

Engineering the earth



Engineering the earth

Potentieel geothermie Flevoland

Potentieel geothermie Flevoland

Opdrachtgever Provincie Flevoland

Visarenddreef 1
Postbus 55
8200 AB Lelystad
T 0320 26 54 35 | E Napel@flevoland.nl
Contactpersoon: de heer G. ten Napel

Adviseur IF Technology bv

Velperweg 37
Postbus 605
6800 AP ARNHEM
T 06 300 79 509 | E r.wierikx@iftechnology.nl
Contactpersoon: de heer R. Wierikx

Colofon

Auteur:	de heer N. Buik
Versie:	definitief 2.0
Opgesteld door:	de heer N. Buik
Vrijgegeven door:	de heer R. Wierikx

Paraaf:

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	4
2	Inleiding	7
2.1	Aanleiding	7
2.2	Leeswijzer	7
3	Kader	8
3.1	Technieken	8
3.1.1	Wettelijk kader, subsidie en garantieregeling.....	9
3.1.2	Aandachtsgebieden/restrictiegebieden	10
3.2	Wat is het en waar kan je het toepassen?	11
3.3	Wat wordt bedoeld met potentie?	13
3.4	Temperatuurgradiënt.....	14
4	Potentie Ondiepe geothermie	16
4.1	Laagpakketten	16
4.1.1	Formatie van Maassluis.....	17
4.1.2	Zanden van Brussel.....	20
4.2	Business case 2 scenario's ondiepe geothermie	24
4.2.1	Woningen Warande Lelystad.....	24
4.2.2	Glastuinbouw Almere Buitenvaart.....	26
4.3	Conclusies Ondiepe geothermie	28
5	Potentie Geothermie	29
5.1	Laagpakket	29
5.2	Afleiding potentie kaart.....	30
5.3	Conclusie Geothermie.....	37

Bijlage 1: Kaarten

1

Samenvatting

In deze studie staan de resultaten van een onderzoek dat is uitgevoerd om de potentie van ondiepe geothermie en geothermie binnen de provincie Flevoland te bepalen.

Van de onderzochte lagen voor ondiepe geothermie bieden de Formatie van Maassluis en de zanden van Brussel de meeste kansen. De Formatie van Maassluis is gelegen op een diepte van 170 tot 260 m-mv en heeft een temperatuur van 15 tot 20°C. De zanden van Brussel liggen op een diepte van 800 en 1000m. De temperatuur bedraagt 18 tot 23°C. Aangezien de zanden van Brussel dieper liggen dan 500 m-mv, kan voor de geproduceerde warmte uit deze laag een SDE-subsidie aangevraagd worden.

Ondiepe Geothermie

Voor beide lagen is een globale business case voor woningbouw en voor glastuinbouw doorgerekend. De kostprijs van een geproduceerde eenheid warmte is vergeleken met de kostprijs van warmte opgewekt door middel van een luchtwarmtepomp en een grondgebonden warmtepomp. In onderstaande tabel staan de uitgangspunten voor de beide business cases weergegeven. In de daaronder weergegeven tabel staan de resultaten van de berekeningen.

Toepassing	Piekvermogen [kW]	Temperatuurniveau [°C]	gasverbruik [m3/j]
800 woningen	2,5	45	400
5 ha glas	4.000	45	1,5 miljoen

Energiekosten	OGT Maassluis	OGT Brussel	Lucht-warmtepomp	Grondgebonden warmtepomp
Woningbouw 15 jaar / 30 jaar [€/GJ]	55 / 33	55 / 33	52 / 52	78 / 65
Glastuinbouw	9	7	n.v.t.	n.v.t.

Uit de berekeningen blijkt dat ondiepe geothermie onder bepaalde voorwaarden interessant is. Belangrijk randvoorwaarden zijn: de hoeveelheid warmte die gedurende een jaar afgezet kan worden, het gewenste temperatuurniveau en de periode waarover de afschrijving van het systeem kan plaatsvinden.

In de hierna volgende tabel zijn voor Lelystad en Almere de waarden gegeven van de belangrijkste parameters die de potentie van ondiepe geothermie bepalen.

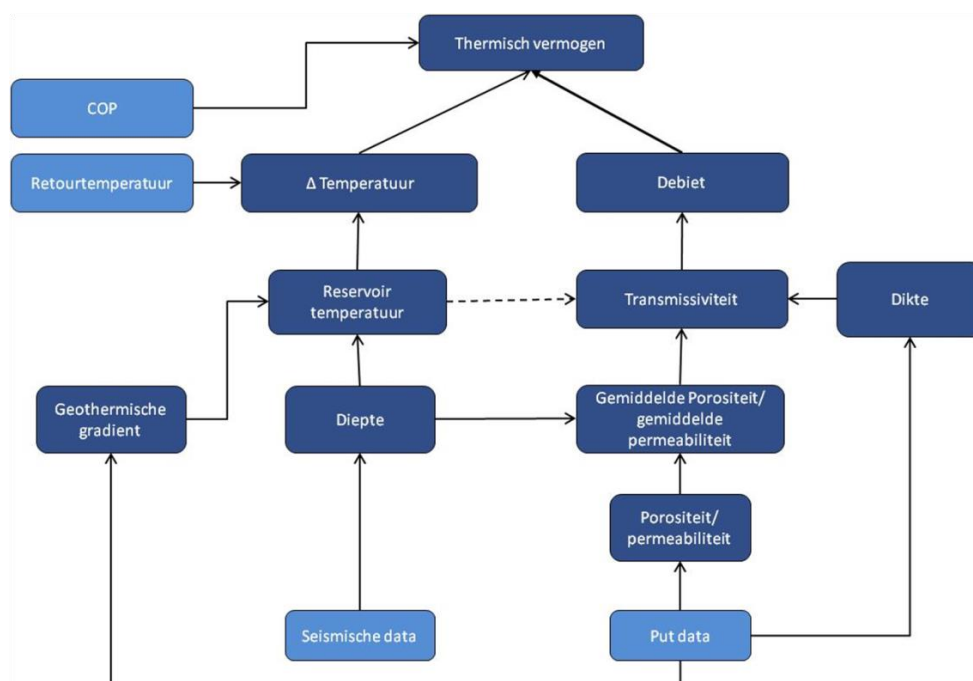
Stad	Reservoir	Temperatuur [°C]	Dikte [m]	Permeabiliteit [mD]
Almere	Maassluis	18 - 20	80 - 100	15.000
	Brussel	42 - 44	30 - 40	235
Lelystad	Maassluis	18 - 19	90 - 120	15.000
	Brussel	40 - 44	50 - 80	235

Geothermie

Naast de lagen voor ondiepe geothermie is de potentie van het Slochteren voor conventionele geothermie bepaald. Voor het bepalen van de potentie zijn eerst de gemiddelde reservoir eigenschappen bepaald. Deze eigenschappen zijn vervolgens omgerekend naar een verwacht thermisch vermogen. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Bijlage 1. Uit de gepresenteerde vermogenskaart blijkt dat er rondom Lelystad goede mogelijkheden voor geothermie zijn. Verwacht wordt dat de potentie rondom Almere aanzienlijk minder is. Deze mindere potentie wordt verwacht omdat de put in Almere een lage reservoir kwaliteit laat zien. Naar het zuiden toe richting Blaricum wordt de potentie beter (bij de Blaricum put heeft het reservoir een goede kwaliteit) maar hoe dit verloop exact is, is zonder aanvullende data niet te bepalen. Hiervoor is aanvullend geologisch onderzoek (met data acquisitie) vereist.

Bepaling thermisch vermogen

In onderstaand schema is weergegeven hoe het thermische vermogen (potentie) bepaald worde. In paragraaf 3.3 wordt dit schema nader toegelicht.



Online kaarten

De kaarten van deze studie zijn online te vinden op: <http://kaart.flevoland.nl/bodematlas/>

2

Inleiding

2.1 Aanleiding

Geothermie als warmtevoorziening kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan de verduurzaming van de gebouwde omgeving en glastuinbouw in Flevoland. De provincie heeft reeds diverse onderzoeken naar de mogelijkheden van geothermie laten uitvoeren (omgeving Almere, Noordoostpolder). In de Noordoostpolder wordt een systeem gerealiseerd.

Onderhavig onderzoek richt zich op oostelijk en zuidelijk Flevoland en brengt de potentie van ondiepe en diepe geothermie in beeld. Hierbij wordt met name gefocust op de bebouwing in gemeente Almere, Dronten, Lelystad en Zeewolde. Daarnaast worden voor ondiepe geothermie een aantal business cases door gerekend om te bepalen onder welke condities ondiepe geothermie (OGT) een financieel interessante optie is.

2.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft het grotere kader rondom de toepassing van geothermie in Flevoland: welke wetgeving is van toepassing, wat zijn de belangrijkste randvoorwaarden? Vervolgens wordt in de hoofdstukken 3 en 4 voor respectievelijk ondiepe geothermie en diepe geothermie toegelicht hoe de potentie is bepaald en waar de belangrijkste kansen liggen.

