebied. Hierdoor kan toch een hoog debiet worden verpompt en daardoor een redelijk vermogen per doublet worden behaald. De plekken waar de Slochteren formatie helemaal niet voorkomt, zoals op de locatie van het Texel IJsselmeer Hoog (onder Urk), is het niet mogelijk geothermische warmte te produceren uit de Slochteren zandsteen. De locaties bij het vliegveld Lelystad liggen door de geringe dikte (40 m) en diepteligging ongunstig en hebben daardoor weinig potentie.

Voor een goede analyse van het geothermisch te leveren vermogen, is het van belang dat zowel de thermische energie-inhoud als de karakteristieken voor doorstroming in de watervoerende laag worden geanalyseerd. Uit berekeningen blijkt namelijk dat er een groot verschil kan zijn tussen de thermische inhoud en het mogelijk te leveren vermogen. Voor de geologische situatie in Flevoland is dit ook het geval. In paragraaf 4.2 wordt hier nader op ingegaan.

De invloed van de porositeitvariatie op de energie-inhoud is zo op het oog relatief gering.



Figuur 12: Thermische energie-inhoud in GJ/m² van de Slochteren zandsteen bij uitkoeling tot 25 graden.



Figuur 13: Thermische energie-inhoud in GJ/m² van de Slochteren zandsteen bij uitkoeling tot 40 graden

3.3 Overige watervoerende eenheden

3.3.1 Tertiaire eenheden

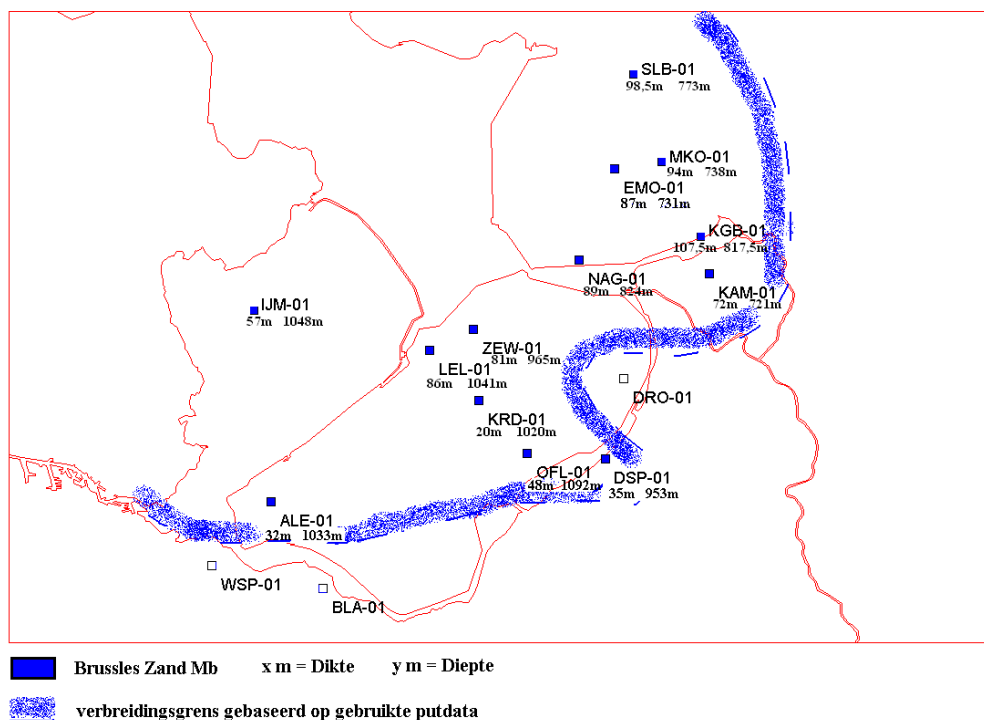
Breda Formatie

De Breda Formatie bestaat uit een opeenvolging van mariene, glauconiet-zanden, zandige klei tot klei, afgezet in een ondiep-mariene milieu. Glauconietrijke zanden worden voornamelijk waargenomen aan de basis van de formatie. De formatie is vrijwel overal aanwezig in de ondergrond van Flevoland. De dikte varieert tussen de 100 tot 450 meter bij een diepte vanaf 300 tot maximaal 950 meter. De relatief ondiepe ligging van deze zanden heeft als gevolg dat de verwachte temperaturen, die zullen liggen in de orde van 20 tot 40°C, te gering zijn voor aardwarmte winning. Over permeabiliteit en porositeit is vanuit diepe boringen slechts weinig

bekend. In de studie naar geothermische reserves in de Centrale Slenk (DGV, 1989) is op een diepte van zo'n 950 m een gemiddelde permeabiliteit voor de Breda formatie gerapporteerd van 820 mD bij een gemiddelde porositeit van 40%. Hiervoor zijn echter zowel directe permeabiliteitsmetingen als ook indirecte schattingen gebruikt. De waarden moeten dientengevolge met enige terughoudendheid genomen worden en zijn niet direct voor Flevoland toepasbaar, aangezien deze gegevens uit een zuidelijker gelegen put (> 75 km afstand) komen. Ook in RGD (1984) worden slechts enkele gegevens over porositeit en permeabiliteit gegeven. In een boring bij Wanneperveen is op een diepte van 260 m de porositeit 27- 30 % en de permeabiliteit 150-200 mD.

Brussels zand member

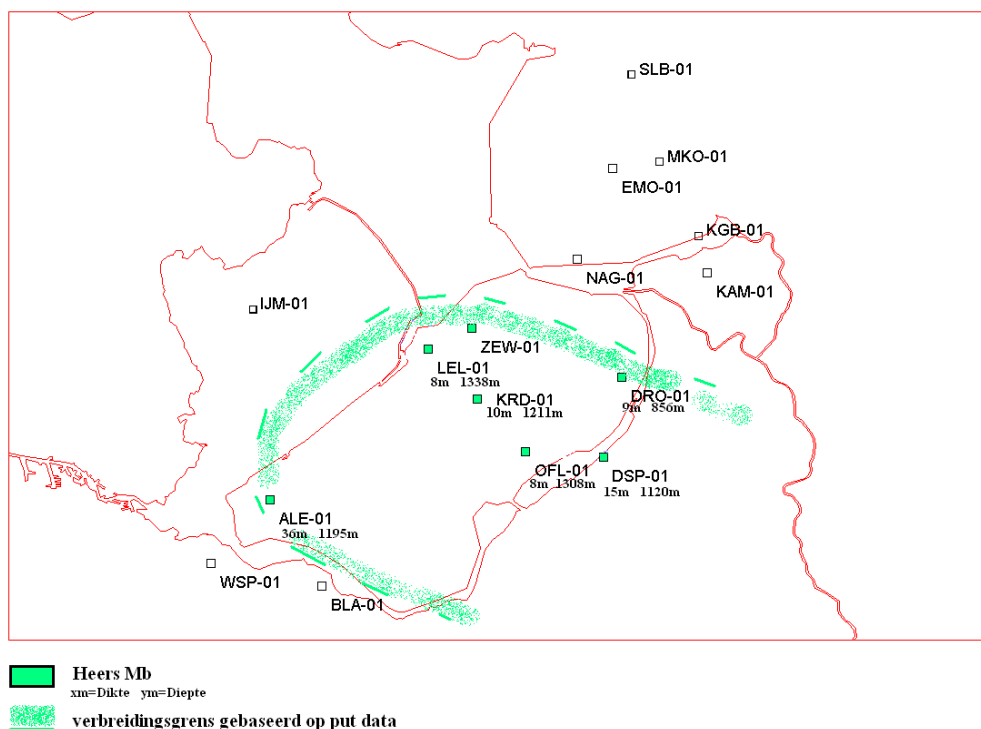
Evenals de Breda Formatie is naar verwachting de Brussels formatie, met een vroeg tot midden Eocene ouderdom, vrijwel overal in de Flevolandse ondergrond aanwezig (Figuur 14) is. De huidige diepteligging is vanaf ongeveer 700 tot 1100 meter. De Brussels zanden zijn gedefinieerd als een successie (openvolging van gesteentelagen) van groengrijze, glauconietrijke zanden. Korrelgrootte is omschreven als zeer fijn. Het bovenste deel van de successie bestaat uit kalkige gecementeerde zandsteen met een dikte van enkele decimeters en rijk aan fossiele fragmenten. Richting de basis van deze eenheid worden de zanden kleiiger en neemt het glauconiet gehalte af. De dikte ligt tussen de 20 tot 90 meter. Permeabiliteit en porositeit zijn slechts spaarzaam gemeten. In RGD (1984) wordt voor het Zand van Brussel in een boring bij De Wijk op 270 m diepte waarden gegeven van 60-150 mD, bij 19% porositeit, terwijl indirecte permeabiliteitschattingen waarden van 300-600 mD geven (boring Schoonloo). Gezien de lithologie beschrijving zal de permeabiliteit in Flevoland met name in de boven- en onderste intervallen beperkt zijn. Daarnaast zal de energie-inhoud gering zijn als gevolg van relatief lage temperatuur (35-45°C).



Figuur 14: Verbreiding, dikte en diepteligging van het Brussels zand member

Heers member

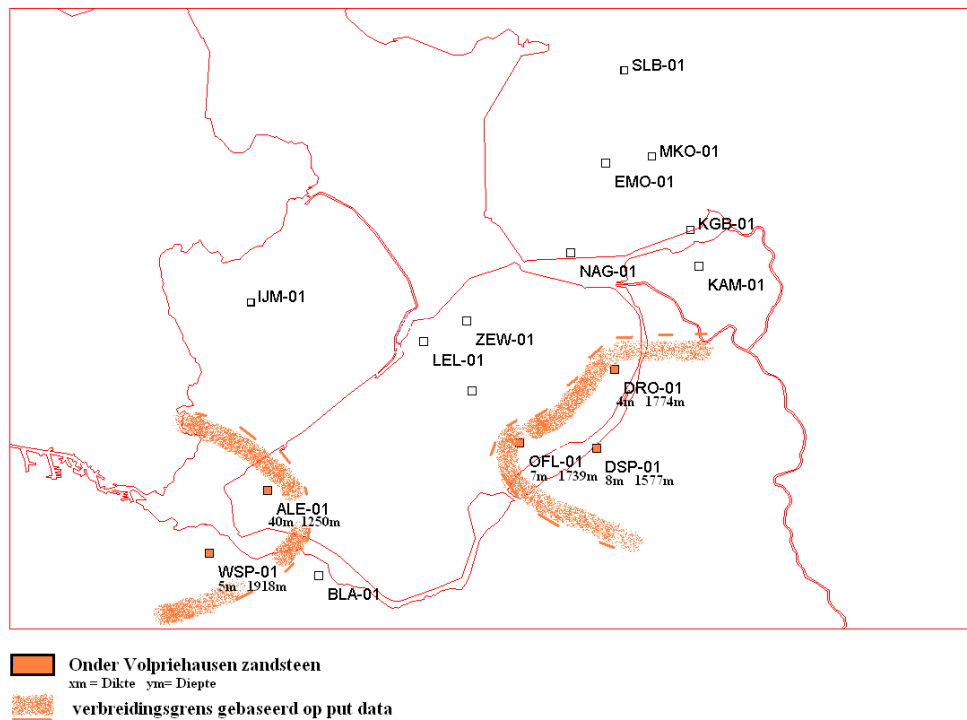
De geëxtrapoleerde verbreiding van het Heers zand is zichtbaar in Figuur 15. Putgegevens wijzen op geringe diktes variërend tussen de 5-10 meter. Alleen de put geboord in de buurt van Almere geeft een respectabele dikte aan van 36 meter. Vanwege het feit dat er geen putten aanwezig zijn in het gebied tussen Almere en het (noord-)oosten van Flevoland is de dikte onbekend. De Heers member wordt beschreven als zeer fijnkorrelig zand, met glauconiet, deels kalkrijk. Tevens kunnen kleibankjes aanwezig zijn. De geïnventariseerde boorgatmetingen impliceren dat de zanden voornamelijk mergelig zijn wat mogelijk inhoudt dat de porositeit en permeabiliteit laag zullen zijn. Deze eigenschappen zijn echter niet gemeten. De zandpakketten worden waargenomen op een diepte van 850 tot 1350 meter. De beperkte gegevens en kalkig/kleiïge lithologie maken deze zanden slechts zeer beperkt bruikbaar voor aardwarmtewinning.



Figuur 15: Verbreiding, dikte en diepteligging van het Heers zand member

3.3.2 Trias eenheid- Onder Volpriehausen zandsteen

De Volpriehausen zandsteen member behoort tot de onder Germaanse Trias groep die ongeveer 240 miljoen jaar geleden is afgezet. Volpriehausen zandsteen kan met name gevonden worden in het zuiden, waar het tevens gescheiden is door de Volpriehausen kleisteen, en het oosten van Nederland. Deze fijnkorrelige Trias zanden, variërend tussen de 1.250 tot 1.950 meter diepte, zijn echter in de omgeving van Flevoland grotendeels geërodeerd en daardoor zeer beperkt aanwezig (Figuur 16). Enkel in het zuidoosten en westen zijn geringe diktes aangetroffen met uitzondering van de Almere put, waar een dikte van 40m is gemeten. Logs geven aan deze zanden voornamelijk



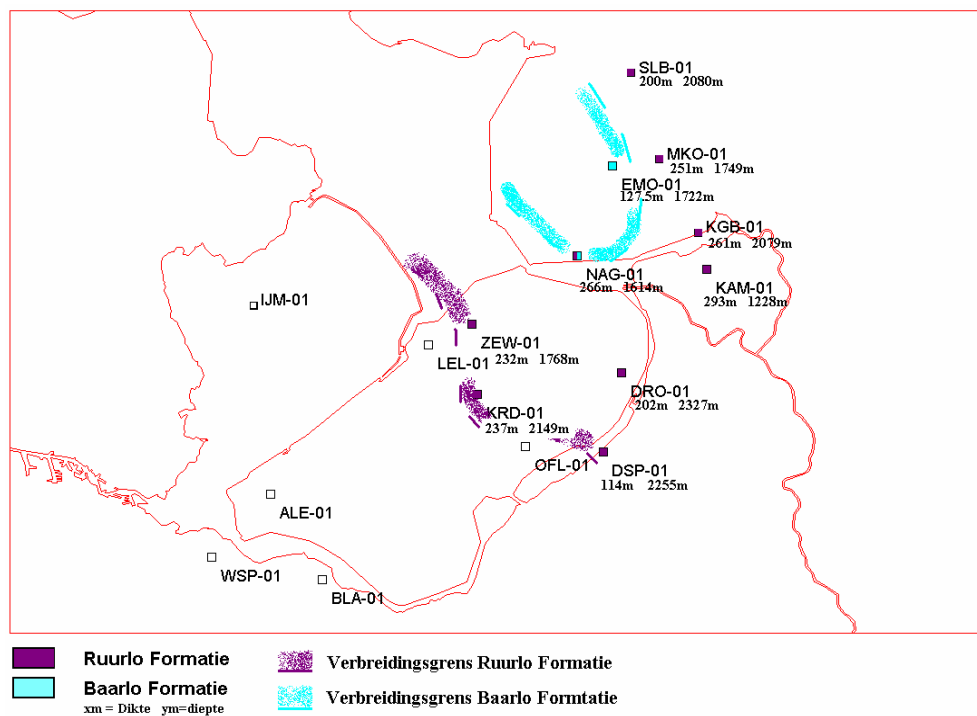
Figuur 16: Verbreiding, dikte en diepteligging van de Volpriehausen zandsteen member.

kleilig zijn, welke de permeabiliteit en porositeit negatief zullen beïnvloeden. Dit laatste wordt tevens bevestigd door de lithologie beschrijvingen.