3

Kader

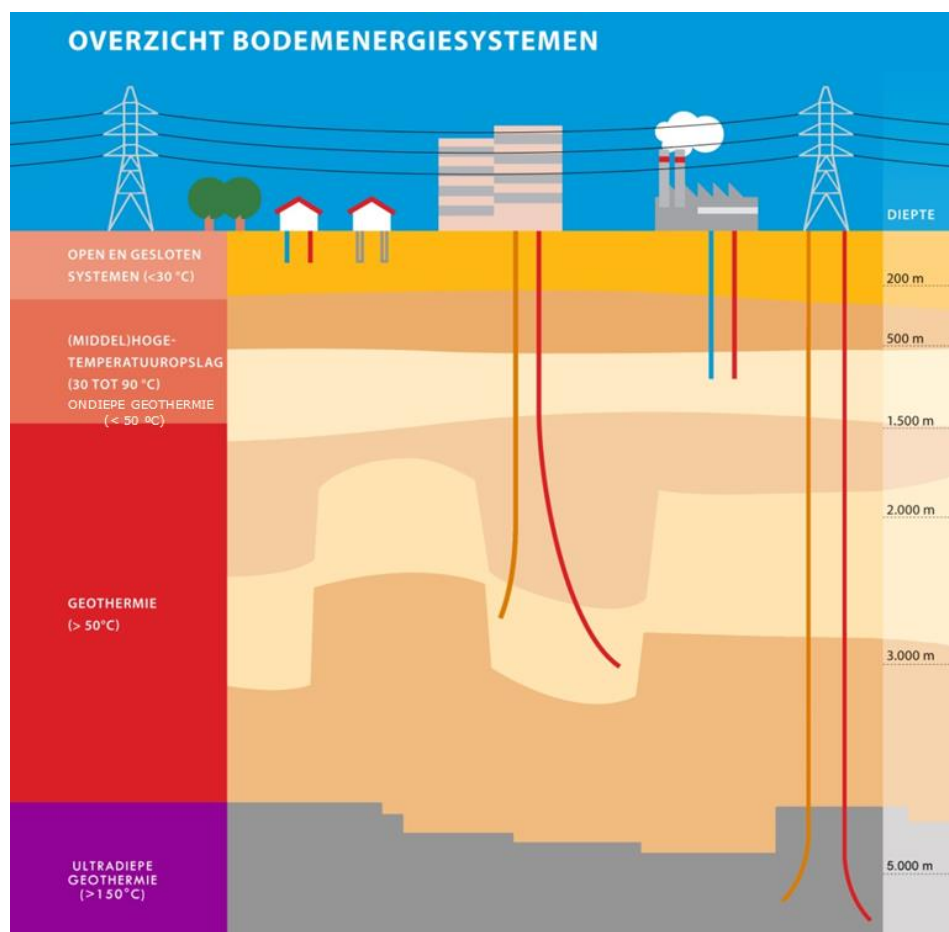
3.1 Technieken

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

- Ondiepe geothermie, onttrekken van warmte tot een maximum diepte 1.100 m-mv in Flevoland, warmte tussen de 15 - 45 °C;
- Geothermie, onttrekken van warmte tussen 40 - 115 °C, diepteligging van geschikte formatie in Flevoland tussen 1.400 – 3.500 m-mv.

In Figuur 1 zijn de verschillende technieken schematisch weergegeven. De technieken zijn gericht op de levering van warmte.

*Figuur 1
Schematisch overzicht
geothermie- en
bodemenergie-
systemen.
OGT bevindt zich op
hetzelfde dieptetraject
als hogetemperatuur-
opslag (HTO).*



3.1.1 Wettelijk kader, subsidie en garantieregeling

Waterwet

Ondieper dan 500 m-mv

Voor de open bodemenergiesystemen (KWO) tot een diepte van 500 m-mv is de provincie Flevoland het bevoegd gezag. Het wettelijk kader hiervoor wordt gevormd door de

Waterwet, het Waterbesluit en de Waterregeling. Voor de gesloten bodemenergiesystemen (BWW) zijn de gemeenten het bevoegd gezag.

Mijnbouwwet

Dieper dan 500 m-mv

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

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

SDE+ subsidie¹

SDE+ (Subsidie Duurzame Energie) is een exploitatiesubsidie voor duurzame energie. Het idee hierachter is om de "onrendabele top" van duurzaam geproduceerde energie te subsidiëren. Dit is het verschil tussen de kostprijs voor groene energie en grijze energie. Geothermie komt in aanmerking voor deze subsidie. De looptijd voor geothermie is 15 jaar. Voor de aanvraag van de SDE+ subsidie dient in ieder geval een opsporingsvergunning verleend te zijn en dient een geologisch onderzoek te worden uitgevoerd.

RNES aardwarmte²

Het RNES aardwarmte (Regeling Nationale Ez Subsidies) is een garantiefonds dat de risico's van een misboring afdekt. De kosten hiervoor bedragen 7% van de boorkosten. Wanneer het uiteindelijk vermogen lager uitvalt dan voorspelt, keert het fonds naar rato een deel van de boorkosten uit, met een max. van 85% en een max. bedrag per project. Het systeem moet een minimale grootte van 1,5 MW hebben.

3.1.2 Aandachtsgebieden/restrictiegebieden

Bestaande koolwaterstofwinningen, opsporings- en winningsvergunningen vormen een aandachtspunt voor het ontwerp en realisatie van een geothermiesysteem. Het is namelijk niet toegestaan in of door een gas- of olieveld te boren om vervolgens geothermische

¹ <http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/stimulering-duurzame-energieproductie-sde>

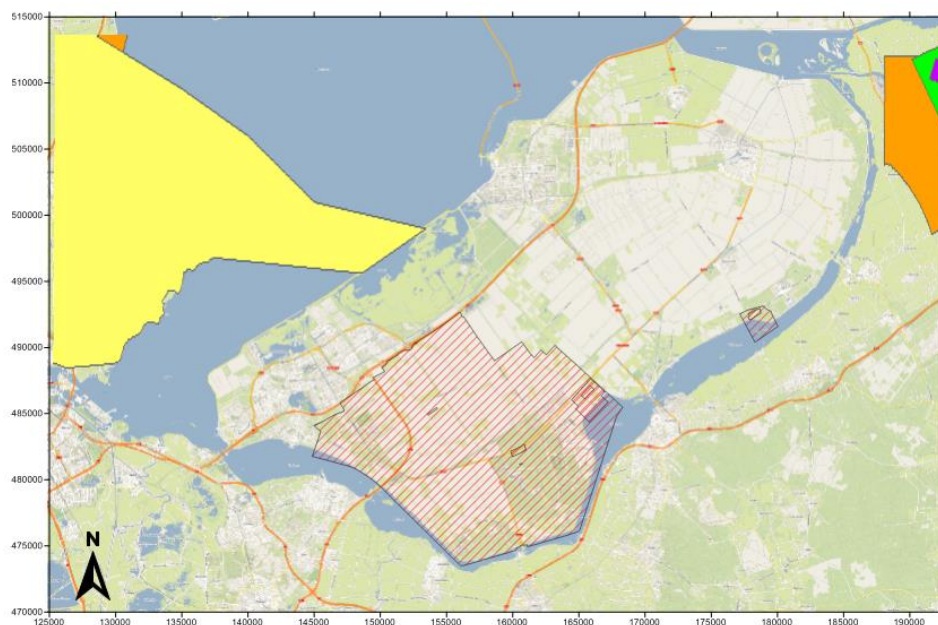
² <http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/risicos-dekken-voor-aardwarmte>

warmte te onttrekken. Boven of naast een bestaande koolwaterstofwinning een geothermiesysteem aanleggen en/of aardwarmte winnen mag wel, mits aangetoond wordt dat geen wederzijdse negatieve invloed optreedt.

In de provinciale milieuverordening zijn gebieden opgenomen waarbinnen het grondwater wordt gereserveerd voor de toekomstige drinkwatervoorziening: strategische drinkwaterreserves. In deze gebieden mag niet worden geboord.

Zie Figuur 2 voor een kaartje met de winnings- en opsporingsvergunningen voor koolwaterstoffen en de provinciale beschermingsgebieden voor drinkwaterwinning (boringsvrije zones).

*Figuur 2
Zuidelijk deel van
Flevoland met
waterwingebieden rood
gearceerd. Geel is
lopende
winningsvergunning
koolwaterstoffen, oranje
is lopende
opsporingsvergunning
koolwaterstoffen.*



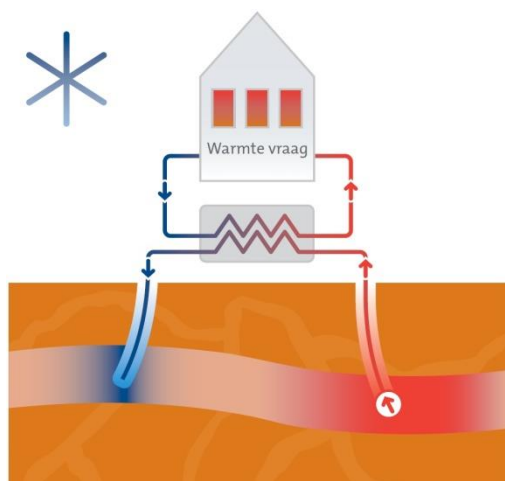
3.2 Wat is het en waar kan je het toepassen?

Ondiepe Geothermie

Bij ondiepe geothermie (OGT) wordt gebruik gemaakt van de natuurlijke laagwaardige warmte (kleiner dan circa 50°C) in de aarde. De warmte wordt door middel van een

warmtepomp in temperatuur verhoogd tot het gewenste temperatuurniveau. Het water wordt in de ondergrond geretourneerd met een temperatuur van 8 à 12°C.

*Figuur 3
Principeschema
OGT-systeem.*



Randvoorwaarden

De belangrijkste randvoorwaarde voor de inzet van OGT is dat de afnemer warmte met een relatief lage temperatuur nodig heeft. Om de financiële haalbaarheid van het systeem te vergroten is het van belang zoveel mogelijk draaiuren te maken met het OGT-systeem. Voor OGT is het daarnaast van belang dat er vanaf een diepte van 500m SDE+ subsidie kan worden verkregen.

Geothermie

Bij geothermie (GT) of aardwarmte wordt de warmte (veelal warmer dan 60°C) uit diepere aardlagen gebruikt om huizen of kassen te verwarmen. De warmte wordt *direct* gebruikt. Het afgekoelde water (25 à 35 °C) wordt vervolgens weer terug de ondergrond in gebracht.

Randvoorwaarden

GT is pas rendabel als de warmtevraag groot is (meer dan 5 MW). Verder moet de warmtevraag het liefst het hele jaar door aanwezig zijn. Ook voor GT kan een SDE+ subsidie aangevraagd worden.

3.3 Wat wordt bedoeld met potentie?

Potentie Ondiepe Geothermie

De potentie van OGT wordt met name bepaald door het debiet dat aan een laag kan worden onttrokken. Verder speelt de temperatuur van de laag een rol. Het debiet wordt bepaald door de netto dikte en de doorlatendheid (permeabiliteit) van de laag. Daarnaast moet in sommige gevallen rekening worden gehouden met een maximale snelheid waarmee het water aan de ondergrond kan worden onttrokken. Dit in verband met het voorkomen van zandlevering. Aan de infiltratiezijde zit een restrictie op de maximale druk waarmee geïnfiltreerd mag worden. Dit in verband met het risico op bodemsplijting.

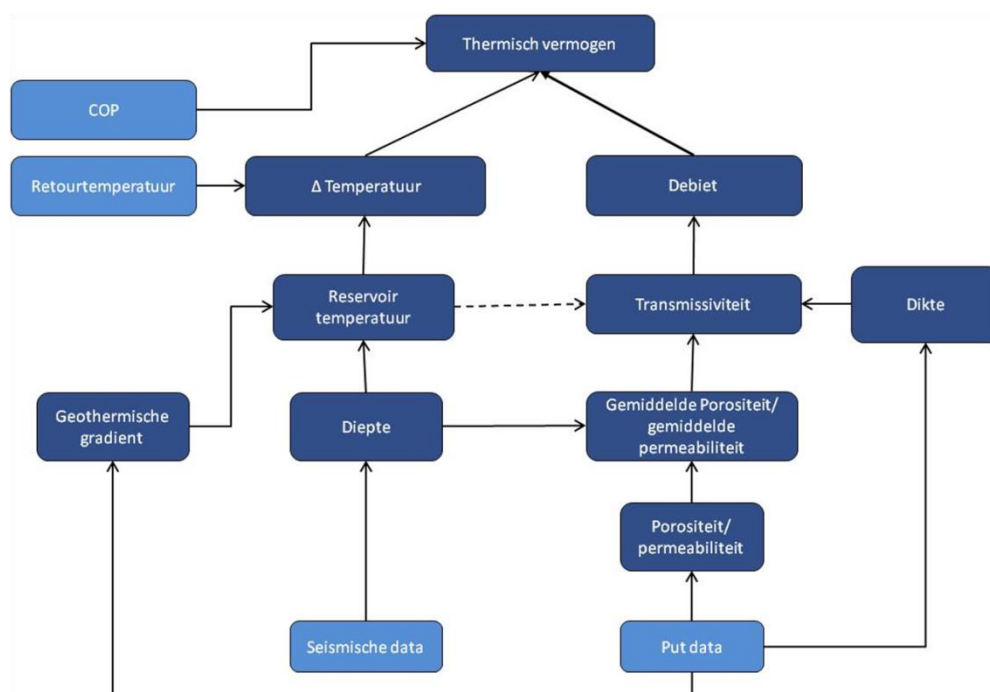
In deze studie worden van de OGT lagen de dikte, diepte en temperatuur in kaart gebracht. Voor een tweetal locaties worden de debieten bepaald en wordt een business case uitgewerkt.

Potentie Geothermie

Het potentieel voor geothermie is uitgedrukt in thermisch vermogen. Dit vermogen is gebaseerd op het debiet, de reservoir- en retourtemperatuur en een Coëfficiënt Of Performance (COP). Het debiet wordt bepaald door reservoir eigenschappen; temperatuur, permeabiliteit en netto dikte.

De COP is de verhouding tussen de hoeveelheid elektrische energie die het kost om een hoeveelheid thermische energie te genereren. Het elektriciteitsverbruik wordt hierbij voornamelijk bepaald door de pompen die nodig zijn om het water omhoog en weer naar beneden te pompen. In Figuur 4 is schematisch weergegeven waar het thermische vermogen van afhangt, en hoe het bepaald wordt.

*Figuur 4
Bepaling thermisch
vermogen.*



In het schema is weergegeven hoe de verschillende parameters die het geothermische vermogen bepalen samenhangen. Tevens is weergegeven op basis van welke data de parameters bepaald worden (licht blauwe vakken). De COP en de retourtemperatuur worden in principe door de gebruiker bepaald. Voor de COP wordt vaak een waarde tussen de 10 en 15 gehanteerd. De retourtemperatuur bedraagt vaak 25 tot 35°C. Hoe lager de COP en de retourtemperatuur, hoe hoger het geothermische vermogen dat uit een put gewonnen wordt. Een lagere COP geeft leidt wel een hoger elektriciteitsverbruik.

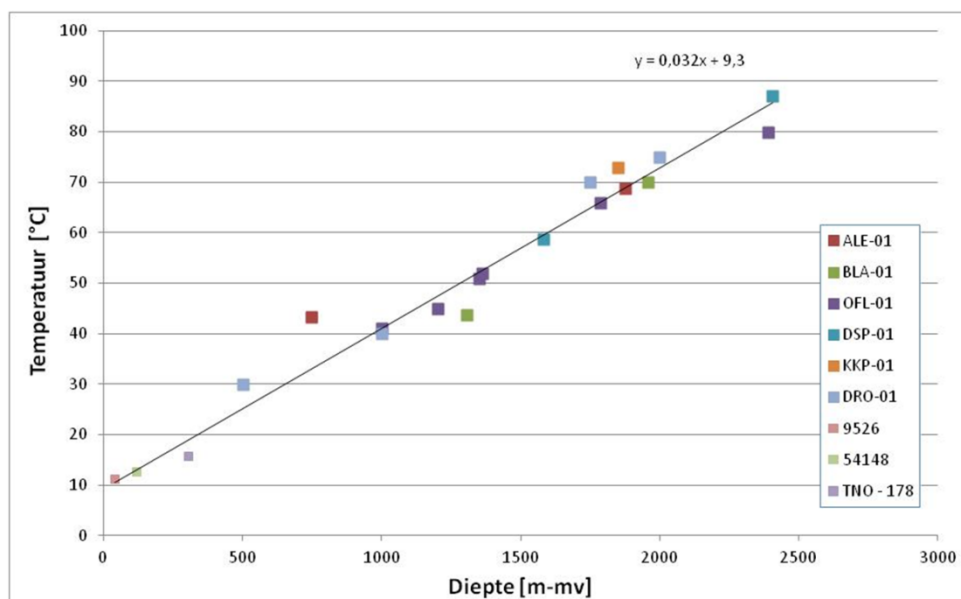
3.4 Temperatuurgradiënt

De temperatuur in de ondergrond wordt bepaald aan de hand van de in Figuur 5 weergegeven geothermische gradiënt. De gradiënt is bepaald door gebruik te maken van grondwater temperatuurmetingen in Flevoland. De datapunten zijn afkomstig van één TNO-peilbuis, twee KWO projecten, 5 olie- en gasboringen en één geothermie project

(Koekoekspolder). De temperatuurmetingen van de olie- en gasboringen zijn gecorrigeerd aan de hand van mud circulatietijden.

De temperatuurkaarten in dit rapport geven de temperatuur in het midden van het reservoir weer.

Figuur 5
Temperatuurgradiënt
Flevoland.

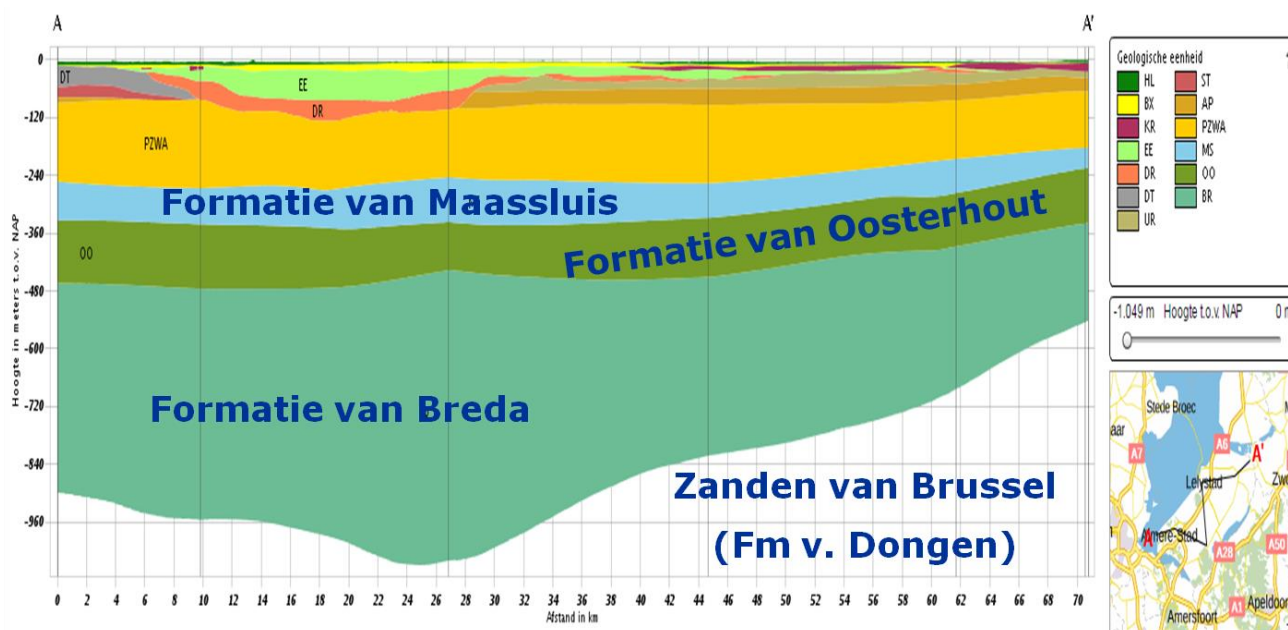


4

Potentie Ondiepe geothermie

4.1 Laagpakketten

De toepasbaarheid van OGT hangt af van de aanwezigheid van geschikte bodemlagen. Voor deze studie zijn de aanwezige lagen bekeken tot een diepte van 1.100 m-mv. De formaties waaraan in Flevoland warmte kan worden onttrokken zijn weergegeven in Figuur 6 en Tabel 1. Dit zijn de formaties van Maassluis, Oosterhout, Breda en de Zanden van Brussel. De temperaturen in de formaties van Maassluis en Oosterhout kunnen lokaal lager dan 20 °C.



Figuur 6
Potentieel geschikte
formaties voor
toepassing van
ondiepe geothermie
in Flevoland.
Bron:
www.dinoloket.nl,
model DGMdiep v4.0

In Tabel 1 staan de belangrijkste kenmerken van de mogelijk geschikt lagen. In de tabel is ook aangegeven waar de 500 m grens (SDE-grens) zich bevindt. Op basis van de eigenschappen van de verschillende lagen is bepaald dat de formatie van Maassluis (vanwege hoge doorlatendheid) en de zanden van Brussel (vanwege hoge temperatuur)

het best geschikt zijn voor de toepassing van OGT in Flevoland. De andere lagen Fm. van Breda en de Fm. van Oosterhout vallen gezien hun doorlatendheid en hoge kleigehalte af.