3.3.3 Carboon eenheden - Ruurlo en Baarlo formaties

De Ruurlo en Baarlo formaties behoren tot de Limburg groep en behoren tot het Carboon ouderdom (ca.326-299 Ma afgezet). Beide formaties hebben een aanzienlijke dikte welke voornamelijk bestaat uit donkergrijze tot zwarte kleistenen met inschakelingen van fijnkorrelige ziltige zandstenen. De slecht gesorteerde zanden in de Ruurlo formatie zijn hooguit 5 m dik en voornamelijk gecementeerd. In beide formaties zijn koollagen aanwezig met variabele diktes. Deze formatie kenmerkt zich door opeenvolgende sequenties van fijn naar grof wordende afzettingen van gemiddeld 50 m dik. Een vergelijkbare opeenvolging wordt waargenomen in logs van boringen waarin de Baarlo formatie wordt aangetroffen. Ook hier hebben we te maken met sequenties van fijn naar grof sediment variërend in dikte van 20-300m. Uit de boorgatmetingen van NAG-01 en EMO-01 blijkt dat de Baarlo formatie slechts enkele zandbankjes bezit van een paar meter dik.

Het gecementeerde karakter van de zanden, die bovendien fijnkorrelig zijn en slechts diktes bereikt van maximaal 5 m heeft als consequentie dat beide formaties niet geschikt lijken te zijn voor aardwarmte winning.



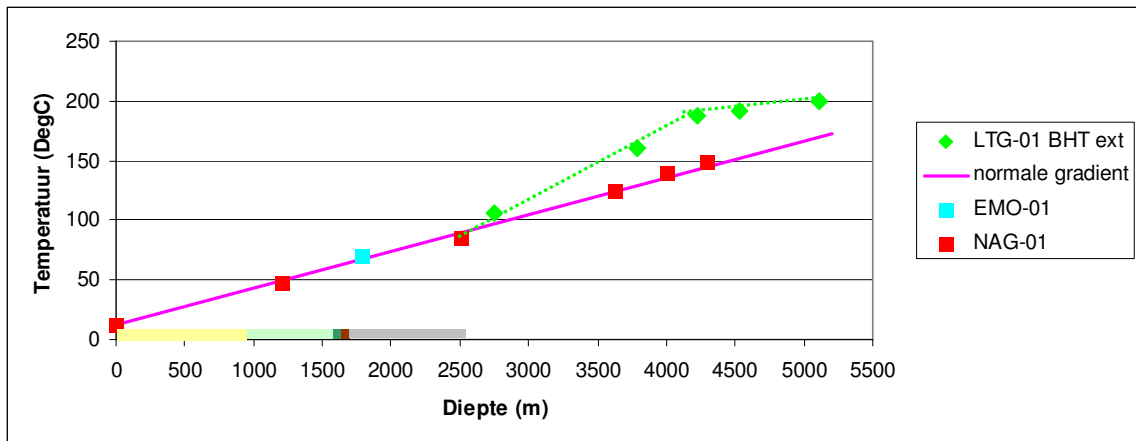
Figuur 17: Verbreiding, dikte en diepteligging van de Ruurlo en Baarlo Formatie.

3.4 Boring Luttelgeest 01

Bij de provincie Flevoland is bekend dat Total E&P Nederland in 2005 een haalbaarheidsonderzoek heeft laten uitvoeren om een door TOTAL gerealiseerde diepe boring (> 5 km diep) in de Noord-oostpolder (boring Luttelgeest-01; LTG-01) nabij Emmeloord, te hergebruiken als geothermische bron vanwege de specifieke, gunstige temperatuurconditie ter plekke. In onderstaande paragraaf wordt ingegaan op deze specifieke temperatuurconditie ter plaatse. Daarnaast wordt globaal beschreven wat de mogelijke potentie is voor geothermisch hergebruik van de boring. Hiertoe heeft Total E&P Nederland de temperatuurgegevens en gegevens over de putcompletering (de putafwerking) ter beschikking gesteld voor gebruik binnen deze inventarisatiestudie.

3.4.1 Temperatuur in LTG-01

In onderstaand Figuur 18 is weergegeven hoe hoog de temperaturen zijn die in de boring LTG-01 zijn waargenomen. Uit gegevens van de dichtbijgelegen boring Emmeloord-01 blijkt dat in de eerste 2.500 m een normale temperatuur gradiënt aanwezig is (ruim 30 graden per kilometer). Vanaf ongeveer 2.500 m is in boring LTG-01 een twee keer zo hoge gradiënt zichtbaar, die leidt tot een temperatuur van zo'n 190 graden op ruim 4.200 m diepte. Op grotere dieptes is de gradiënt weer een stuk lager, zo'n 30 graden per kilometer.

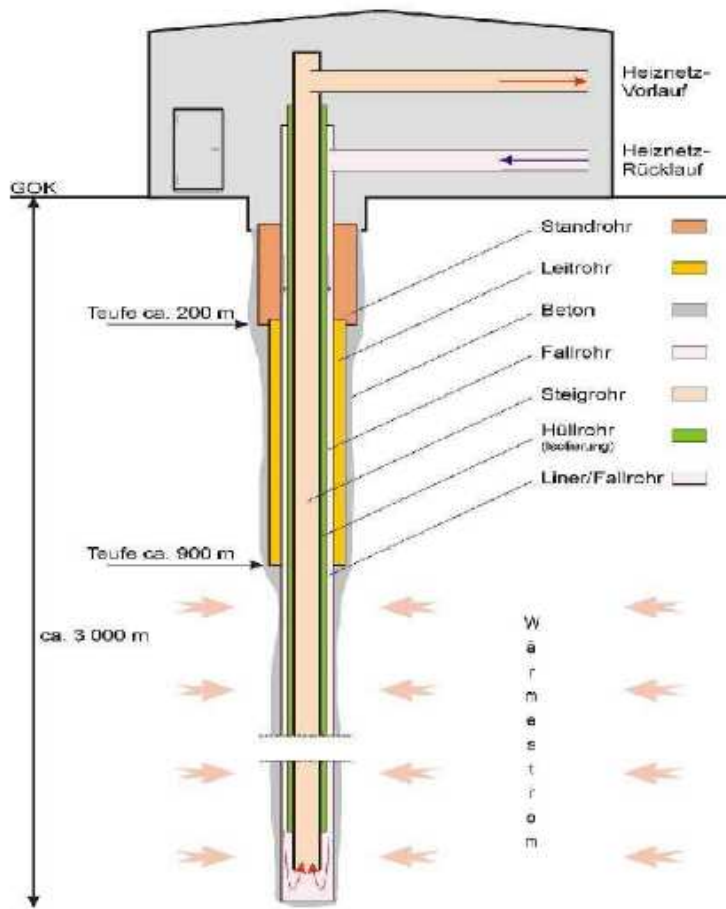


Figuur 18: Temperatuurgradiënt in boring Luttelgeest-01 (LTG-01) in groen, inclusief data van boring Emmeloord (EMO-01) en Nagele (NAG-01). De rode lijn is de regressielijn door NAG-01, en representeert de regionale thermische gradiënt.

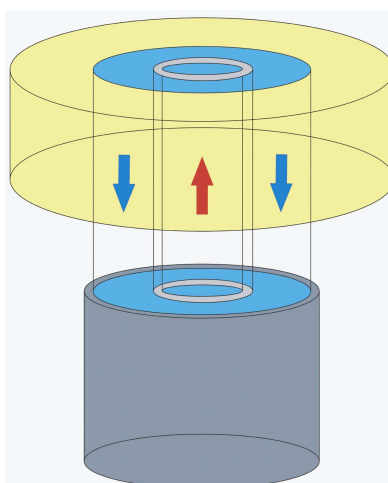
3.4.2 *Principe Diepe boorgatwarmtewisselaar*

Bij een dusdanige diepe boring met gunstige temperatuurcondities is de toepassing van een diepe, gesloten boorgatwarmtewisselaar (Figuur 19) mogelijkwerwijs een gunstige optie (zie ook van Wees et al, 2007). Dit is in eerder genoemd onderzoek nader onderzocht.

Tiefe Erdwärmesonde



Figuur 19: Schema van een diepe boorgatwarmtewisselaar in Prenzlau (Duitsland).



Figuur 20: Coaxiale boorbuis, met neerwaartse stroming van relatief koelwater door de buitenbuis en opwaartse stroming van opgewarmd water door de binnenbuis.

Bij een toepassing van een boorgatwarmtewisselaar wordt een coaxiale pijp in een boorgat gebracht. De buitenste buis wordt gevuld met water. Door warmteconvectie door de buitenste buis wordt dit water opgewarmd door het omringend gesteente gedurende het transport naar beneden, waarna het water door dichtheidsverschil door de binnenste buis vanzelf weer omhoog stroomt. Het opgewarmde water wordt eenmaal bovengronds door een warmtewisselaar geleid, waarna het afgekoelde water middels een pomp weer in de buitenste buis wordt gebracht (Figuur 20, Van Wees et al, 2007). Dit principe wordt in diepe boringen reeds op verschillende plekken in Europa met succes toegepast (o.a. in Prenzlau en Arnsberg in Duitsland (Schellschmidt et al, 2005) en in Weissbad in Zwitserland (Kohl et al. 2000).

Het thermisch vermogen van een diepe boorgatwarmtewisselaar ligt grofweg in de orde grootte van 300kW - 1 MW. Het vermogen is sterk afhankelijk van:

Geologische condities:

- Temperatuurgradiënt
- Warmtegeleidend vermogen van het omliggende gesteente

Conditie van de boring en de boorgatwarmtewisselaar:

- Diepte van de boring
- Diameter van het boorgat
- Wel of niet toepassen van isolatie tussen binnen en buitenbuis
- Debiet (m^3/h) van het water dat in het boorgat circuleert.

Omdat de geothermische warmte rondom het boorgat langzaam wordt onttrokken gedurende de levensduur van het systeem, zal de temperatuur rondom het boorgat langzaam lager worden. Hierdoor neemt ook het vermogen in de loop van de tijd enigszins af, al wordt de afname wel steeds geringer bij lange levensduur.

3.4.3 Potentie van een boorgatwarmtewisselaar in LTG-01

Er zijn enkele eenvoudige modelberekeningen uitgevoerd van het thermisch vermogen van een boorgatwarmtewisselaar waarbij de condities van boring LTG-01 (diepte, diameter, hoge geothermische gradiënt) min of meer als uitgangspunt hebben gediend.

Bij een aangenomen stroomsnelheid van $15 m^3/h$ wordt onder (de simpele) aanname van een constant warmtegeleidend vermogen van het gesteente een initieel thermisch vermogen van 0,8 MW verkregen, dat na 30 jaar is afgenomen tot 0,65 MW. De grote diameter van het boorgat draagt bij aan het relatief hoge vermogen, bij kleine diameters (zoals die gewoonlijk in diepe boorgaten worden toegepast) zou het vermogen significant kleiner zijn, mede omdat dan ook grote debieten niet mogelijk zijn.

De berekeningen laten zien dat door de gunstige, hoge temperatuurgradiënt ter plaatse, het thermisch vermogen zo'n 30% groter is dan wanneer "slechts" de voor Nederland gemiddelde temperatuurgradiënt van circa 31 graden per km aanwezig zou zijn.

TOTAL E&P Nederland BV heeft afgezien van verdere ontwikkeling van de put als geothermische bron. De put is afgewerkt door o.a. het aanbrengen van grote cementpluggen op verschillende dieptes en is vervolgens geabandonneerd. Door de aanwezigheid van de cementpluggen is het eventueel hernieuwd toegankelijk maken van het boorgat voor geothermische toepassing zeer kostbaar (zie Tabel 3).

Tabel 3: Diepte en dikte van de cementpluggen in de boring LTG-01.

Diepte cementplug	Dikte
6-100 m	94 m
1.020 – 1.070 m	50 m
2.345 – 2.500 m	155 m
4.053 – 4.518 m	465 m

3.4.4 Hot Dry rock toepassing voor Luttelgeest e.o.

Momenteel wordt er op een aantal plekken in Europa onderzoek gedaan naar de toepassing van Hot Dry Rock (HDR) technologie. Hierbij wordt door het toepassen van hoge druk een diepgelegen, slecht of ondoorlatend gesteente gekraakt en ontstaat een kunstmatig netwerk van doorlatende breuken en spleten rondom het boorgat waarin vervolgens water wordt geïnjecteerd. Dit water warmt op doordat het in contact staat met het warme gesteente en kan vervolgens worden teruggewonnen. Hierbij wordt de warmte via een warmtewisselaar onttrokken. In Basel (Zw) en in Soultz (F) lopen momenteel praktijkprojecten, waarin de technische en economische haalbaarheid van HDR wordt getoetst. Deze worden door respectievelijk de Zwitserse overheid en de EU gefinancierd. Op deze locaties is sprake van een hoge temperatuurgradiënt, waardoor de rendabiliteit van het systeem relatief groot is.