Voor de zanden van Brussel is ook de diepteligging belangrijk omdat dit laagpakket zich onder de SDE-subsidie grens bevindt.

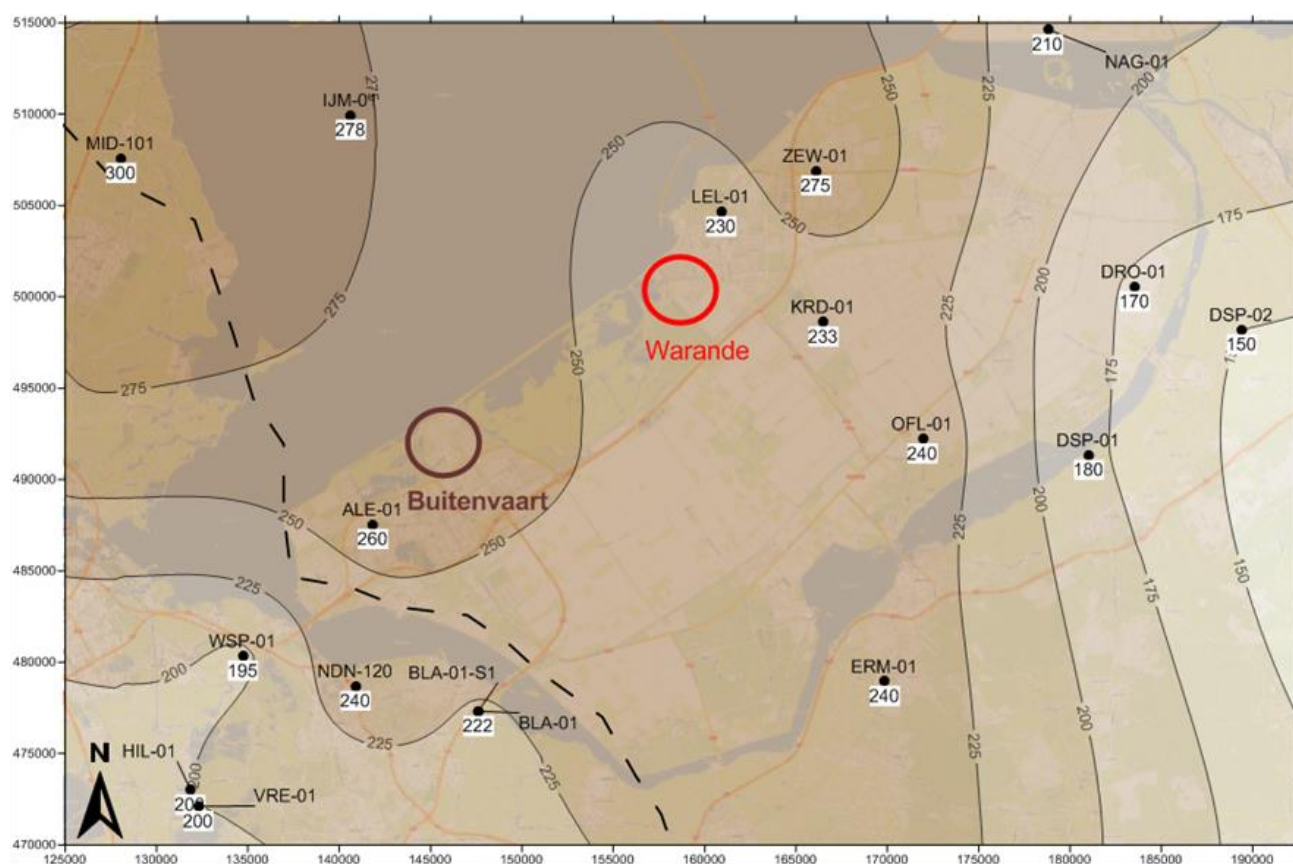
In de volgende paragrafen wordt dieper ingegaan op de van belang zijnde parameters voor de toepassing van OGT uit deze formaties.

*Tabel 1
Kenmerken
behorend bij
potentieel geschikte
formaties. Ook de
diepte van de SDE+
subsidiegrens is
weergegeven.*

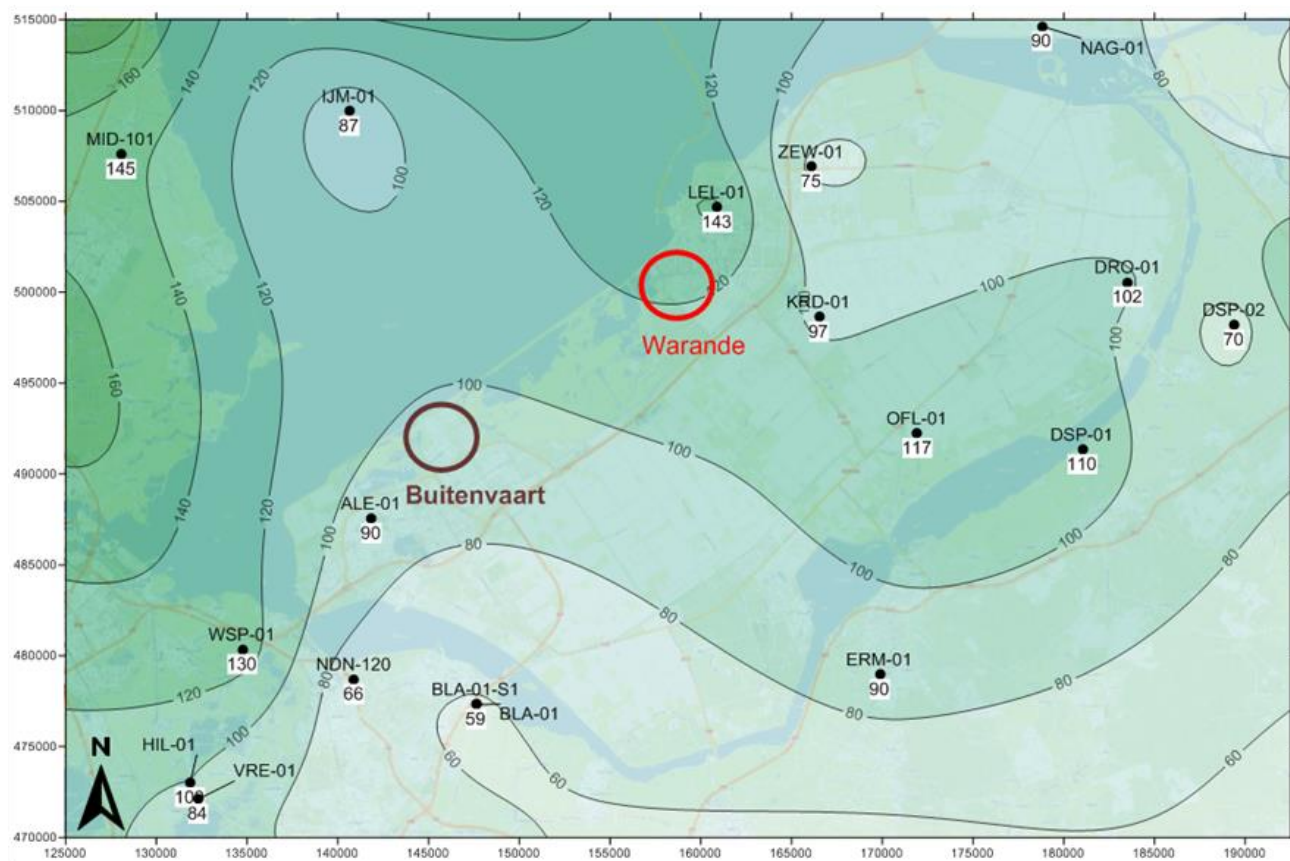
Laag	Bruto dikte [m]	Nett/Gross	Doorlatendheid/Permeabiliteit zandlagen	Temperatuur
Fm. van Maassluis	70-150	gemiddeld ca. 55%	Studie Purmerbos: 5 à 7 m/d Atlas IJsselmeergebied: 9 ± 3 m/d WKO's in Arnhem: 14-20 m/d Putproef Apeldoorn: 12 m/d Verwachting: ca. 10 m/d	ca. 15-20 °C
Fm. van Oosterhout	10-110	gemiddeld ca. 55%	Geen duidelijke waarden: Zandige lagen in basis Fm. waarschijnlijk >5 D. Zandige lagen in top ook goed doorlatend (RGD, 1985).	ca. 18-23 °C
Fm. van Breda	300-600	gemiddeld ca. 20%	Gemiddeld ca. 300 mD (RGD, 1985)	ca. 20-40 °C
Zanden v. Brussel	0-90	gemiddeld ca. 65%	Kleiige zandlagen 50 mD en enkele schone zandlagen: 200-600 mD (RGD, 1985) Schatting obv log KKP: 234 mD	ca. 36-45 °C

4.1.1 Formatie van Maassluis

Op basis van putdata van nabij gelegen putten is een dieptekaart van de top van de Maassluis formatie opgesteld (zie Figuur 7). De gebruikte data is met de Kriging interpolatiemethode geïnterpoleerd. De diepte van de top van de formatie is in Flevoland redelijk constant (225 à 260 m-mv), alleen ten noordoosten ligt de formatie wat ondieper (150 à 200 m-mv).

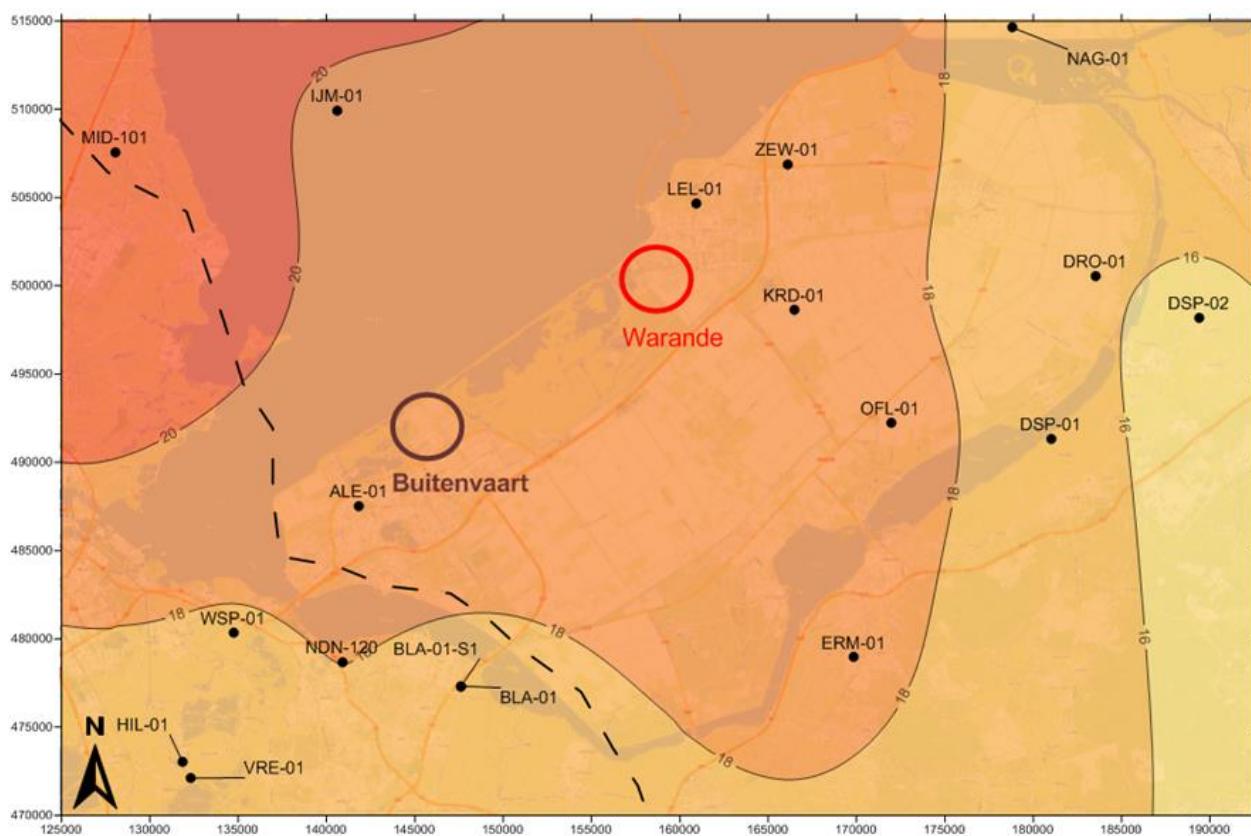


In Figuur 8 is de diktekaart van de Maassluis formatie weergegeven. Ook deze kaart is een interpolatie van putdata, waarbij de Kriging interpolatiemethode is gebruikt. De formatie is dikker in het midden van het onderzoeksgebied (100-120 m) dan in het noorden en zuiden van het gebied (60-100 m).



Figuur 8
Bruto dikte Formatie
van Maassluis.

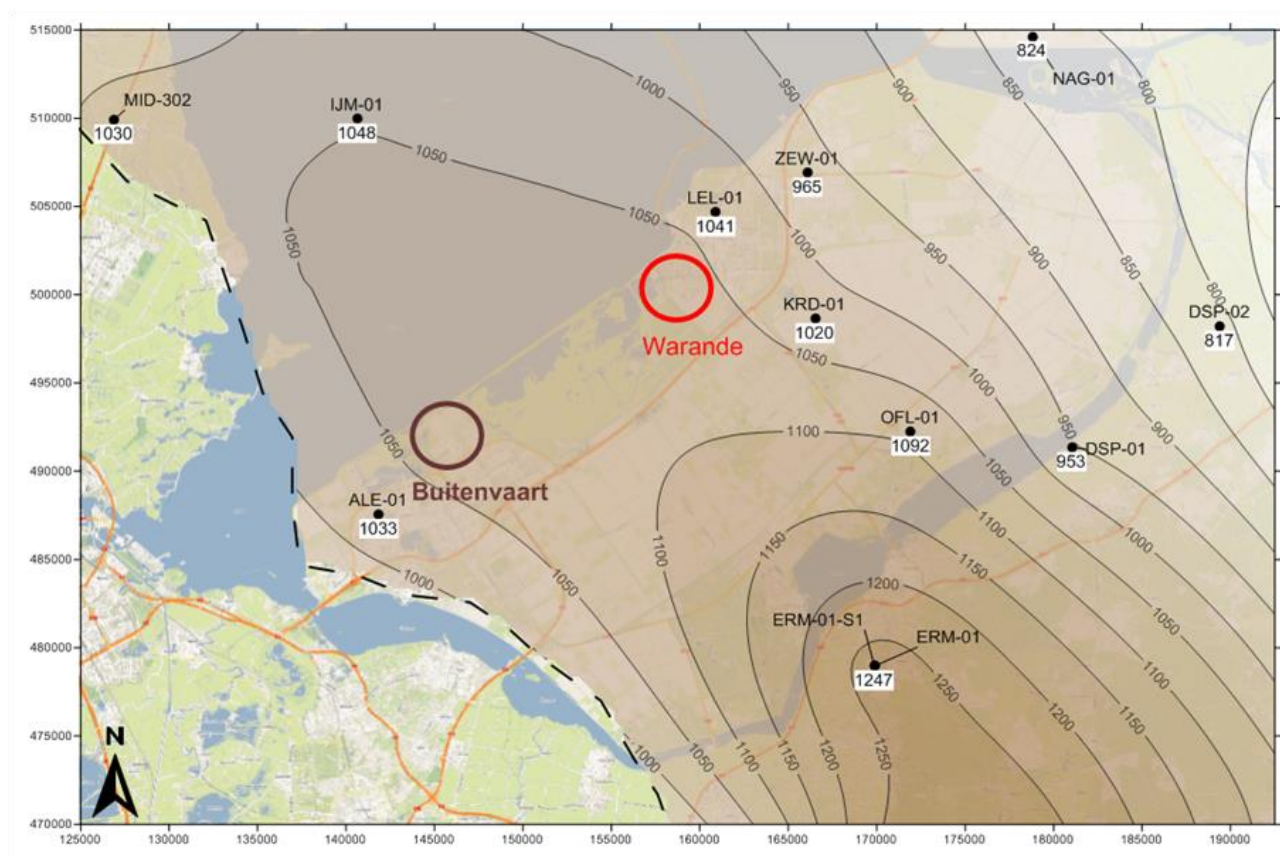
In Figuur 9 is de temperatuurkaart van de Maassluis formatie weergegeven. Deze kaart is gebaseerd op de geothermische gradiënt zoals weergegeven in Figuur 5. De temperaturen zijn midden reservoirtemperaturen.



Figuur 9
Temperatuurkaart
midden Formatie van
Maassluis.

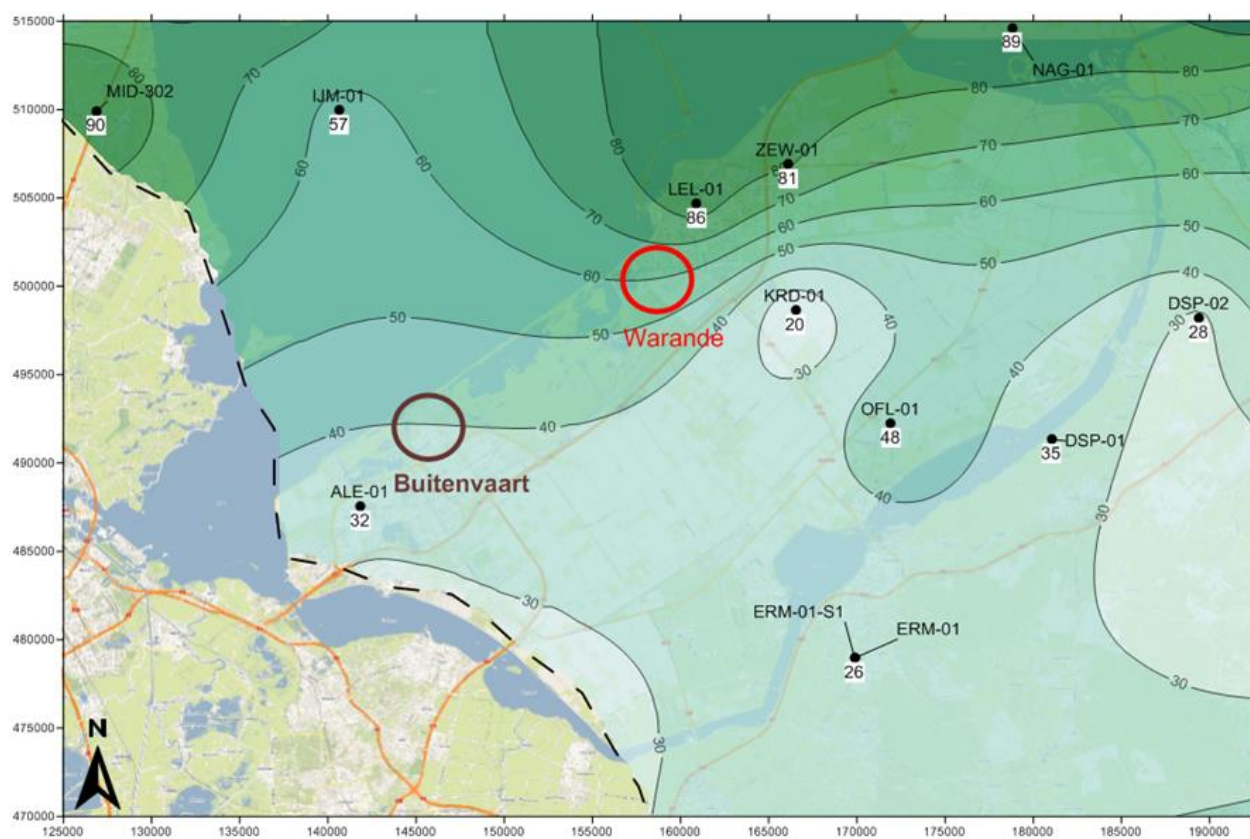
4.1.2 Zanden van Brussel

Op basis van putdata van nabijgelegen locaties is een dieptekaart van de top van de Zanden van Brussel opgesteld, zie Figuur 10. Het laagpakket ligt het diepste in het zuiden en midden (rond 1.100 m) en het ondiepste in het noorden (rond 850 m). Voor het gehele gebied worden de Brussel zanden dieper dan de SDE-subsidie grens van 500 m-mv verwacht.