Met deze techniek is nog weinig ervaring en ze kan dus nog niet worden beschouwd als commercieel toepasbaar. In het lopende EU project ENGINE worden momenteel de ervaringen van deze en andere wereldwijde projecten geanalyseerd en uitgewisseld. Een van de belangrijke onzekerheden van de techniek is het seismische risico, vanwege de hoge druk die moet worden toegepast om het gesteente te kraken. Zo ligt in Basel momenteel het project stil sinds december 2006, omdat door de toegepaste hoge druk spanningsveranderingen in de ondergrond optraden, die hebben geleid tot een serie lichte aardbevingen (maximaal magnitude 3.2). Deze aardbevingen hebben de publieke perceptie over het project negatief beïnvloed. Momenteel is onbekend of en wanneer het injectieproces weer kan worden opgestart.

Wanneer deze techniek in de (nabije) toekomst geheel geconditioneerd en beheersbaar kan worden uitgevoerd mag worden verwacht dat voor toepassing ervan eerst wordt gekeken naar die gebieden met een hoge temperatuurgradiënt, omdat die het vermogen en dus de economische haalbaarheid sterk kan vergroten (vgl. met effect bij boorgatwarmtewisselaar 3.4.3). Mogelijkerwijs komt dan ook het gebied in de Noordoostpolder rondom Luttelgeest als potentieel toepassingsgebied naar voren, omdat blijkt uit figuur 18 dat op een diepte van 2500-4200m de regionale thermische gradiënt hier twee maal zo hoog is vergeleken met de rest van Nederland. Dit zou de economische haalbaarheid van HDR op deze locatie naar verwachting positief beïnvloeden.

4 Mogelijke Toepassingen in Flevoland

4.1 Warmtevraag Flevoland

Of diepe geothermie van (economisch) belang kan zijn voor de provincie, gemeenten, uitvoerende bedrijven en bewoners, hangt er vooral vanaf of er voldoende vermogen uit een bron kan worden gehaald en of er afnemers van warmte (en koude) zijn in de buurt van de bron. Om de vertaling te maken van het geothermisch potentieel in concrete praktisch toepasbare informatie voor projectontwikkelaars is gekozen om het thermisch vermogen van 10 case studies in de Provincie Flevoland door te rekenen, waarbij de uitgangspunten uit paragraaf 2.2 zijn gehanteerd.

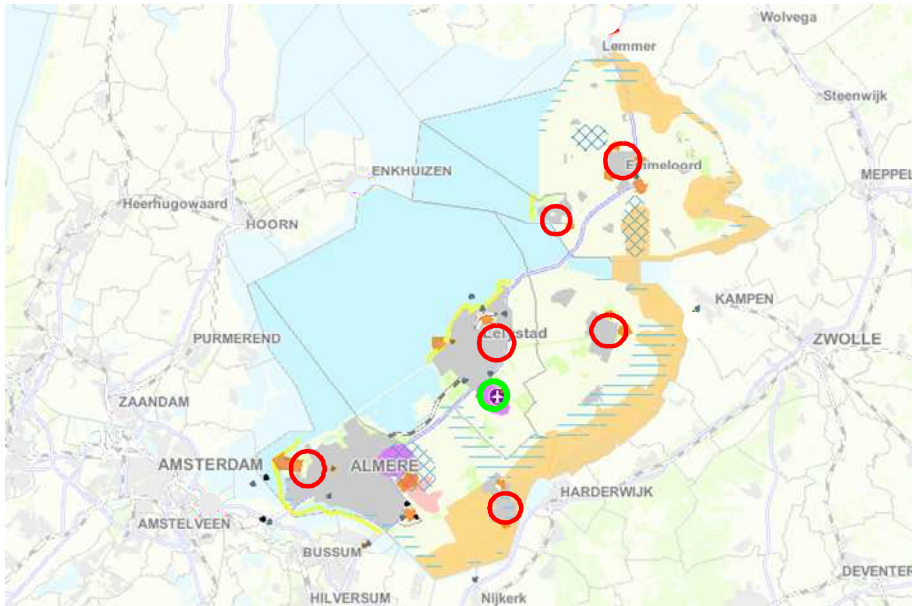
Voor deze berekening is alleen uitgegaan van het thermisch vermogen van de Slochteren formatie, omdat, zoals al eerder aangegeven, van deze formatie verreweg de meeste data beschikbaar is. De berekeningen dienen om een algemene indruk te geven van het mogelijk te winnen thermisch vermogen op en rond deze plaatsen. De uitkomsten zijn niet op grond van locale gegevens afgeleid en dienen dus als zodanig ook niet als locatiespecifiek opgevat te worden.

De Flevoland case studies zijn een selectie van 10 gebieden die op dit moment afnemers van warmte zijn en mogelijk grotere afnemers worden in de toekomst. Een aantal van de case studies zijn woonwijken in en rondom stedelijk gebied, andere zijn gebieden waar tuinders zich hebben gevestigd. De case studies worden in onderstaande tabel gepresenteerd.

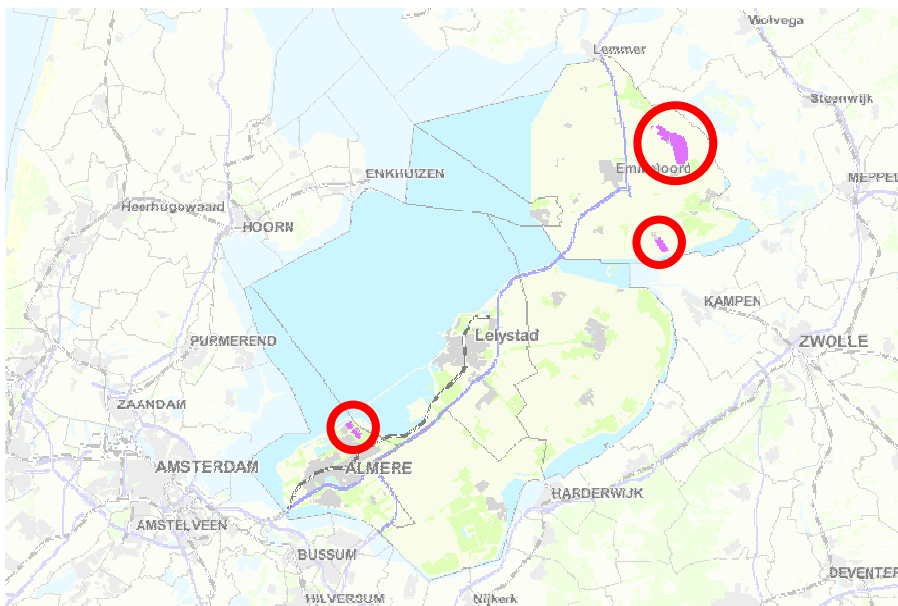
De gebieden zijn in de volgende Figuur 21 (stedelijk) en Figuur 22 (tuinbouw) weergegeven.

Tabel 4: Flevoland case studies

	Locatie	Type bebouwing
1	Lelystad	Woningen
2	Emmeloord	Woningen
3	Dronten	Woningen
4	Zeewolde	Woningen
5	Urk	Woningen
6	Almere	Woningen
7	Vliegveld Lelystad	Utiliteit
8	Noordoostelijk deel Noordoostpolder	Tuinbouw
9	Zuidoostelijk deel Noordoostpolder	Tuinbouw
10	Almere	Tuinbouw



Figuur 21: Locaties van “stedelijke uitbreiding”, waarvoor een thermische vermogensberekening is uitgevoerd (rode cirkels). In groene cirkel de extra locatie (Vliegveld Lelystad) die is doorgerekend



Figuur 22: Locaties van “tuinbouw uitbreiding” waarvoor een thermische vermogensberekening is uitgevoerd (rode cirkels).

4.2 Resultaten uitwerking case studies

De resultaten zijn samengevat in twee tabellen. In tabel 5 worden de stedelijke gebieden weergegeven. Hierbij is uitgegaan van uitkoeling tot 40 graden. In tabel 6 worden de vermogens voor 3 tuinbouwgebieden gegeven, hierbij is uitkoeling tot 25 graden aangehouden.

Tabel 5: Thermisch vermogen van locaties "stedelijke uitbreiding"

Stedelijk gebied (uitkoeling 40C)	Input data					Inhoud GJ/m2	Input data			Vermogen <i>minimale COP 13 bij 22 GJ/j/huis</i>		
	diepte (m)	T (°C)	dikte (m)	poro (-)	ΔT (°C)		Perm mD	Kh Dm	Q m3/u	Vermogen MW(MJ/s)	aantal huizen per doublet	levensduur jr
Lelystad	1880	72	140	0.21	32.0	8.9	100	14	160.00	6.3	4100	50
Emmeloord	1800	68	60	0.23	28.0	3.7	200	12	120.00	4.1	2700	31
<i>Emmeloord (alternatief)</i>			60	0.25		3.7	300	18	170	5.4	3500	24
Dronten	2190	80	145	0.18	40.0	10.0	70	10	150.00	7.4	4800	40
Zeewolde	1610	62	150	0.2	22.0	8.1	100	15	110.00	3.0	2000	68
Urk geen Slochteren zanden: ligt boven TIJH												
Almere stedelijk	1735	66	125	0.12	26.0	6.7	10	1	12	0.4	300	33
Extra												
Vliegveld Lelystad	1700	64	40	0.19	24.0	2.2	140	6	50.5	1.5	1000	40.5

Tabel 6: Thermisch vermogen van tuinbouw gebied

Tuinbouw gebied (uitkoeling 25C)	Input data					Inhoud GJ/m ²	Input data			Vermogen <i>minimale COP 13</i> 12309.5 GJ/j/ha		
	diepte (m)	T (°C)	dikte (m)	poro (-)	ΔT (°C)		Perm mD	Kh Dm	Q m ³ /u	Vermogen MW(MJ/s)	aantal hectare per doublet	levensduur jr
NO deel Noordoostpolder	1750	66	65	0.23	41.0	3.9	200	13	160	8.1	9	25
ZO deel Noordoostpolder	1700	65	75	0.2	40.0	4.3	100	8	90	4.4	5	44
Almere Tuinbouw	1735	66	123	0.12	40.5	6.6	10	1	16	0.8	1	25

Met name het noorden van de provincie, ten noorden en zuiden van het Texel IJsselmeer Hoog lijken goede mogelijkheden te bieden voor aardwarmte. Door de gunstige dikte van de Slochteren formatie, en gunstige temperaturomstandigheden zijn er goede mogelijkheden voor een aardwarmte project bij Dronten en Lelystad. De relatief lage energie-inhoud in de Noordoostpolder, veroorzaakt door relatief geringe dikte van de Slochteren formatie, wordt gecompenseerd door de gunstige eigenschappen van de watervoerende laag, waardoor een hoog debiet kan worden verpompt en toch een redelijk vermogen per doublet te behalen is. De plekken waar de Slochteren formatie helemaal niet voorkomt, zoals op de locatie van het Texel IJsselmeer Hoog (onder Urk), is het niet mogelijk geothermische warmte te produceren uit de Slochteren zandsteen. De locaties bij het vliegveld Lelystad liggen door de geringe dikte en diepteligging ongunstig en hebben daardoor weinig potentie. Ter vergelijking: in Duitsland, met geologisch vergelijkbare omstandigheden als in Nederland, gaat men er vanuit dat de dikte van de producerende laag tenminste 50 meter moet zijn. De dikte van de Slochteren formatie onder het vliegveld Lelystad is maar 40 meter. Onder Emmeloord is een dikte van ongeveer 60 m. Ook in het zuiden, met name richting Almere, is de potentie gering, maar dit wordt veroorzaakt door de lage porositeit en dus lage permeabiliteit, waardoor het niet mogelijk is om veel aardwarmte te produceren van een geothermisch doublet.

Voor een goede analyse van het geothermisch te leveren vermogen, is het van belang dat zowel de thermische energie-inhoud als de karakteristieken voor doorstroming in de watervoerende laag worden geanalyseerd. Uit berekeningen blijkt namelijk dat er een groot verschil kan zijn tussen de thermische inhoud en het mogelijk te leveren vermogen. Dit blijkt ook uit de geologische situatie in Flevoland. In het geval van Almere bijvoorbeeld, is het thermisch vermogen van de ondergrond op een diepte van ongeveer 1,8 km aanzienlijk: 6,6 GJ/m², terwijl het mogelijk te leveren vermogen per doublet minder dan 1 MW is. Dit wordt verklaard door de relatief geringe doorstroming in de watervoerende lagen. In de Noordoostpolder is het precies andersom; hier is een relatief lage energie-inhoud door de geringe dikte van de Slochteren formatie, maar juist hoge doorstroming in de watervoerende lagen, waardoor toch een hoog debiet kan worden bewerkstelligd.

Lelystad, Dronten en het Noordoostelijk deel van de Noordoostpolder geven het grootste vermogen en kunnen daardoor de meeste huizen, respectievelijk, het grootste oppervlak tuinbouw gebied voorzien van warmte. Het nadeel van Dronten is dat het reservoir op grotere diepte ligt dan bij de andere case studies, waardoor de investering voor de boring veel hoger zal uitvallen. Aangezien deze een aanzienlijk deel van de investering omvat, heeft dit invloed op de terugverdientijd van deze casus.

Uit een eerste verkennende economische analyse blijkt dat de interne rentevoet van een geothermisch project in het Noordoostelijk deel van de Noordoostpolder zeer positief uitvalt. Hierbij zijn alle investeringen meegenomen voor een puttendoublet (boren en materiaal), installaties (pomp en warmtewisselaar), warmtedistributienet (voor de

warmtevoorziening van woonwijken), reserve gasketel, onderhoud, etc. inclusief alle bijbehorende herinvesteringen. De realisatie van een diepe geothermie project voor het genoemde tuinbouwgebied zou volgens deze eerste berekeningen zelfs beter uitvallen dan voor een referentiesysteem waarbij een conventionele gasketel zou worden gebruikt.

Zoals eerder genoemd is een groot voordeel voor een tuinder dat niet een uitgebreid warmtedistributienet hoeft te worden geïnstalleerd. Hierdoor wordt een aanzienlijk deel van de investering voor de case studies die woonwijken betreffen uitgespaard.

In de berekeningen is niet meegenomen dat tijdens de zomeruren koeling nodig is en dat dit ook met de geothermische bron met behulp van een absorptiekoelmachine zou kunnen worden geleverd.

4.3 Risico's

Het is in feite eigenaardig dat geothermie in Nederland nog zo weinig terrein heeft gewonnen, terwijl in onze buurlanden zoals Duitsland, Denemarken en Frankrijk op tal van plaatsen geothermie gewonnen wordt. Naast het feit dat het een duurzame vorm van warmtevoorziening is en daardoor de uitstoot van CO₂ beperkt blijft, is het energetisch gezien veel logischer een warmtebron direct te koppelen aan warmtebehoefte, zonder daarbij 'hoogwaardige' fossiele brandstoffen te verbranden. Daarnaast is de toename in toepassingen van LTV (Lage Temperatuur Verwarming) een belangrijke factor hierin, omdat het verlagen van de gebruikstemperatuur meer geothermische bronnen, inclusief ondiepe reservoirs, geschikt maakt.

Er is een aantal factoren te benoemen waardoor de realisatie van een diepe geothermie projecten mogelijk wordt bemoeilijkt.

Zoals eerder genoemd in dit rapport zijn de initiële investeringen van een geothermisch doublet met bijbehorende faciliteiten (zoals een warmtedistributienetwerk) zeer kostbaar. Deze hoge initiële investeringen brengen risico's met zich mee. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat ondanks uitgebreide onderzoeken naar de ondergrondse karakteristieken, bij een proefboring blijkt dat een geothermische bron minder productief is dan in eerste instantie geschat. Er kan bijvoorbeeld vervuiling van één van de putten optreden met klei of er kan "scaling" (chemische afzetting) ontstaan in de putten en/of de installatie. Het debiet kan in realiteit ook minder zijn doordat de porositeit en daarmee de doorstroom van het gesteente op diepte minder is dan verwacht. Additionele investeringen voor bijvoorbeeld het artificieel stimuleren van de verbonden poriënruimte zou een gevolg hiervan kunnen zijn. Dit risico kan worden opgevangen door een garantiestelling van een overheid. Het onderbrengen van dit risico bij een verzekeringsmaatschappij maakt dat de boorkosten alleen maar hoger worden.

Door de hoge investeringen is het van belang bij de realisatie van een project lange termijn prijsafspraken te maken met afnemers, zodat initiatiefnemers zekerheid hebben dat

zij hun investering (en herinvesteringen) op termijn terug zullen verdienen. Als de warmteprijs volgens het ‘niet meer dan ander’ (NMDA) principe wordt bepaald, betekent dat, dat de warmteprijs mee zal fluctueren met de gasprijs waar die dan aan gekoppeld is. Afgelopen jaren is de gasprijs gestegen, maar de gasprijsontwikkeling voor de toekomst is onzeker. Dit houdt in dat, vanuit de initiatiefnemer, een onzekerheidsfactor voor de inkomsten moet worden meegenomen. Vanuit het perspectief van de afnemer zijn de jaarlijkse kosten, bij gebruik van het NMDA principe een onzekere factor. Voor beide is in dit geval dus sprake van een financieel risico. Meer zekerheid kan worden geboden als een vaste jaarlijkse prijsstijging voor de warmteprijs wordt afgesproken tussen de initiatiefnemer en afnemer, over de 30 jaar contractduur (van Hoegaerden et. al., 2007). Hierdoor weten beide partijen waar ze voor een lange termijn aan toe zijn en wordt het financieel risico daardoor verlaagd. Daarnaast kan ook gedacht worden aan een beleidsinstrument vanuit de overheid die het gebruik van ‘groene warmte’ zoals geothermie zou kunnen stimuleren. Een dergelijk instrument is er op dit ogenblik niet.

Verder is de match tussen vraag en aanbod essentieel bij de totstandkoming van een economisch rendabel geothermisch project. Uit een studie van TNO voor de Provincie Drenthe is gebleken dat vooral de afname van het mogelijke warmteaanbod van belang is voor de economische winning van geothermische energie en dus voor het financiële risico. Dit bleek ook uit de eerste financiële analyse die binnen dit project is uitgevoerd. Daarnaast zijn zoals eerder genoemd de afstand van de winninglocatie tot het distributienet, de mate van uitkoeling van het opgepompte water, het aantal productie-uren en het maximaal haalbare debiet van de bron van belang in het bepalen van de rentabiliteit van een project.

4.4 Conclusies

In de provincie Flevoland is potentie voor diepe aardwarmtewinning. Ten eerste biedt de ondergrond op een aantal locaties voldoende mogelijkheden en ten tweede is er warmtevraag in de huidige en toekomstige uitbreidingen van woningen en tuinbouwgebieden. Lelystad, Dronten en het Noordoostelijk deel van de Noordoostpolder geven het grootste vermogen en kunnen daardoor de meeste huizen, respectievelijk, het grootste oppervlak tuinbouwgebied voorzien van duurzame warmte. Vooral de toepassing voor de tuinbouw in de Noordoostpolder lijkt op het eerste gezicht mogelijkheden te bieden. Verder naar het zuiden van Flevoland (Zeewolde, Almere) neemt de kans steeds verder af om voldoende hoeveelheden water te verpompen, doordat, ondanks een grote energie-inhoud van de Slochteren zandsteen op deze locatie, het thermisch vermogen naar verwachting gering is. Onder Urk is geen Slochteren zandsteen aanwezig, hier ontbreken daardoor de mogelijkheden voor winning van aardwarmte. Andere watervoerende geologische eenheden (Tertiaire, Trias en Carboon eenheden) hebben naar verwachting een lage aardwarmtepotentie.

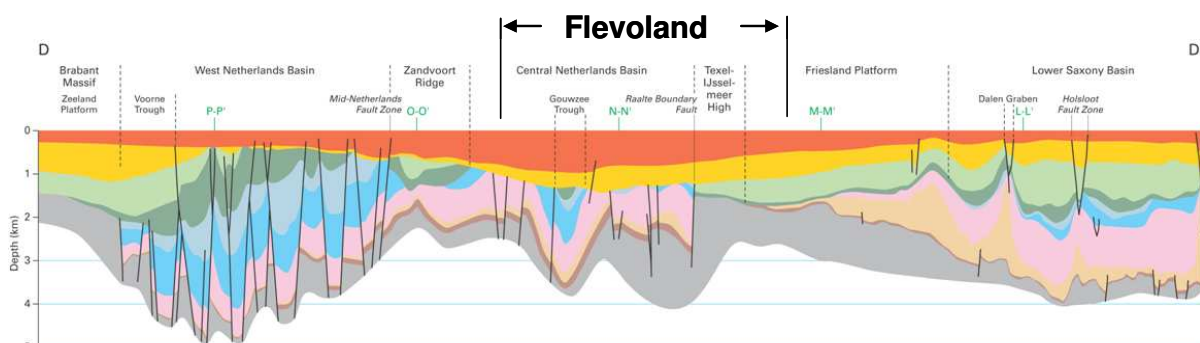
Vervolgacties zijn nodig om o.a. de onzekerheid in de data te reduceren door locatiespecifiek geologisch onderzoek te doen, de warmtevraag inzichtelijk te maken, de economische haalbaarheid te bepalen en kennisuitwisseling tot stand te brengen.

Referenties

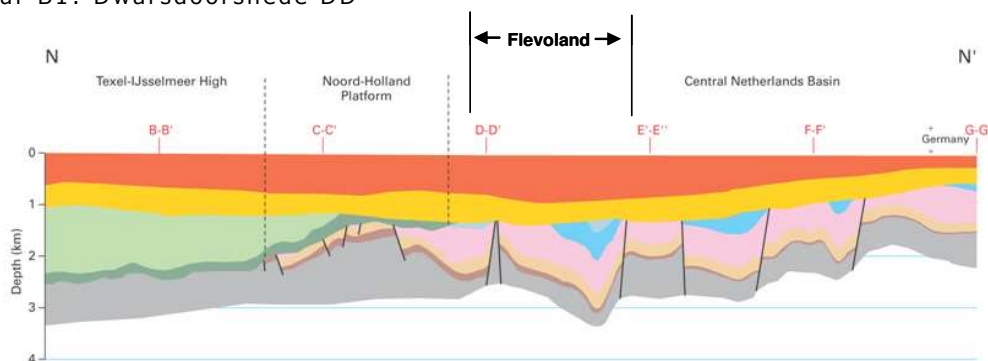
1. B. Jungmann, Den Haag warmt zich aan heet water uit de grond, De Volkskrant, 5 juli 2007
2. M. Sparacino e.a., The World's largest geothermal district heating using groundwater under construction in Milan (Italy), Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Duitsland, 30 mei – 1 juni 2007
3. A. Kujbus, MOL Geothermal Power Plant Project – New segment in the Hungarian Geothermal Exploration, Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Duitsland, 30 mei – 1 juni 2007
4. Hoegaerden, V. van, Hagedoorn, S. en Pieters, H., Met z'n allen profiteren van het blauwe goud, blad Bodem, nummer 2, april 2007
5. IF-DWA (2007). Benchmark duurzame energie-opties. Levering van warmte voor 6000 woningen in Den Haag Zuid-West. IF Technology en DWA installatie en energieadvies. Confidentieel rapport.
6. Van Wees, J.D, Zoethout, J. en Lokhorst. A. 2007. Re-using E&P wells for Geothermal Energy. Extended abstract E031, presentatie op de EAGE conferentie (Londen)
7. TNO rapport Aardwarmtewinning onder Assen, Roden-Leek, en Emmen: Globale Technische en Economische haalbaarheid, December 2006
8. Stichting Platform Geothermie: Rapport Geothermie Haaglanden, November 2006
9. Janssen E., Bootsveld N.R., Knoll B. en Zwart H.F. de. 2006. Verbeterde (semi) gesloten kas. TNO en Glastuinbouw. Delft.
10. TNO (2006). Verkenning naar de mogelijkheden voor de opslag van CO₂ en het gebruik van Aardwarmte in de provincie Drenthe. TNO rapport 2006-U-R0023/B. Utrecht.
11. Bertani R., World Geothermal Power Generation in the period 2001-2005: Geothermics 34, 2005, pp 651-690
12. Lund, J.W., Freeston, D.H. en Boyd, T.L., Direct application of geothermal energy: 2005 Worldwide review, Geothermics 34, 2005, pp 691-727
13. Schellschmidt, R., Sanner, B, Jungl, R. en R. Schulz. 2005. Geothermal energy use in Germany. Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey
14. Agrotechnology & Food Innovations Wageningen: Aardwarmte als duurzame warmtebron in de glastuinbouw, verkorte rapportage, januari 2005
15. Stichting Platform Geothermie, Gemeente Den Haag, IF Technology, DWA en TNO/NITG: Rapportage Geothermie voor Den Haag, januari 2005
16. TNO (2004). Geological Atlas of Subsurface of the Netherlands-onshore. TNO-NITG. Utrecht.

17. TNO-NITG (2004) Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland: Toelichting bij Kaartblad IX Harderwijk-Nijmegen. TNO-NITG, Utrecht, 122 pp.
18. Projectbureau Duurzame Energie (PDE), Duurzame-energievisie, leidraad voor gemeentelijke beslissers, 2002
19. Hurter, S. & Haenel, R. (eds) 2002: Atlas of geothermal resources in Europe. European Commission, Publication EUR 17811, 92 pp., 89 figuren.
20. TNO-NITG (2002) Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland: Toelichting bij Kaartbladen VII en VIII Noordwijk-Rotterdam en Amsterdam-Gorinchem. TNO-NITG, Utrecht, 135 pp.
21. TNO-NITG, 2000. Aardwarmte in Nederland. Verslag van het Onderzoeksprogramma Instandhouding Kennis Aardwarmte Exploratie en Exploitatie in Nederland (1997-2000). TNO rapport 00-331-A. Utrecht.
22. Kohl, T, Salton. M. and L. Rybach. Data analysis of the Deep bore hole heat exchanger plant Weissbad (Switzerland). Proceedings World Geothermal Congress 2000 Kyushu-Tohoku. Japan
23. Van Adrichem Boogaert, H.A. & Kouwe, W.F.P. (1993-1997) Stratigraphic nomenclature of the Netherlands, revision and update by RGD and NOGEP. Meded. Rijks Geol. Dienst, 50.
24. Rijks Geologische Dienst (1993a) Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland: Toelichting bij Kaartblad IV Texel-Purmerend. RGD, Haarlem, 127 pp.
25. Rijks Geologische Dienst (1993b) Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland: Toelichting bij Kaartblad V Sneek-Zwolle, RGD, Haarlem, 127 pp.
26. DGV (1989). Geothermische reserves Centrale Slenk, Nederland. Exploratie en evaluatie. Dienst Grondwaterverkenning TNO. Rapportnr OS 89-18. Delft.
27. RGD (1984). Geologische en Hydrogeologische inventarisatie van Tertiaire en Onder-Kwartaire afzettingen in Noord Nederland tbv opslag en winning van warm water. Rijks Geologische Dienst. Rapportnummer 86KAR08EX. Haarlem.
28. Stichting Platform Geothermie: www.geothermie.nl
29. Omgevingsplan Flevoland: www.omgevingsplan.flevoland.nl
30. Theorie Organic Rankine Cycle: www.energiotech.info/restwarmte/th_orc.html

Bijlage A: Geologische dwarsdoorsneden



Figuur B1: Dwarsdoorsnede DD'



Figuur B2: Dwarsdoorsnede NN'



- Upper North Sea Group
- Lower and Middle North Sea Groups
- Chalk Group
- Rijnland Group
- Schieland and Niedersachsen Groups
- Altena Group
- Lower and Upper Germanic Trias Groups
- Zechstein Group
- Lower and Upper Rotliegend Groups
- Limburg Group
- Carboniferous Limestone Group
- Devonian
- Silurian
- Ordovician

Figuur B3: Locatie twee dwarsdoorsneden

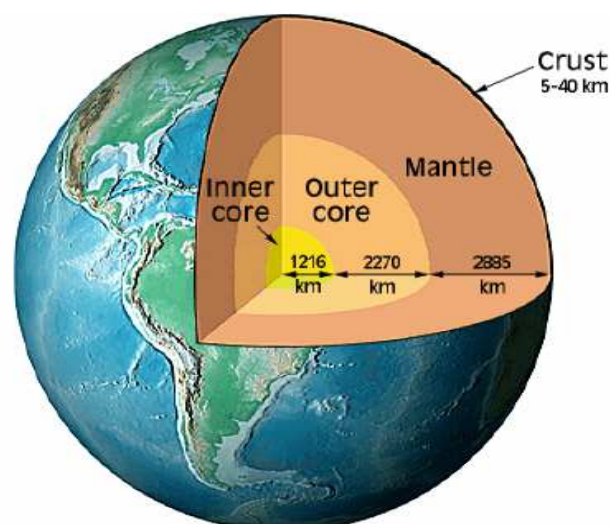
Bijlage B: Verkenning diepe geothermie

B.1 Aardwarmte – de principes

Geothermische energie betekent letterlijk ‘warmte-energie uit de aarde’ of ‘aardwarmte’. Deze geothermische warmte kan door mensen worden benut voor de verwarming van huizen, kantoren of kassen; of voor de productie van elektriciteit. Deze studie richt zich voornamelijk op het directe gebruik van geothermische warmte, omdat dit voor de Provincie het meest relevant is. De productie van elektriciteit (met een binair systeem) komt in paragraaf B.3.3 kort aan bod.