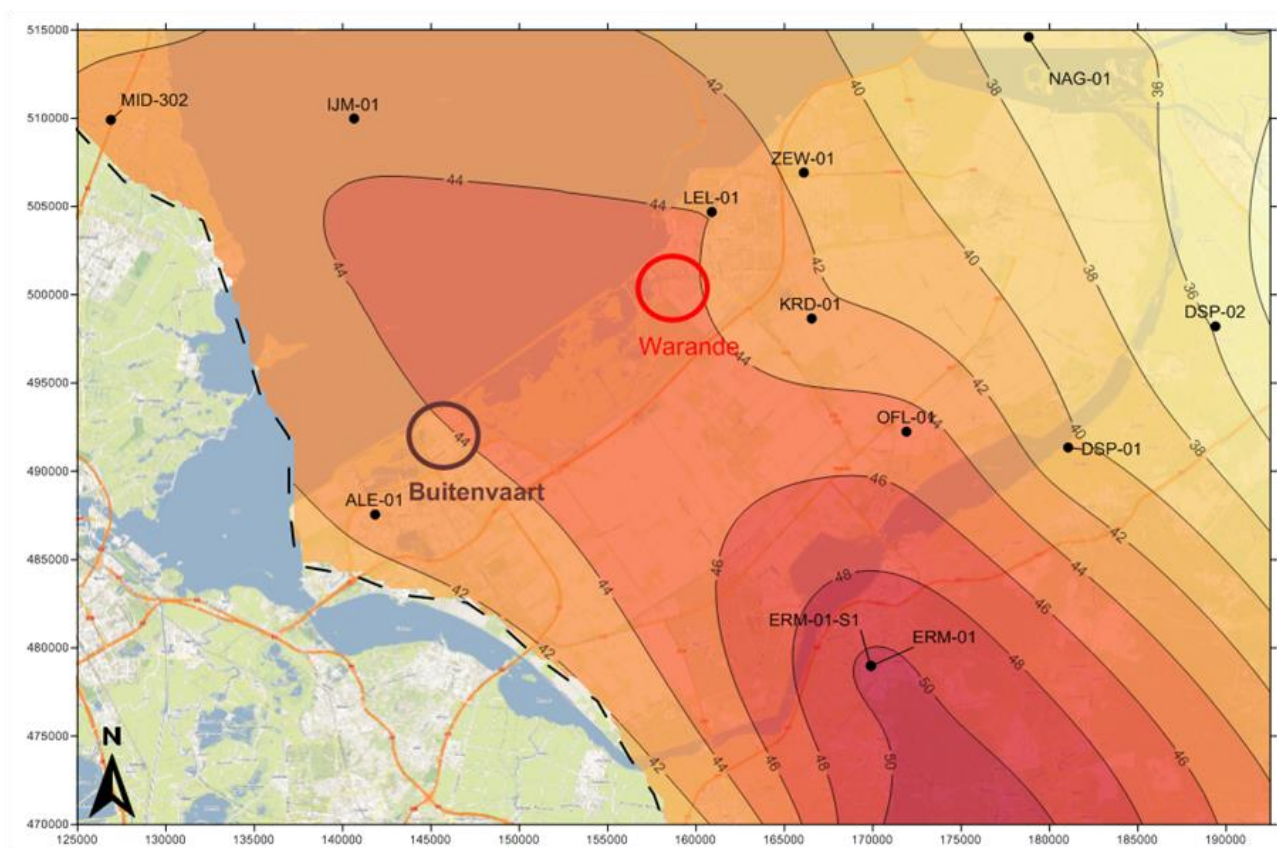


Figuur 10
Diepte top Zanden
van Brussel.

In Figuur 11 is de diktekaart van het Zand van Brussel weergegeven. Deze kaart is een interpolatie van putdata. De formatie wordt dikker richting het noorden (max. dikte circa 80 m), en is het dunste rondom put KR D-01 (circa 20 m). In Figuur 12 is de temperatuurkaart van het laagpakket weergegeven.



Figuur 11
Bruto dikte Zanden
van Brussel.



4.2 Business case 2 scenario's ondiepe geothermie

Voor de business case zijn twee scenario's doorgerekend. Een scenario voor woningbouw (Warande) en een scenario voor glastuinbouw (Almere Buitenvaart).

Voor het bepalen van de energiebehoefte voor woningen is uitgegaan van een EPC van 0,4 volgens de uniforme maatlat gebouwde omgeving ([uniforme maatlat RVO](#)). Het bepalen van de energiebehoefte voor de glastuinbouw is gedaan aan de hand van de studie "Visie vanuit de tuinbouw op Buitenvaart" van Agrimaco (juni 2015) en op basis van eerder uitgevoerde OGT-studies.

In de woningbouw is uitgegaan van een gasloze wijk. Ter vergelijking zijn de woningbouw scenario's ook doorgerekend met een luchtwarmtepomp concept en een grondgebonden warmtepomp concept.

4.2.1 Woningen Warande Lelystad

Warande is een nieuw stadsdeel in Lelystad. Met de ontwikkeling van Warande krijgt Lelystad er de komende jaren veel woningen bij. De energetische uitgangspunten van de business case berekeningen voor de Warande zijn te vinden in Tabel 2.

Tabel 2
Energetische
uitgangspunten
Warande Lelystad.

aantal woningen	piekvermogen [kW per woning]	temperatuurniveau [°C]	referentiewaarde gasverbruik per woning (ruimte + tap) [m3/j]
800	2,5	45	400

De bodemtechnische uitgangspunten zijn te vinden in Tabel 3. Deze zijn gebaseerd op de diepte, dikte en temperatuur kaarten.

Tabel 3
Bodemtechnische
uitgangspunten
Warande Lelystad.

laagpakket	diepte [m-mv]	bruto dikte [m]	temperatuur [°C]	permeabiliteit [mD]
Maassluis	230	120	19	15.000
Brussel	1.050	70	44	300

Overige uitgangspunten:

- Looptijd 15 en 30 jaar.
- SDE subsidie 15 jaar.
- Na 15 jaar herinvestering voor de warmtepompen.
- Beheer en onderhoud alle varianten gelijk, 3% van totale investering.
- Verschil in elektriciteitstarief tussen OGT en beiden andere varianten. OGT is collectief systeem, hierdoor grootverbruikers tarief (60 €/MWh). Beide andere systemen zijn individueel, hierdoor kleinverbruikers tarief (180 €/MWh).
- Piekvermogen collectief systeem kleiner dan piekvermogen individuele systeem door ongelijktijdigheid.
- Warmtenet in het geval van OGT (5.500 €/aansluiting).

In Tabel 4 zijn de resultaten weergegeven van de business case berekeningen.

*Tabel 4
Energiekosten per
GJ van OGT
vergeleken met de
andere gasloze
technieken. Kosten
gas zijn circa 20€/GJ.*

*Daarnaast zijn de
investeringskosten
totaal en
verschillende sub-
investeringskosten
per techniek
berekend.*

Onderdeel	OGT Maassluis	OGT Brussel	Lucht- warmtepomp	Grondgebonden warmtepomp
Totale investering [k€]	6.700	9.900	4.800	8.800
Na 15 jaar herinvestering WP [k€]	600	225	4.800	4.800
Bronnen [k€] (350 €/m vs. 1.250 €/m)	350	2.800	-	-
Bodemlussysteem + WP [k€]	-	-	-	8.800
Distributie [k€]	4.400	4.400	-	-
OPEX/jaar [k€]	195	60	410	455
Energiekosten* 15 jaar / 30 jaar [€/GJ]	55 / 33	55 / 33	52 / 52	78 / 65

*gas is circa 20 €/GJ.

Uit de tabel blijkt dat indien uitgegaan wordt van een afschrijvingsperiode van 15 jaar, de luchtwarmtepomp de laagste GJ-prijs geeft. Bij een afschrijvingsperiode van 30 jaar geven de OGT-systemen de laagste GJ prijs. Maassluis en Brussel hebben dezelfde prijs (ook na 30 jaar). Bij de afschrijvingsperiode van 15 jaar zijn beide GT-systemen hoger dan de lucht-WP door de hoge investering van het distributienet. De grondgeboden WP geeft in alle gevallen de hoogste GJ-prijs.

Gevoeligheidsanalyse

Er is tevens een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarin gevarieerd is met:

- Het aantal huizen: 400 woningen en 600 woningen
- Kosten voor de bronnen van OGT in de Zanden van Brussel: 750 €/m in plaats van 1.250 €/m.
- Geen kosten voor het distributienet.

In Tabel 5 is dit verder uitgewerkt.

*Tabel 5
Gevoeligheidsanalyse
waarin de
energiekosten van
alternatieve scenario's,
berekend zijn.*

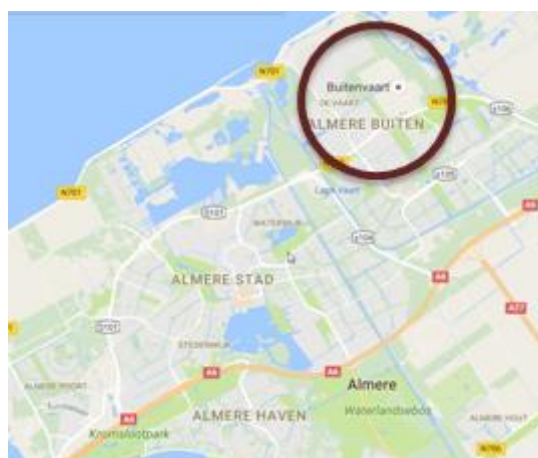
Alternatieve scenario's	OGT Maassluis	OGT Brussel zanden
1. Schaalverkleining: van 800 naar 400 woningen	33	51
2. Schaalvergroting: van 800 naar 1.600 woningen	33	26
3. Reductie diepe boorkosten: 1.250 naar 750 €/m	-	27
4. Geen kosten distributie (publiek net)	21	21

Het blijkt dat de Zanden van Brussel bij een schaalvergroting de laagste kosten per GJ opleveren. Bij een schaalverkleining is het verstandig uit te wijken naar de Formatie van Maassluis.