Overall op aarde neemt de temperatuur toe met de diepte. De aarde is namelijk een voortdurende bron van warmte, door het radioactief verval van kalium, uranium en thorium alsook door de warmte uit het binnenste van de aarde. Gemiddeld is de geothermische gradiënt (de temperatuur toename met de diepte) 31 graden Celsius per kilometer. Op sommige plekken is deze geothermische gradiënt veel hoger door een uitzonderlijke geologische situatie, zoals de aanwezigheid van vulkanisme. In een aantal vulkanische gebieden zoals in Italië en IJsland wordt al vele eeuwen warmte gewonnen uit warmtebronnen die direct aan het aardoppervlak liggen. Nederland heeft niet een dergelijke situatie wat betreft de temperatuurstijging met de diepte, maar Nederland beschikt wel over een uitermate geschikte ondergrond wat betreft het type gesteente en de aanwezigheid van watervoerende lagen in nagenoeg de gehele ondergrond van Nederland. Deze watervoerende lagen dienen als bron en transportmedium van de aanwezige warmte in de ondergrond. In Nederland geldt ook de gemiddelde geothermische gradiënt van 31 graden Celsius per kilometer. Rekening houdend met een gemiddelde jaartemperatuur aan de grond van ongeveer 10 – 15 °C, betekent dit dat de temperatuur op drie kilometer diepte tot meer dan 100 °C kan oplopen. TNO heeft voor Nederland geschat dat er een potentieel is voor diepe geothermie van 90.000 PJ per jaar. In de derde energienota is geschat dat er in 2020 een bijdrage van diepe geothermie realistisch is van 20 PJ per jaar.

De dieptes waarop het warme water zich bevindt komen overeen met de dieptes waarop olie en gas gewonnen wordt. Om een idee te krijgen van de diepte van geothermische bronnen op een paar honderd



Figuur B4: Doorsnede van de aarde, waarop de dunne buitenste aardkorst zichtbaar is

meter of op een paar kilometer diepte ten opzichte van de omvang van de aarde, moet bedacht worden dat de aarde een diameter van ongeveer 12.780 km heeft. Dit betekent dat we het bij het winnen van geothermische bronnen alleen over de uiterste buitenste rand van de aarde hebben. In Figuur B4 is een doorsnede van de aarde weergegeven, waarin de relatief dunne aardkorst (de buitenste paar kilometer) te zien is.

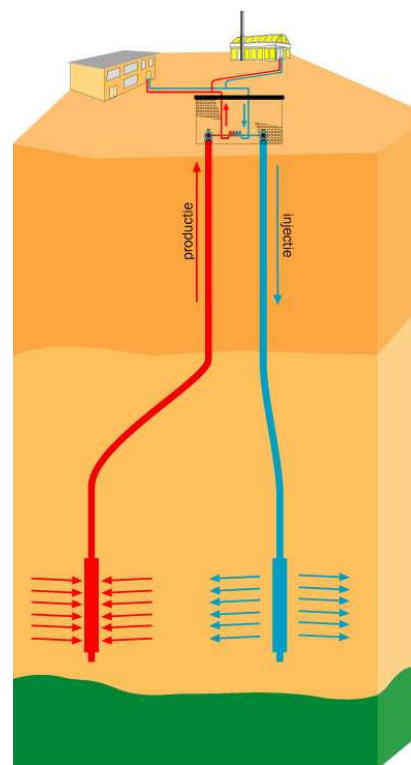
B.2 Hoe werkt een geothermisch systeem?

B.2.1 Het proces van aardwarmtewinning

De warmte wordt aan de ondergrond onttrokken door het water, dat ligt opgeslagen in watervoerende gesteentelagen, op te pompen met een diepe productieput. De warmte uit het opgepompte water wordt vervolgens met een warmtewisselaar overgedragen aan het distributienet naar een woonwijk of een tuinder. Na deze overdracht wordt het water door een tweede injectieput weer de grond in gepompt. Het principe van de aardwarmtewinning wordt weergegeven in Figuur B5.

Het terugpompen van het afgekoelde water is noodzakelijk omdat het geproduceerde formatiewater vaak 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 watervoerende laag op peil gehouden. Het afgekoelde water wordt in de watervoerende laag zeer geleidelijk aan weer opgewarmd, omdat het gesteente van de aquifer haar warmte afgeeft aan het afgekoelde water. De tijd die echter nodig is om het water weer op te warmen is vele malen groter dan de levensduur van een geothermisch systeem (zie paragraaf B.2.2). Het terugvoeren van het gewonnen water heeft ook een aantal nadelen. In de eerste plaats moet pompcapaciteit worden ingezet om het water terug te pompen. Het injectieproces zelf verloopt ook niet zonder risico's.

Vooral weinig verkitte zandsteenreservoirs, 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.



Figuur B5: Het principe van aardwarmtewinning

B.2.2 Puttendoublet

Het tweetal putten waarvan één wordt gebruikt voor de winning van het geothermische water (productieput) en één voor het terugbrengen van water in de ondergrond (injectieput), wordt een puttendoublet genoemd. De techniek voor het boren van de putten is bekend uit de olie- en gaswereld. Meestal worden de putten vanuit één locatie schuin geboord, waardoor de boorgat lengte enkele honderden meters langer wordt dan de diepte waarop de boring zich uiteindelijk bevindt. De ondergrondse afstand tussen de productieput en de injectieput wordt vaak zo gekozen, dat het koudere water uit de injectieput de productieput niet eerder bereikt dan na zo'n 30-40 jaar. Het tijdstip waarop het koudfront 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 wordt de afstand tussen de putten vooral bepaald door de gewenste minimale levensduur. De afstand bedraagt doorgaans ongeveer 1.000-1.500 meter.

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 boorlocatie 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 de pieklastketel worden ondergebracht. Daarna start het boren van twee gedeveerde putten. De putten worden verbuisd om instorten van de boorgatwand te voorkomen. Tussen buizen en gesteente wordt een cement geïnjecteerd die uithardt. Om te voorkomen dat tijdens de productie zanddeeltjes worden meegepompt wordt de put op reservoir niveau voorzien van een filter. In de buis wordt een productieput neergelaten. Deze kan aan de binnenzijde voorzien zijn van een kunststof laag om corrosie te voorkomen. Vervolgens wordt een elektrische onderwaterpomp neergelaten in de productieput, die ongeveer 3 tot 5 jaar mee gaat.

Daarnaast maken de volgende componenten deel uit van de ondergrondse installatie:

- Variabele frequentieregelaar ten behoeve van de elektrische onderwaterpomp die de afregeling van het putdebiet mogelijk maakt;
- Zo nodig filters voor de verwijdering van zand, fijne deeltjes en eventuele corrosiedeeltjes om verstopping in de injectieput tegen te gaan;
- Injectieput en doseerinstallatie voor corrosie werende vloeistoffen (optioneel).

B.3 Gebruik van aardwarmte

Voor een rendabele geothermische installatie is het nodig om grote hoeveelheden warm water te kunnen aanvoeren vanuit de ondergrond. Daarom is het noodzakelijk dat er voldoende verbindend poriënruimte in het diepe gesteente aanwezig is om de doorstro-

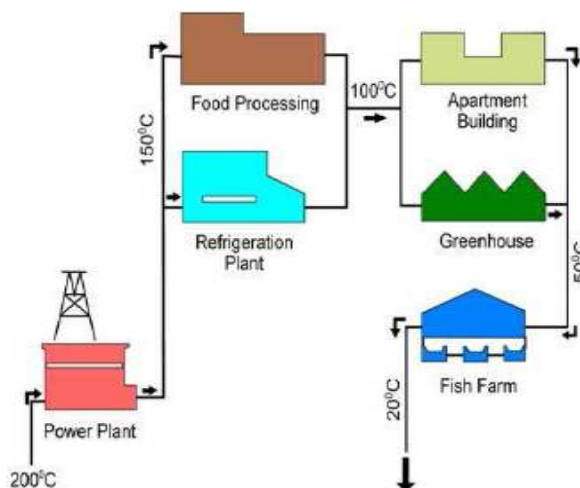
ming van warm water toe te laten. De ervaring heeft geleerd dat er 100-200 m³ per uur nodig is voor de directe (dus zonder warmtepomp) verwarming van 1.500-2.500 huizen als het water een temperatuur heeft van ongeveer 90 °C.

Voor systemen die warmte leveren wordt het rendement vaak uitgedrukt in ‘Coefficient of Performance’, oftewel COP. Dit geeft de verhouding weer tussen de opbrengst aan warmte en de daarvoor benodigde elektrische (pomp) energie voor de productieput en injectieput samen. Voor diepe geothermie systemen ligt het rendement ongeveer 10 keer hoger dan voor een ondiep geothermisch systeem met warmtepomp (een bodemwarmtewisselaar of warmte/koude-opslag).

Er gaat veel energie verloren bij energieconversies van bijvoorbeeld aardgas naar warmte, of van aardgas naar elektriciteit naar warmte. Daarnaast is het verspilling van entropie om bijvoorbeeld aardgas te verbranden bij een vlamtemperatuur van 1000 graden Celsius om vervolgens een huis daarmee te verwarmen met water van 40 graden Celsius. Het is energetisch veel beter om toepassingen met een lage temperatuurvraag, zoals de warmtevoorziening van gebouwen, direct te verwarmen met een warmtebron zoals geothermie, in plaats van hiervoor “hoogwaardige” energiebron zoals fossiele brandstoffen te gebruiken.

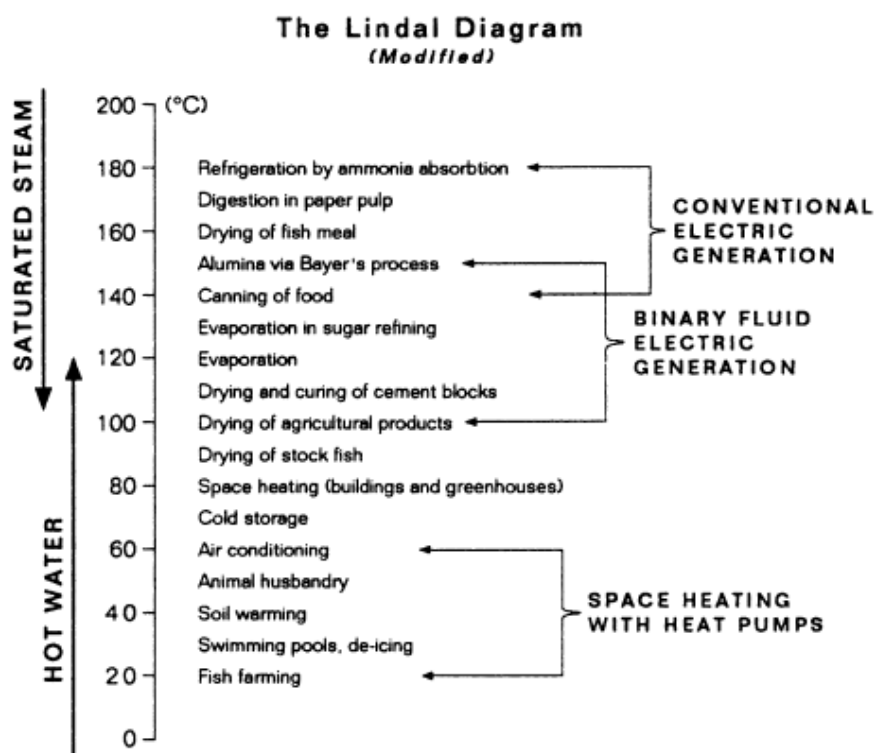
Het thermische vermogen van een geothermisch doublet is niet alleen afhankelijk van de opgeslagen hoeveelheid warmte in de aquifer en het debiet van het geproduceerde water maar vooral ook van het verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur. Hoe groter het verschil tussen productie- en injectietemperatuur, hoe hoger de warmteopbrengst. De mate van uitkoeling hangt af de toepassing waarvoor de warmte gebruikt wordt. Er zijn een aantal toepassingen voor diepe geothermische installaties denkbaar, waaronder:

- Verwarming van huizen en andere gebouwen zoals kantoren met een warmtewisselnetwerk;
- Verwarming van kassen voor de tuinbouwsector;
- Opslag van restwarmte van industrieën en energiecentrales, die tezamen met geothermische water in de winter gebruikt kan worden voor verwarming van o.a. gebouwen;
- Productie van elektriciteit met een binair ORC systeem (Organic Rankine Cyclus)
- Koeling met absorptiekoelmachines;
- Cascade systeem, met combinatie van elektriciteit en verwarming voor verschillende doeleinden (in volgorde van afnemende aanvoertemperatuur).