4.2.2 Glastuinbouw Almere Buitenvaart

De Buitenvaart is het glastuinbouwgebied van Almere, en is bijzonder door de grote diversiteit aan bedrijven. De locatie van dit gebied is weergegeven in Figuur 13. De energetische uitgangspunten voor de door te rekenen globale business case zijn gebaseerd op de Visie vanuit de tuinbouw op Buitenvaart (Agrimaco, juni 2015).

Figuur 13
Locatie gebied
Almere Buitenvaart.



In Tabel 6 staan de energetische uitgangspunten voor de business case.

Tabel 6
Energetische
uitgangspunten
Almere Buitenvaart.

oppervlakte [ha]	gas per jaar [m ³]	vermogen [MW]	aantal vollasturen per jaar [h]	Gewenst temperatuurniveau [°C]
5	1,5 miljoen	4,0	3.000	45

De bodemtechnische uitgangspunten zijn te vinden in Tabel 7. Deze zijn gebaseerd op de diepte, dikte en temperatuur kaarten.

Tabel 7
Bodemtechnische
uitgangspunten
Almere Buitenvaart.

laagpakket	diepte [m-mv]	bruto dikte [m]	temperatuur [°C]	permeabiliteit [mD]
Maassluis	230	90	19	15.000
Brussel	1.050	40	44	300

Resultaten berekeningen

In Tabel 8 zijn de resultaten weergegeven van de berekeningen per OGT-laagpakket. Zowel de energiekosten als investeringskosten zijn weergegeven. De investeringskosten voor het gebruik van de Zanden van Brussel liggen bijna drie keer zo hoog als het gebruik van de Maassluis formatie. De energiekosten voor het gebruik van de Brussel zanden zijn daarentegen wel wat lager dan bij gebruik van de Maassluis formatie. De lagere energiekosten zijn met name te danken aan de SDE-subsidie.

Tabel 8
Energiekosten en
totale
investeringskosten
per GJ van OGT.

Onderdeel	OGT Maassluis	OGT Brussel
Energiekosten [€/GJ]	9	7
Totale investering [k€]	1.700	4.700

4.3 Conclusies Ondiepe geothermie

Uit de uitgevoerde business case berekeningen blijkt dat indien het aantal huizen groot genoeg is (voldoende warmtevraag) ondiepe geothermie een interessant alternatief kan zijn voor luchtwarmtepompen. De investeringen zijn als gevolg van de bronnen en het distributienet hoger maar door het collectieve karakter (gelijktijdigheid) zijn herinvesteringen in de warmtepompen op lagere termijn lager. Als gevolg hiervan heeft OGT bij een afschrijvingstermijn van 30 jaar in plaats van 15 jaar een lagere GJ-prijs dan luchtwarmtepompen.

Bij een schaalvergroting geven de Zanden van Brussel een lagere GJ-prijs dan de formatie van Maassluis. Dit blijkt ook uit het voorbeeld van de glastuinbouw case. Bij een schaalverkleining is Maassluis interessanter.

In alle gevallen is het OGT-systeem in staat om meer warmte te leveren dan gevraagd wordt. Hierdoor resulteert een nog grotere warmtevraag in een nog lagere GJ-prijs.

5

Potentie Geothermie

5.1 Laagpakket

Voor de inventarisatie voor de mogelijkheden van geothermie is gebruik gemaakt van een aantal verschillende databronnen en studies:

- NLOG, olie en gas boringen;
- ThermoGis;
- Studie geothermie Almere;
- Studie OGT Amsersfoort;
- Geothermie zuidelijkdeel Noord-Holland;
- Gerealiseerde project in Koekoekspolder;
- Landelijke kartering diepe ondergrond TNO.

Uit deze studies is gebleken dat het Slochteren reservoir het best geschikt is voor geothermie binnen de provincie Flevoland. In Tabel 9 is een overzicht van de gebruikte putdata weergegeven.

Tabel 9
Gebruikte putdata.

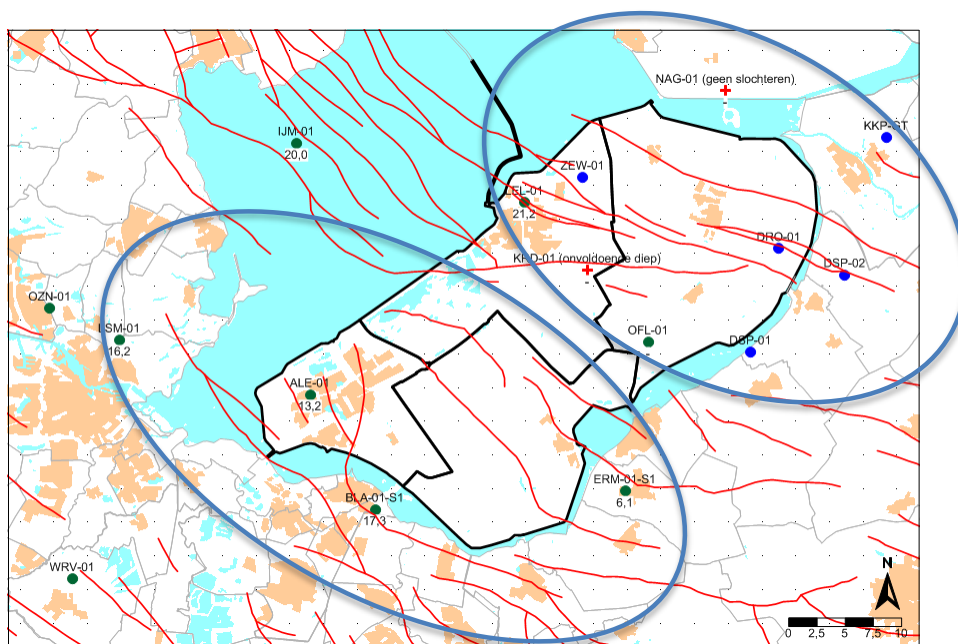
Put	X [m]	Y [m]	Top [m-mv]	Bottom [m-mv]	Porositeit [%]	Perm. [mD]
ALE-01	141843	487548	-1735	-1858	13,2	7
Almere-Hout	-	-	-2000	-2139	16,0	50
BLA-01-S1	147612	477318	-1443	-1560	17,3	141*
DRO-01	183541	500556	-2189	-2330	13,0	2
ERM-01-S1	169858	478959	-2575	-2602	6,1	1
IJM-01	140632	509948	-2257	-2437	20,0	276
LEL-01	160906	504665	-1880	-2024	21,2	600
LSM-01	124877	492417	-1306	-1448	16,6	94
OFL-01	171926	492232	-2336	-2388	12,0	2
OZN-01	118691	495244	-1306	-1468	14,0	3
WRV-01	120700	471135	-200	-2210	5,0	0
ZEW-01	166097	506897	-1616	-1768	22,0	136
KRD-01 (onvold. diep)	166507	498633	-	-	-	-
DSP-01	181029	491341	-2256	-2370	9,0	1
DSP-02	189403	498204	-1645	-1798	-	-
KKP-GT-01 en GT-02	193089	510437	-1850	-1940	18,3	190
NAG-01 (geen slocht.)	178792	514631	-	-	-	-

*dik gedrukte gegevens zijn afkomstig uit ThermoGis. Andere getallen uit door IF uitgevoerde studies.

5.2 Afleiding potentie kaart

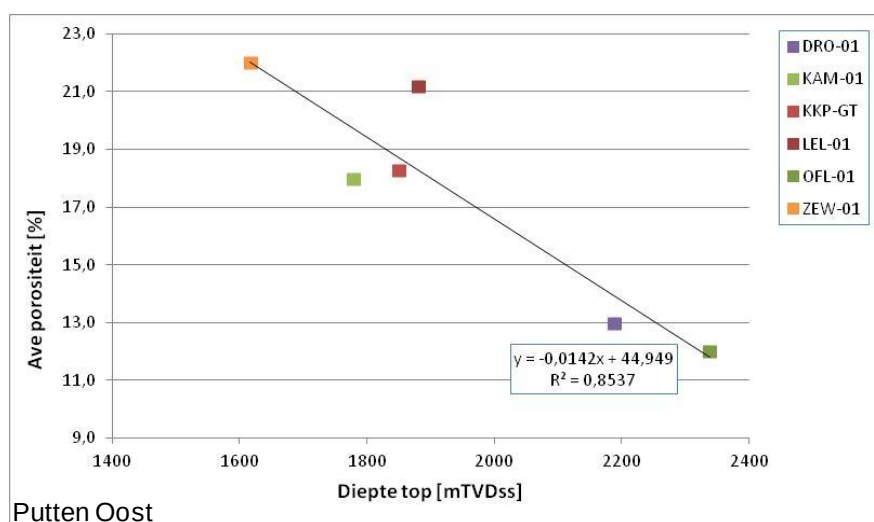
Op basis van de gegevens uit Tabel 9 zijn gemiddelde porositeit-diepterelaties en een gemiddelde porositeit-gemiddelde permeabiliteitsrelatie opgesteld. Er zijn twee verschillende poro-diepterelaties opgesteld omdat uit de data blijkt dat er duidelijk twee verschillende trends te onderscheiden zijn: één trend voor oostelijk Flevoland en één trend voor zuidelijk Flevoland. In Figuur 14 is een overzicht van de gebruikte putten weergegeven. Tevens is aangegeven welke putten samen zijn genomen voor de twee verschillende poro-diepterelaties.