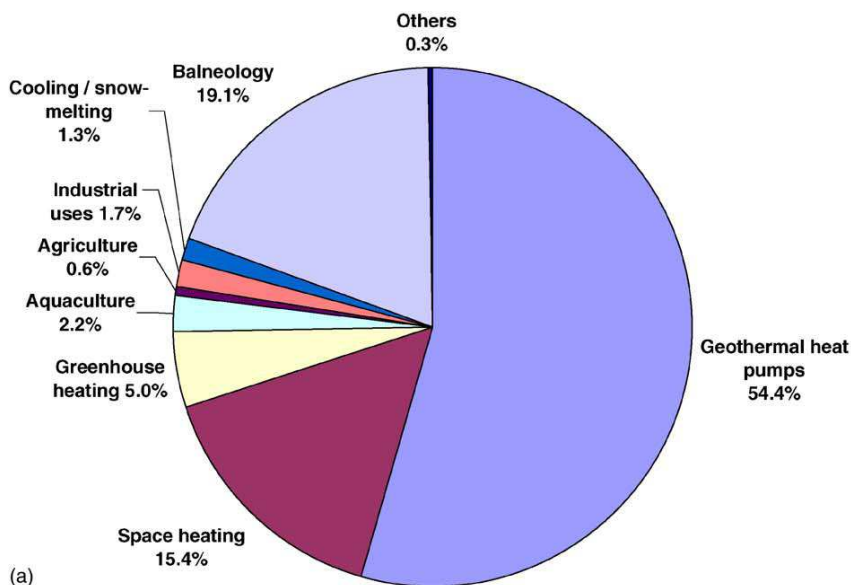
Figuur B6: Cascadesysteem voor het gebruik van geothermische warmte voor meerdere doeleinden

De laatste methode is een goede manier om de warmte in het geproduceerde geothermische water volledig te benutten. Bij een dergelijk cascadeprincipe worden verschillende typen verwarmingselementen in volgorde van afnemende aanvoertemperatuur aaneen geschakeld: van elektriciteit productie, conventionele radiatoren, lage-temperatuur convectoren, vloerverwarmingssystemen, tot het ijsvrij houden van opritten, zoals in IJsland gebruikelijk is. Eventueel kan een warmtepomp het nog relatief warme retourwater nogmaals naar een hoger temperatuurniveau transformeren. In Figuur B6 is schematisch te zien hoe een geothermische warmtestroom van 200 °C gebruikt wordt voor meerdere doeleinden, voordat het wordt teruggevoerd naar een injectieput. Voor een temperatuur van 100 °C dat voor de Nederlandse situatie realistischer is, geldt hetzelfde principe. In



Figuur B7: Lindal diagram

Figuur B7 is het zogenaamde Lindal diagram weergegeven, waarin de temperatuurbereiken voor verschillende doeleinden wordt aangeduid. In Figuur B8 wordt weergegeven welk percentage er wereldwijd is geïnstalleerd voor verschillende toepassingen van direct gebruik van geothermie.



Figuur B8: Percentage van het wereldwijd totaal geïnstalleerde vermogen in 2005 van toepassingen voor direct gebruik van geothermie (Bron: Lund e.a., 2005)

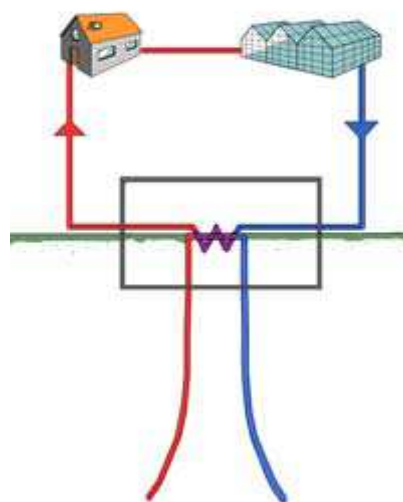
B.3.1 Installatie geothermische warmtedistributie

Het bovengrondse gedeelte van een warmtedistributie-installatie omvat een serie componenten, waarvan de belangrijkste zijn:

- Warmtewisselaars waarmee de warmte van het geothermische circuit wordt overgebracht op het warmtedistributienetwerk;
- Pompen voor de circulatie in het distributienetwerk;
- Het is gebruikelijk om in de aardwarmtecentrale ook te voorzien in een reserve tank en/of piekkelstel die bij onderhoudswerkzaamheden en bij piekvraag ingeschakeld kan worden.

Vanuit de aardwarmtecentrale wordt het warme water via een warmtetransportnet naar woningen of bedrijven gevoerd. In de woningen of het bedrijf 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 een WKK of uit restwarmte of uit warmte/koude-opslag.

Om warmteverlies zoveel mogelijk te voorkomen is het gunstig om de afstand tussen de bron en gebruiker zo klein mogelijk te maken. In het geval de afnemer een tuinder betreft is het waarschijnlijk dat de



Figuur B9: Versimpeld schema voor de warmtevoorziening van woningen en tuinders

afstand tussen tuinder en het puttendoublet zo klein mogelijk gehouden kan worden. Er is in dit geval geen uitgebreid warmtedistributienet nodig, zodat verliezen tijdens transport en kosten van het systeem minimaal zijn. In de huizen of in de kas wordt vervolgens de warmte afgestaan aan het gebouw, waarna het weer terugstroomt naar de warmtewisselaar. In Figuur B9 is een simpel schema te zien waarbij een geothermisch doublet gebruikt wordt voor de warmtevoorziening van woningen en tuinbouwkassen.

Aardwarmte wordt vaak ingezet als basislastvoorziening met een thermisch vermogen van 30 tot 35 procent van het maximaal te leveren vermogen. Het geothermisch vermogen is dan voldoende om voor 90 procent aan de totale warmtevraag te voldoen. Voor de overige 10 procent moet een pieklastvoorziening zorgen.

B.3.2 Restwarmtebuffer

Een geothermisch reservoir kan ook als opslagruimte (buffer) dienen voor de opslag van restwarmte van industrieën of energiecentrales in de nabije omgeving. In gesteente wordt warmte maar heel langzaam afgegeven, waardoor er weinig tot geen warmteverlies optreedt in een reservoir.

In Denemarken is een projectvoorstel (Tysthed) gedefinieerd waarbij geothermisch water met een temperatuur van ongeveer 60 °C wordt opgepompt en vervolgens verwarmd door de restwarmte van een afvalverbrandingsinstallatie en een warmtekracht gekoppelde centrale tot een temperatuur van ongeveer 120 °C. Dat water dient vervolgens te worden teruggepompt in het reservoir. In de winter wordt het proces omgekeerd en wordt de opgeslagen warmte gebruikt.

Een aandachtspunt van het opslaan van restwarmte, is dat er onvoorziene chemische processen op gang kunnen komen in het reservoir, welke mogelijk kunnen resulteren in 'scaling' (vorming van neerslag) of zwellen van klei. Er zijn projecten in Nederland bekend die hier negatieve ervaringen mee hebben opgedaan zoals de universiteit van Utrecht.

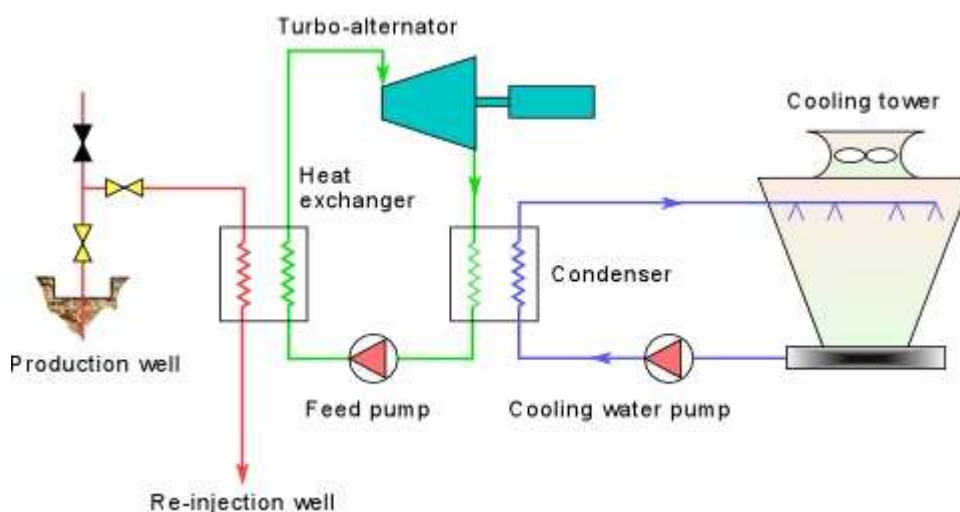
B.3.3 Electriciteit – ORC

De Rankine-cyclus is het thermodynamisch proces, dat in veel elektriciteitscentrales gebruikt wordt voor de opwekking van elektriciteit. In een stoomketel wordt oververhitte stoom onder hoge druk geproduceerd, welke vervolgens expandeert in een stoomturbine die een generator aandrijft. Daarna wordt de stoom gecondenseerd in een water- of luchtgekoelde condensor en wordt het condensaat teruggepompt naar de stoomketel. De werkvloeistof bij deze cyclus is dus water.

In een zogenaamd binair Organic Rankine Cyclus (ORC) systeem zijn twee afgesloten cycli, waarvan één bestaat uit de geothermische vloeistof (water) en de andere uit een organische stof, zoals isobutaan. De warme geothermische vloeistof wordt door een warmtewisselaar geleid en warmt zo de secundaire vluchtige organische werkvloeistof

op, die verdampt en in een turbine elektriciteit opwekt. In Figuur B10 is schematisch weergegeven hoe het proces in een binaire ORC verloopt.

De temperatuur waarbij de organische werkvloeistof verdampt en condenseert is lager dan bij water. Daarnaast hebben sommige organische stoffen specifieke fysische eigenschappen zodat oververhitting niet nodig is voor elektriciteitsproductie. Ten slotte is bij organische stoffen de verdampingswarmte minder hoog dan bij water (vanwege het ontbreken van waterstofbruggen) en is een groter aandeel van de warmte benutbaar voor opwarming van de vloeistof. Door deze eigenschappen is het mogelijk om een ORC te gebruiken voor de productie van elektriciteit bij laagwaardige warmte zoals het geval is bij het gebruik van diepe geothermie in Nederland.



Figuur B10: Schets van een binaire geothermische elektriciteitscentrale. De warme stroom is in het rood aangegeven, de secundaire vloeistof in groen en het koelwater in blauw (Bron: iga.igg.cnr.it).

De minimum temperatuur waarbij dit proces nog praktisch mogelijk is, bedraagt ongeveer 80 °C. Dan kan ongeveer 10% van de warmte omgezet worden in elektriciteit. Het rendement neemt toe naarmate de temperatuur van de beschikbare warmte hoger is, tot ruim 20%. De recentelijk geïntroduceerde Kalina-cyclus heeft als werkvloeistof een mengsel van ammoniak en water, wat resulteert in een iets hoger energetisch rendement in de lage temperatuurranges, hoewel dit vooralsnog in het bereik van 10-15% ligt.

Zoals eerder genoemd kan geothermische warmte ook voor meerdere eindoelen gebruikt worden. In het geval de geothermische bron een relatief hoge temperatuur heeft, is het ook mogelijk om de condensor op een hogere temperatuur te houden, zodat de condensatiewarmte nog weer eens benut kan worden voor verwarming van gebouwen.

Het gebruik van een ORC voor benutting van geothermische energie levert schone elektriciteit op, omdat er geen extra fossiele brandstoffen worden verstoekt om elektriciteit

te produceren. Verder zijn beide cycli volledig gesloten waardoor er geen negatieve invloed op het milieu plaatsvindt.

B.3.4 Koeling met een absorptie koelmachine

Met een absorptiekoelmachine is het mogelijk om met warm water te koelen. Bij een hogere temperatuur van de warmtebron kan sterker gekoeld worden. Absorptiekoeling is niet nieuw. Vooral in Azië is de ontwikkeling van deze machine voor airconditioning verder doorgezet, in tegenstelling tot Europa waar het succes van de compressiekoelmachine de ontwikkeling tegenhield.

Als werkstoffen kunnen water en lithiumbromide (een zout) en ammoniak worden gebruikt, welke water tot circa 5 °C kunnen koelen. Er zijn inmiddels machines die met een goed rendement kunnen koelen met aangevoerd water van 80 °C.

Door gebruik te maken van een absorptiekoelmachine kan een geothermische bron voor een veel groter deel van het jaar worden benut. In de zomermaanden in Nederland is namelijk geen behoefte aan verwarming, maar wel aan koeling. In deze maanden kan dan met een absorptiekoelmachine de geothermische bron voor de koeling van gebouwen zorgen. De investering voor dergelijke machines komt op € 800-1.200/kW, veel hoger dan de € 400/kW in een land als Turkije. De investering voor een conventionele airconditioning is ongeveer € 300/kW. Hierbij komen, in tegenstelling tot de toepassing van een absorptiekoelmachine met geothermie als warmtebron, jaarlijks kosten voor elektriciteit bij.

B.4 Voordelen diepe geothermie

Geothermische energie heeft wereldwijd maar ook in Nederland een groot potentieel. TNO heeft het theoretische potentieel in Nederland geschat op ruwweg 90.000 PJ per jaar (circa 30 keer het totale jaarlijkse energieverbruik van Nederland), hoewel maar een fractie hiervan technisch en economisch te winnen is. Zoals genoemd worden relatief simpele en bekende technieken gebruikt voor het zetten van een boring, maar ook voor de gehele geothermische systeem. Er is namelijk al sinds lang ervaring met dergelijke systemen en er kan gebruik worden gemaakt van de ervaringen uit de olie- en gasindustrie.

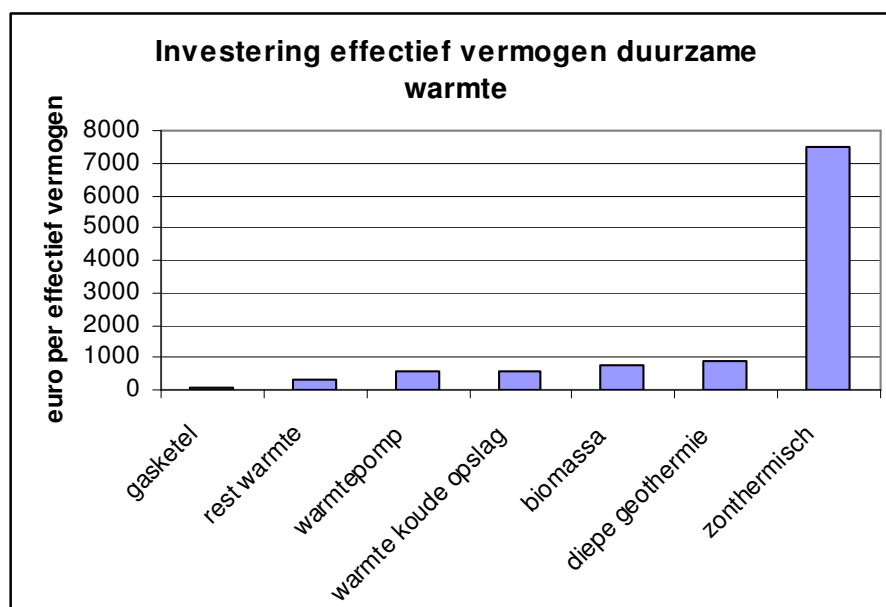
Een van de belangrijkste voordelen van het gebruik van aardwarmte is de leveringszekerheid. Aardwarmte is namelijk niet afhankelijk van schommelingen in de weersgesteldheid en is dus het gehele jaar dag en nacht beschikbaar. Daarnaast is er maar een klein landoppervlak nodig voor de gehele installatie. Dit in tegenstelling tot sommige andere duurzame bronnen, zoals zonnepanelen en windmolens. Geothermische bronnen zijn daarnaast ook goed regelbaar en hebben lage operationele kosten doordat maar een kleine hoeveelheid energie nodig is voor het oppompen van het water.

Een ander voordeel is dat door het gebruik van geothermische energie het gebruik van fossiele brandstoffen met de daarbij behorende vervuiling en broeikasgasuitstoot kan worden teruggedrongen. Daarnaast wordt op deze manier de afhankelijkheid van landen als bijvoorbeeld Rusland voor de gasvoorziening verminderd en dus energievoorzieningszekerheid vergroot. Dat zou in principe ook betekenen dat Nederland minder na-deel hoeft te ondervinden van de stijgende prijzen voor fossiele brandstoffen.

B.5 Kosten

Om een goed beeld te krijgen van de kosten die gepaard gaan met diepe geothermie systemen wordt in deze paragraaf ingegaan op de investeringskosten en operationele en onderhoudskosten in vergelijking met andere warmteleveringstechnieken, zoals warmte/koude-opslag en bodemwarmtewisselaars, warmtepompen, HR-ketels, pelletbranders (biomassa), zonthermisch en restwarmtelevering. In Figuur B11 wordt het vergelijk van de benodigde investering per effectief vermogen voor elk van deze duurzame warmtebronnen weergegeven.

Technieken die niet continue warmte kunnen leveren, zoals zonthermisch, hebben een aanzienlijk lagere capaciteitsfactor dan geothermische systemen (zowel ondiepe als diepe geothermische systemen). Voor zonthermisch is aangenomen dat 25% van de maximum geïnstalleerde capaciteit daadwerkelijk geleverd wordt. Daardoor zijn de investeringskosten per effectief geleverde warmtecapaciteit hoger voor deze bronnen dan voor geothermische bronnen. Voor diepe geothermie zijn de effectieve investeringskosten ongeveer €900/kW_{effectief}. Afhankelijk van de dichtheid van de te bedienen



Figuur B11: Investeringskosten voor verschillende vormen van verwarmen per effectief geleverd vermogen (Bron: World Energy Outlook, 2004, IEA), er zijn geen subsidies meegerekend

warmtekanten, is hierop een onzekerheid van € 300 / kW te betrachten. Zo zijn de investeringskosten voor Den Haag (4.000 woningen) € 46 miljoen, hetgeen met een CW-3 tapwater (21 kW_{thermisch}) neerkomt op € 600/kW.

Verreweg het grootste deel van de investering voor een diepe geothermie systeem wordt besteed aan het zetten van de (twee) boringen. Per strekkende meter is een investering van ruwweg € 1.000 tot € 1.500 nodig. Voor een tweetal boringen (een puttendoublet) op een diepte van 3 km komt dat op een bedrag van circa € 6,3 miljoen. Qua vermogens moeten we denken aan een bereik van 500 kW tot circa 12 MW_{th}. Zoals omschreven in paragraaf B.2.2 wordt vaak schuin geboord, waardoor de lengte van de boring zelf groter is dan de diepte. Voorbeelden uit berekeningen voor Bleiswijk en Den Haag bevestigen deze ruwe aanname. In Den Haag is bijvoorbeeld berekend dat de totale kosten voor een puttendoublet op een diepte van circa 2.200 meter op circa € 5 miljoen komen.

De investering in de warmtewisselaar en pomp bedraagt daarnaast enkele honderden duizenden euro's. Beide zullen na ongeveer 10 jaar vervangen moeten worden, wat een herinvestering vereist. De pomp plus kabel en aandrijving vergen een investering van circa € 100 tot € 200 duizend. Een derde grote kostenpost is het warmtedistributienet dat ongeveer € 2.000 euro per woning is. Aangezien een diep geothermisch project al gauw een woningwijk van bijvoorbeeld enkele duizenden woningen zal voorzien van warmte, betreft dit een investering van enkele miljoenen euro's. Daarnaast zijn de kosten van bouwkundige voorzieningen en ruimtebeslag relatief verwaarloosbaar.

In tegenstelling tot de relatief hoge initiële investeringskosten zijn de operationele kosten laag voor geothermische bronnen. Samenvattend, de kosten van het produceren van aardwarmte worden ten opzichte van gasgestookte warmteleverantie gekenmerkt door enerzijds hoge initiële investeringen en anderzijds door zeer lage variabele operationele kosten.

B.6 Verwante (diepe) geothermie projecten

Tot dusver zijn er nog geen diepe geothermie projecten gerealiseerd in Nederland. Wel is er in Bleiswijk een project gestart voor de warmtevoorziening voor een tuinder met diepe geothermische energie. Er is recentelijk gestart met het zetten van een boring in Bleiswijk. Daarnaast is er een aantal provinciën, die hun interesse hebben getoond in deze duurzame energiebron. Een voorbeeld van een stad die al verdere stappen heeft ondernomen om hun geothermisch potentieel in kaart te brengen is Den Haag. Ook worden er op dit moment meerdere ORC-centrales gebouwd in Europa en zijn momenteel twee ORC-centrales werkzaam, in Neustadt-Glewe (Duitsland) en Altheim (Oostenrijk). Beide worden aangedreven door lage temperatuur aardwarmtebronnen.

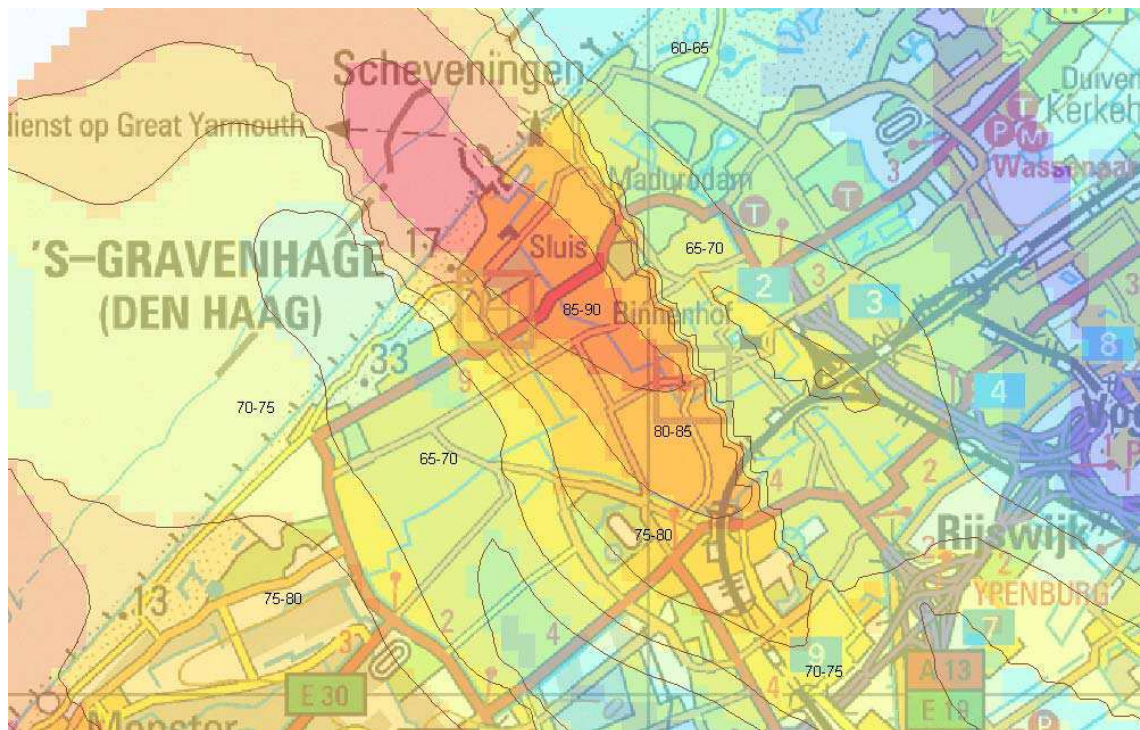
Verder zijn er vele lopende en aankomende diepe geothermie projecten in het buitenland. Een aantal ervan worden hieronder beschreven. De voorbeelden betreffen verschillende soorten geothermische bronnen en toepassingen, waarvan in paragraaf B.3 de werking werd omschreven. Omdat het verschillende soorten geothermische bronnen en

toepassingen betreft is het niet mogelijk de projecten één op één met elkaar te vergelijken.

B.6.1 Nederland

Den Haag

Het geothermie project in Den Haag is drie jaar geleden (2004) gestart door een ambtenaar van de gemeente Den Haag. Juni 2006 is er tijdens het congres van het Platform Geothermie een convenant getekend over de ontwikkeling van (diepe) geothermie als duurzame energiebron voor Den Haag Zuid-West. In dit convenant participeren de Gemeente Den Haag, Haag Wonen, Staedion, Vestia, ENECO Energie en E.ON Benelux. Voor al deze partijen geldt dat zij de ambitie hebben om met elkaar de hele keten van energieproductie tot energieafnemer te verduurzamen. In dit convenant brengen zij tot uitdrukking dit voor Den Haag Zuid-West te willen doen in een gezamenlijke, integrale aanpak. Tijdens het congres is ook ingegaan op het recente (voorjaar 2006) onderzoek naar de mogelijkheden van diepe aardwarmte in opdracht van het Stadsgewest Haaglanden, dat mede mogelijk is gemaakt door een subsidie van de Provincie Zuid-Holland. De belangrijkste onderzoeksvragen in deze quickscan betroffen “de beschikbare capaciteit van aardwarmte in de regio, de vergelijking met de kosten van levering van industriële restwarmte (eilandbedrijf), de mogelijkheden en eventuele voor- en nadelen van koppeling van de warmtenetten en de export van warmte naar het zogenaamde Zuidvleugelnet. Daarnaast is in een tweede onderzoeksfase opdracht



Figuur B12: Warmtekaart Rijswijkzanden (diepte 1.600-2.400 m onder het maaiveld, 75°C lijn is 2.000m diep), bron: Rapport geothermie Haaglanden, 2006

gegeven voor het in kaart brengen van de mogelijkheden van warmte en/of elektriciteitslevering uit diepere aardlagen (omstreeks 3.000 meter)” (bron: rapport geothermie Haaglanden, 2006).

Deze zogenaamde quickscan was gebaseerd op een geologische haalbaarheidsstudie naar toepassing van diepe geothermie in Den Haag, waarvan de rapportage in 2005 is uitgebracht door TNO. Volgens de Stichting Platform Geothermie omvat het project een aardwarmte doublet op een diepte van circa 2.200 meter, dat kan voorzien in de basislast van de warmtevraag van 6.000 woningen in Den Haag Zuid-West. In Figuur B12 wordt een warmtekaart van de Rijswijkzanden getoond voor het gebied rond Den Haag.

Er wordt geconcludeerd in het rapport dat “de capaciteit van de winbare aardwarmte in de regio is met circa 30 PJ/jaar meer dan toereikend voor de ontwikkelingen in de warmtevraag in het Stadsgewest Haaglanden”, maar dat “aardwarmteprojecten in eilandbedrijf met name kansrijk zullen zijn (rendabel ten opzichte van de vigerende gastarieven) op locaties waar een relatief substantiële warmtevraag geconcentreerd is, zoals woningclusters vanaf circa 2.400 woningequivalenten”. Verder is gesteld, dat “de vergelijking met de kosten van restwarmte sterk afhangt van de afstand tot de restwarmtebron” en deels van “de mate van bebouwing”. En voor tuinders is de situatie nog veel rendabeler.

Op 4 juli 2007 hebben de gemeente Den Haag, de energiebedrijven ENECO Energie en E.ON Benelux en de woningcorporaties Haag Wonen, Staedion en Vestia besloten tot de gezamenlijke uitvoering van het eerste grootschalige geothermie project voor Nederland, Den Haag Zuid-West. In Den Haag Zuid-West gaan in totaal 4.000 woningen verwarmd worden met diepe aardwarmte, door het samenwerkingsverband Geothermie Beheer CV. Het project vergt een investering van 46 miljoen euro, oftewel circa € 12.000 per woning. De verwarmingskosten zullen voor de bewoners nooit hoger zijn dan die van bewoners die op aardgas stoken. Daarmee maakt Den Haag als eerste gemeente een nieuwbouwproject geschikt voor het gebruik van aardwarmte.

Uit onderzoek is gebleken dat er in de omgeving van de Leyweg/Meppelweg (bij het Haga-ziekenhuis) een geschikte plek ligt om te boren naar aardwarmte. De bron zal uit twee putten bestaan tot een diepte van 2.200 meter (1,5 kilometer van elkaar af), om water naar boven te halen met een temperatuur van 75 °C. De woningen worden voorzien van laagtemperatuur verwarming (vloeren en muren), voor een gelijkmatige verwarming van de huizen. De bron wordt medio 2008 aangelegd. In de winter van 2008/2009 worden de eerste woningen op geothermie aangesloten. In totaal duurt de bouw van de 4.000 woningen circa 5 jaar.

Bleiswijk

Het tuinderbedrijf A+G van den Bosch in Bleiswijk (Provincie Zuid-Holland) heeft als eerste in Nederland besloten diepe geothermie te gebruiken voor het verwarmen van zijn kassen, waarin tomaten worden gekweekt. De kassen die worden verwarmd met diepe aardwarmte beslaan een oppervlakte van om en nabij de 7,2 hectare. Het water wordt opgepompt uit twee productieve geologische formaties op een diepte van 1.500-

1.750 meter: de zogenaamde Rijswijk and Berkel formaties. Aangezien de meest productieve lagen niet direct onder de kassen liggen, moet er een put geboord worden met een totale lengte van 2.500m.

Een eerste studie (bron: Stichting Platform Geothermie) heeft opgeleverd dat de gewenste capaciteit van het geothermisch doublet van 150 m³ water/uur of meer goed haalbaar zou kunnen zijn. De temperatuur van het aanwezige water in de Berkel en Rijswijk zanden is 60-65 graden, bij een temperatuurgradiënt van ongeveer 3,18 °C/100m. De porositeit van het gesteente wordt geschat op ongeveer 20%. Op grond van eenvoudige, analytische berekeningen is er een kans van 50 % dat de verwachte 'Coefficient of Performance' (COP), bij een capaciteit van 200 m³ water/uur 32 of hoger is, volgens een onderzoek van TNO. Deze COP ligt daarmee een factor 8 tot 10 hoger dan bij warmtepompen. Volgens berekeningen van de Stichting Platform Geothermie kan met dit geothermisch systeem mogelijk 3 miljoen m³ aardgas per jaar worden bespaard.

Inmiddels is gestart met het plaatsen van de eerste boring. Dit neemt ongeveer 50-70 dagen in beslag. Als de eerste put klaar is wordt deze getest alvorens wordt overgegaan tot het boren van de tweede put.

Het project wordt actief ondersteund door de Nederlandse overheid. Het Ministerie van Economische Zaken (middels haar agentschap voor energie en milieu, SenterNovem) en het Provinciale Bestuur van Zuid-Holland zien het project als een demonstratie project en hebben daardoor aangeboden in een deel van de investering te voorzien. Daarnaast heeft het Ministerie van Landbouw, Natuur en Visserij (LNV) samen met de Land- en Tuinbouw Organisatie Nederland (LTO) een deelborgstelling gegeven voor het financiële risico dat verbonden zit aan het zetten van de boring.

Drenthe

In Drenthe is door TNO een haalbaarheidsstudie uitgevoerd in opdracht van de Provincie Drenthe, naar aardwarmtewinning uit de Slochteren Zandsteen ten behoeve van de geplande stadsuitbreidingen in Assen-Messchenveld, Assen-Zuid, Roden-Leek, Emmen centrum en het tuinbouwuitbreidingsgebied Rundedal, ten oosten van Emmen. Hierbij is niet alleen het directe gebruik van geothermie aan bod gekomen, maar is ook op hoofdlijnen aangegeven wat de mogelijkheden zijn voor het inzetten van binaire conversietechnieken voor het produceren van elektriciteit uit een mogelijk warmteoverschot. Daarnaast is er een globale kostenraming gemaakt van een aardwarmte doublet.

Uit de studie is geconcludeerd dat in zowel de regio Assen als Emmen de hoge temperatuurcondities in de beoogde watervoerende lagen een zeer gunstige voorwaarde voor toepasbaarheid van aardwarmte aangeven. Deze hoge temperatuur compenseert de naar verwachting niet al hoge permeabiliteit van de watervoerende lagen, waardoor een rendabel vermogen uit aardwarmte geproduceerd kan worden. Daarnaast zou de matige permeabiliteit direct rondom de put eventueel gestimuleerd kunnen worden door bij-

voorbeeld aanzuring en of fracking. Ook de globale kostenraming pakt gunstig uit voor meerdere geanalyseerde gebieden, aangezien de kosten voor het verwarmen van huizen en kantoren voor een aantal gebieden volgens de uitgevoerde berekeningen “zonder toepassen van subsidies gelijk cq. slechts in geringe mate hoger dan de kosten voor verwarming door middel van aardgas” (bron: TNO rapport aardwarmtewinning Drenthe, 2006).

B.6.2 Internationaal

Italië en IJsland zijn beide pioniers in de exploitatie van geothermische energie in Europa. Italië met name op het gebied van de productie van elektriciteit en IJsland op het gebied van direct gebruik van de geothermische warmte. In 2000 waren wereldwijd in meer dan 58 landen geothermische installaties aanwezig. In de volgende tabel staat weergegeven hoeveel capaciteit geïnstalleerd staat in een aantal landen voor zowel de productie van elektriciteit als wel voor direct gebruik van geothermie. Daaruit blijkt dat ook in Zweden en Turkije een groot vermogen voor direct gebruik geïnstalleerd staat.

Parijs

De stadsverwarming op basis van diepe geothermie in Parijs is de grootste (in termen van aantal klanten) in de wereld. 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 °C, 72 °C en 49 °C. De retourtemperatuur is niet hoger dan 35 °C.

Tabel B1: Geïnstalleerd en geproduceerd elektrisch vermogen en geproduceerd thermisch vermogen in de belangrijkste geothermische landen wereldwijd en in Nederland in 2005. Bron: Bertani, 2005 en Lund e.a., 2005.

Elektriciteit (MW _e)	Geïnstalleerde Capaciteit	Lopende Capaciteit	Direct gebruik (MW _{th})	Geïnstalleerde Capaciteit
USA	2.564	1.935	USA	7.817
Filippijnen	1.930	1.838	Zweden	3.840
Mexico	953	953	China	3.687
Indonesië	838	797	IJsland	1.844
Italië	791	699	Turkije	1.495
Japan	535	530	Japan	822
New Zealand	435	403	Hongarije	694
IJsland	202	202	Italië/Noorwegen	600
Costa Rica	163	163	Nederland	254
Wereldwijd	8.933	8.035	Wereldwijd	28.268

Milaan

In Milaan (Italië) wordt gewerkt aan het construeren van 's werelds grootste stadsverwarming op basis van warmtepompen, door AEM (publiek utiliteitsbedrijf) en de Unione Geotermica Italiana (M. Sparacino e.a., 2007). Milaan is met 1,25 miljoen inwoners de tweede stad van Italië. Inclusief de omliggende gemeentes bestrijkt het district Milaan en omstreken in totaal 2,5 miljoen mensen. Het doel is om in 2010 circa de helft van het totale warmtevermogen van 1.000 MW te voorzien met warmtepompen en geothermie, waarmee een CO₂-reductie wordt gerealiseerd van 400.000 ton per jaar.

Duitsland en Oostenrijk

Sinds enkele jaren wordt in bijvoorbeeld Duitsland en Oostenrijk naast warmte ook elektriciteit geproduceerd met behulp van aardwarmte. Er wordt met de Organic Rankine Cycle (ORC) techniek eerst elektriciteit geproduceerd. De toepassing van ORC technieken wordt aantrekkelijker naarmate de temperatuur van het opgepompte water hoger is. De in Duitsland en Oostenrijk gebouwde ORC centrales hebben een aanvoertemperatuur van ruim 100 °C. De resterende warmte wordt vervolgens alsnog aan het warmte-transportnet 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 langjarig gegarandeerde, goede prijs voor de opgewekte elektriciteit, wat het gehele systeem financieel rendabel maakt ondanks de lage energetische efficiëntie van een binair ORC systeem.

Unterhaching

In het dorpje Unterhaching (onder München) gaat Siemens een geothermische centrale bouwen, die 540 m³ water per uur van 3.200 meter diepte omhoog gaat pompen. Het water van 120 graden Celsius dient voor een deel voor de warmtevoorziening, maar het meeste gaat naar een nieuwe Kalina elektriciteitscentrale van 3,36 MW. De installatie bestaat naast de elektrische centrale uit een doublet (een injectieput en een productieput) en een koelsysteem.

Aken

Het Aken Super C geothermie project is in essentie een gesloten systeem, waarin het water wordt gecirculeerd in de binnenpijp van 1 put tot een diepte van 2500 meter (Stichting Platform Geothermie). Volgens de Stichting Platform Geothermie is de verwachting, dat de installatie circa 8 uur per dag energie kan leveren en dat de resterende uren nodig zijn voor regeneratie. De boring is succesvol geplaatst in een dichtbevolkt gebied. Met een geothermische warmtewisselaar wordt warmte van het reservoir aan het circulatie water afgestaan. Het concept wijkt daardoor sterk af van het geothermisch doublet, waarmee formatiewater wordt gewonnen en elders wordt teruggepompt. Er is gekozen voor een gesloten systeem omdat de doorlatendheid van de ondergrond zeer gering is, waardoor de capaciteit beduidend lager is dan waar men in Nederlandse naar streeft. Ook qua rentabiliteit is dit project niet vergelijkbaar met de lopende studies, die nu in Nederland uitgevoerd worden. Doordat er een put geboord moest worden is het

project niet erg winstgevend. Zoals in paragraaf B.5 genoemd, zijn de boorkosten zeer bepalend voor de terugverdiensijd van geothermische projecten.

Hongarije

Drie partijen, MOL Hongaarse Olie en gas maatschappij, het IJslandse Enx en het Australische GreenRock, zetten een project op om bestaande olie- en gasboringen te gebruiken voor geothermische doeleinden (Kujbus, 2007). De putten zijn 3.000 meter diep en de temperatuur van het op te pompen water is boven circa 135 °C. Het water gaat gebruikt worden om elektriciteit op te wekken, de eerste in zijn soort in Centraal-Europa.

Een hergebruik van bestaande olie en gasboringen voor geothermie is voor Nederland een nieuwe aanpak.

Bijlage C: Vervolgstappen in Flevoland

Om tot de realisatie te komen van een diep geothermisch project, bijvoorbeeld voor tuinders in het Noordoostelijk deel (bijvoorbeeld Emmeloord) van de Noordoostpolder, wordt aanbevolen om de volgende vervolgstappen te ondernemen. Allereerst wordt een gedetailleerdere studie gedaan naar het potentieel van de ondergrond op (een) bepaalde geselecteerde locatie(s) in Flevoland. Aangezien de verkennende studie is gebaseerd op berekeningen aan de hand van zeer globale gegevens en een beperkte dataset, is de onzekerheid in absolute waarden groot. De uitkomsten geven een algemene indruk van het potentieel, maar een betere inschatting kan pas worden gegeven wanneer alle mogelijk beschikbare ruwe data worden benutten in een nader, meer locatiegericht onderzoek. Dit zou het risico profiel voor een aardwarmtetraject aanzienlijk verkleinen en de keuze voor een bepaalde locatie sterk onderbouwen. Deze verdiepingsstudie duurt ongeveer 3-6 maanden. Op basis van dit onderzoek kan dan een principebesluit genomen worden door de provincie of andere initiatiefnemers of er verder wordt gegaan met de realisatie van een diep geothermie project.

Aangezien er meerdere partijen bij de realisatie van een geothermisch project betrokken zijn, is het van belang om in een vroeg stadium al een consortium te vormen. De vervolgstudies en de investeringen (en risico's) daarvoor zouden dan gedragen kunnen worden door meerdere partijen die bij de uiteindelijke realisatie een elk rol spelen. De ervaring leert dat er veel tijd gemoeid is bij het vormen van een consortium. Er moet gerekend worden met een tijdsspan van ongeveer 1 jaar.

Zoals eerder genoemd komen er in 2009 extra data vrij van de boring bij Luttelgeest. Dit zou een reden kunnen zijn om in het geval van Flevoland te beginnen met het vormen van een consortium alvorens te starten met de bovengenoemde locatiegerichte geologische analyse, waarbij de technische haalbaarheid wordt getest.

Aansluitend op deze technische haalbaarheidsstudie wordt vervolgens een financiële haalbaarheidsstudie verricht, waarbij de financiële consequenties uitgebreid in kaart worden gebracht voor de gekozen locatie. Ecofys heeft uitgebreide ervaring hiermee en kan dergelijke kasstroomanalyses voor de provincie opstellen. Pas nadat alle kosten en inkomsten helder in beeld zijn gebracht voor een termijn van 30 jaar, kan een definitief besluit worden genomen over de realisatie van een diep geothermie project in Flevoland. Bij deze analyse moeten onder andere gefaseerde investeringen, vermeden investeringen in een referentiesituatie, jaarlijkse kosten voor energie en onderhoud, jaarlijks vermeden kosten voor de referentiesituatie en jaarlijkse inkomsten worden meegenomen om te komen tot berekeningen van de interne rentevoet en cumulatieve cashflow. Ook kunnen hierbij verschillende innovatieve manieren om de warmteprijs vast te leggen voor een langer termijn worden overwogen, zodat de meest optimale manier aan het

licht komt. Normaal gesproken wordt de warmteprijs gebaseerd op de gasprijs met het ‘niet meer dan anders’ (NMDA) principe, maar er zijn ook andere manieren van prijsontwikkelingsscenario’s denkbaar en realiseerbaar. Als laatste is het van belang de hoeveelheid vermeden CO₂-uitstoot in kaart te brengen, om zo de mogelijk toekomstige (indirecte) inkomsten hiervan ook mee te kunnen nemen. Deze financiële haalbaarheidsstudie neemt ongeveer 2-3 maanden in beslag.

Op basis van voorgaande studies kan besloten worden of, waar en op welke manier een diep geothermisch project gerealiseerd gaat worden. Voordat begonnen wordt met de bouw van infrastructuur en andere installaties, moet eerst een proefboring gemaakt worden, die tevens wordt ingericht als productieput. Voor deze proefboring dient men een exploratievergunning aan te vragen in het kader van de Mijnbouwwet. Dit neemt niet veel tijd of extra studies in beslag aangezien op basis van deze eerste verkenning al een vergunningaanvraag kan worden ingediend. Als de eerste put klaar is, wordt deze getest alvorens wordt overgegaan tot het boren van de tweede put. In de praktijk komt bij de aanleg van een doublet eerst de keuze en aanleg van de boorlocatie en benodigde infrastructuur aan bod, gevolgd door de constructie van een boorlocatie waarop de boorinstallatie kan worden geplaatst.

Als de eerste put voldoende productief is kan een winningvergunning worden aangevraagd bij het Ministerie van Economische Zaken, ook in het kader van de Mijnbouwwet. Deze aanvraag omvat een veel langere tijdspad van circa 3-5 maanden. Er dient dan een ondernemingsplan te worden opgesteld met een Programma van Eisen. Bij goedkeuring van het plan kan worden overgegaan tot de bouw van de rest van de installatie, waarbij de verschillende delen van het plan op de markt kan worden aanbesteed. Al met al neemt het traject vermoedelijk meerdere jaren (2-4) in beslag, afhankelijk of er gewacht gaat worden op de extra data van de boring bij Luttelgeest. Daarnaast is diepe geothermie een relatief nieuwe activiteit in Nederland, waardoor het de vraag is hoe snel het proces zal verlopen. De voorliggende studie kan daarbij alleen handreikingen doen door het proces met alle vervolgstappen in kaart te brengen.

Tabel B2: Overzicht vervolgstappen en schatting van het tijdspad

Activiteit	Start	Duur
Vorming consortium, afspraken maken	2007	1 jaar
Locatiegericht geologisch onderzoek	2009	3-6 maanden
Financiële haalbaarheidsstudie	2009	2-3 maanden
Afspraken financiële constructie	2009	6 maanden
Aanvraag exploratievergunning	2010	1 maand
Boring eerste put en testen	2010	4-6 maanden
Aanvraag winningvergunning	2010	3-5 maanden
Boring tweede put en rest van installatie	2010	
Winning diepe geothermie	2011	