*Figuur 14
Overzicht gebruikte
putten en clusters
van putten voor de
verschillende poro-
diepte relaties.*

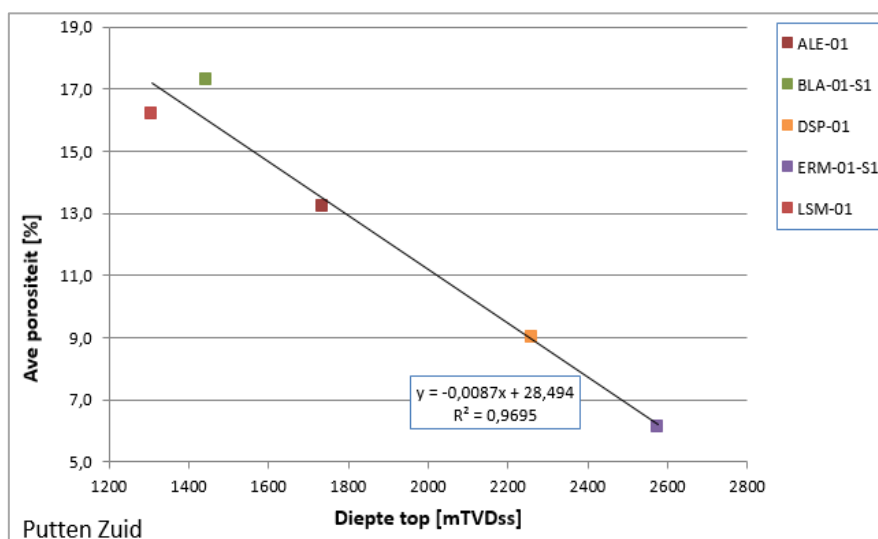


In Figuur 15 en Figuur 16 zijn de afgeleide relaties weergegeven. De reden voor de verschillende trends kan verklaard worden door de begravingsgeschiedenis van het zuidelijke deel. In dit deel heeft het Slochteren in het verleden namelijk veel dieper gelegen dan waarop het momenteel ligt. De porositeiten zijn bepaald door de maximale diepte waarop het reservoir ooit gelegen heeft. Hierdoor geeft de zuidelijke relatie een lagere porositeit bij een bepaalde diepte dan de oostelijke relatie.

Figuur 15
Poro-diepte
Flevoland Oost.

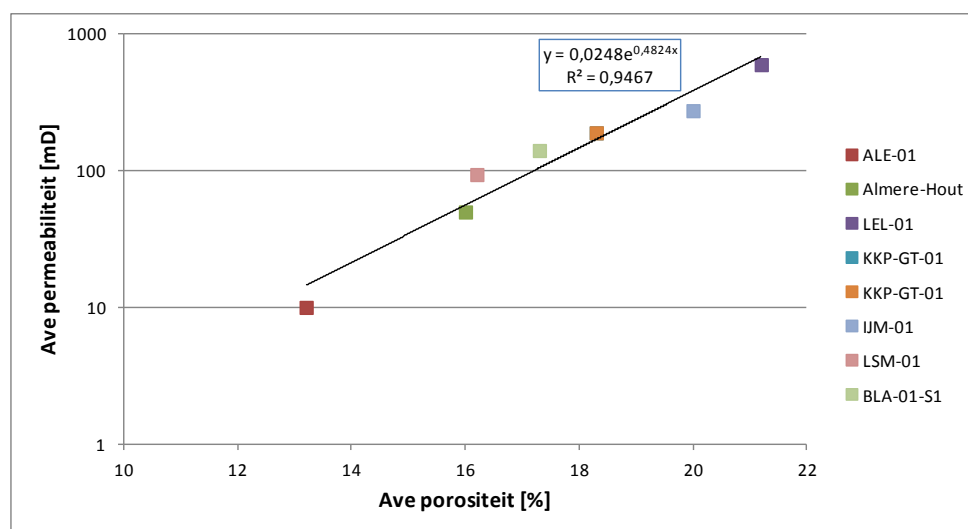


Figuur 16
Poro-diepte
Flevoland Zuid.



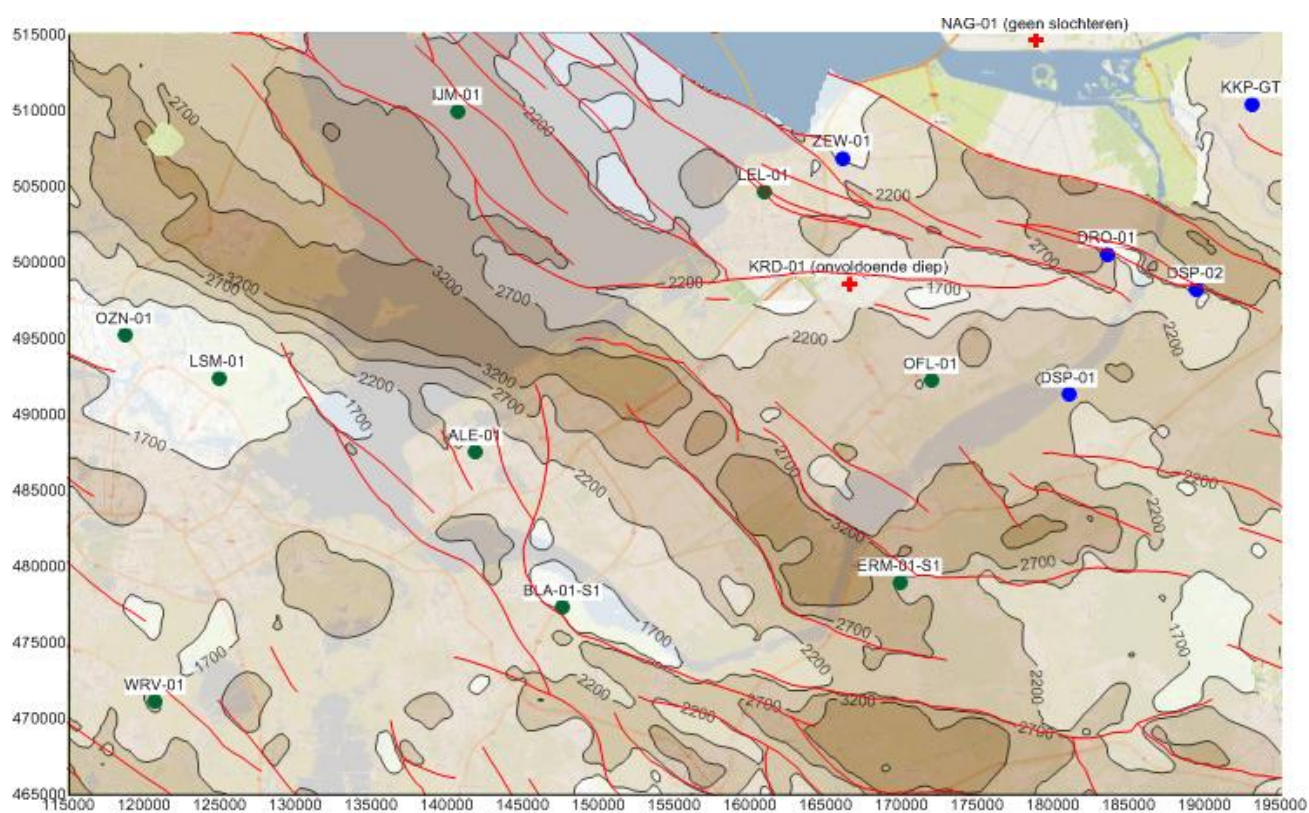
De gegevens uit Tabel 9 zijn ook gebruikt om een relatie tussen de porositeit en permeabiliteit te bepalen. In dit geval is er geen onderscheid gemaakt tussen het Oost en Zuid Flevoland, zie Figuur 17.

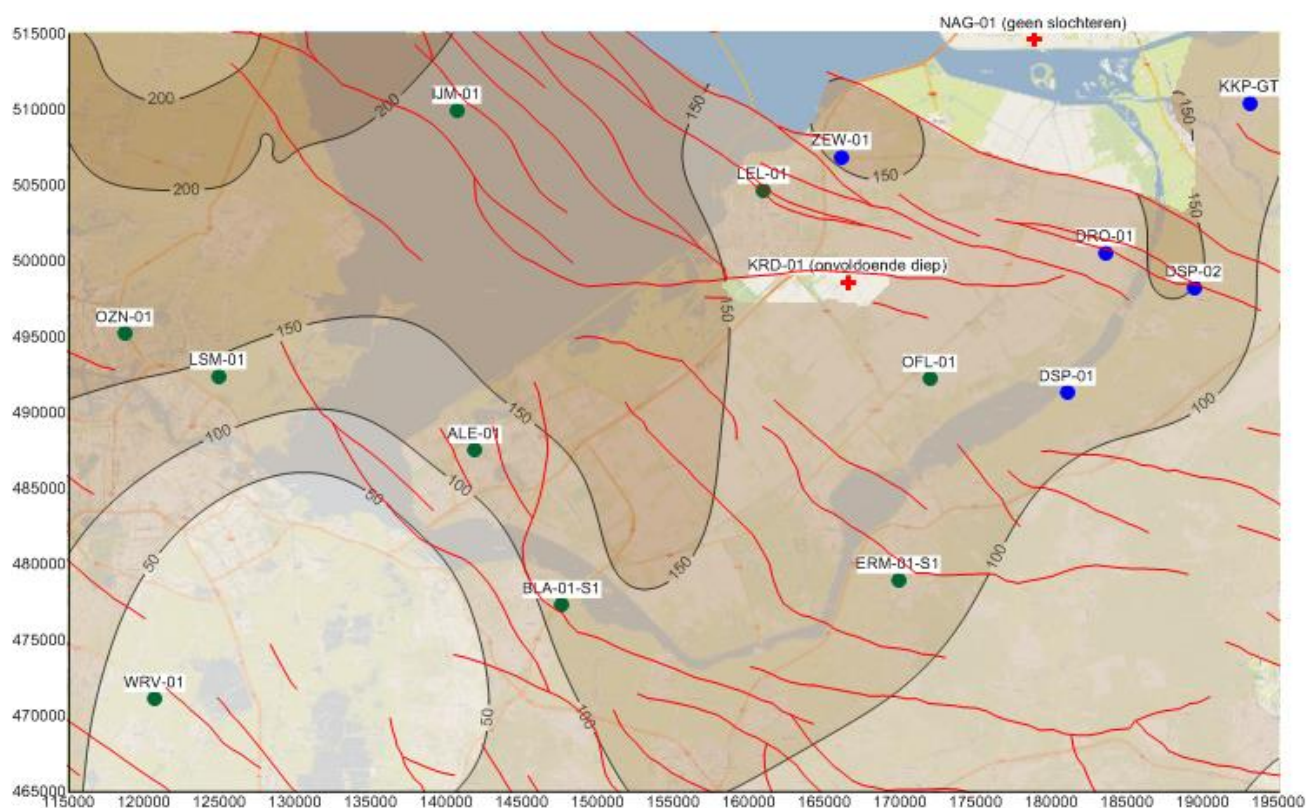
Figuur 17
Gemid. porositeit–
gemid. permeabiliteit
relatie.



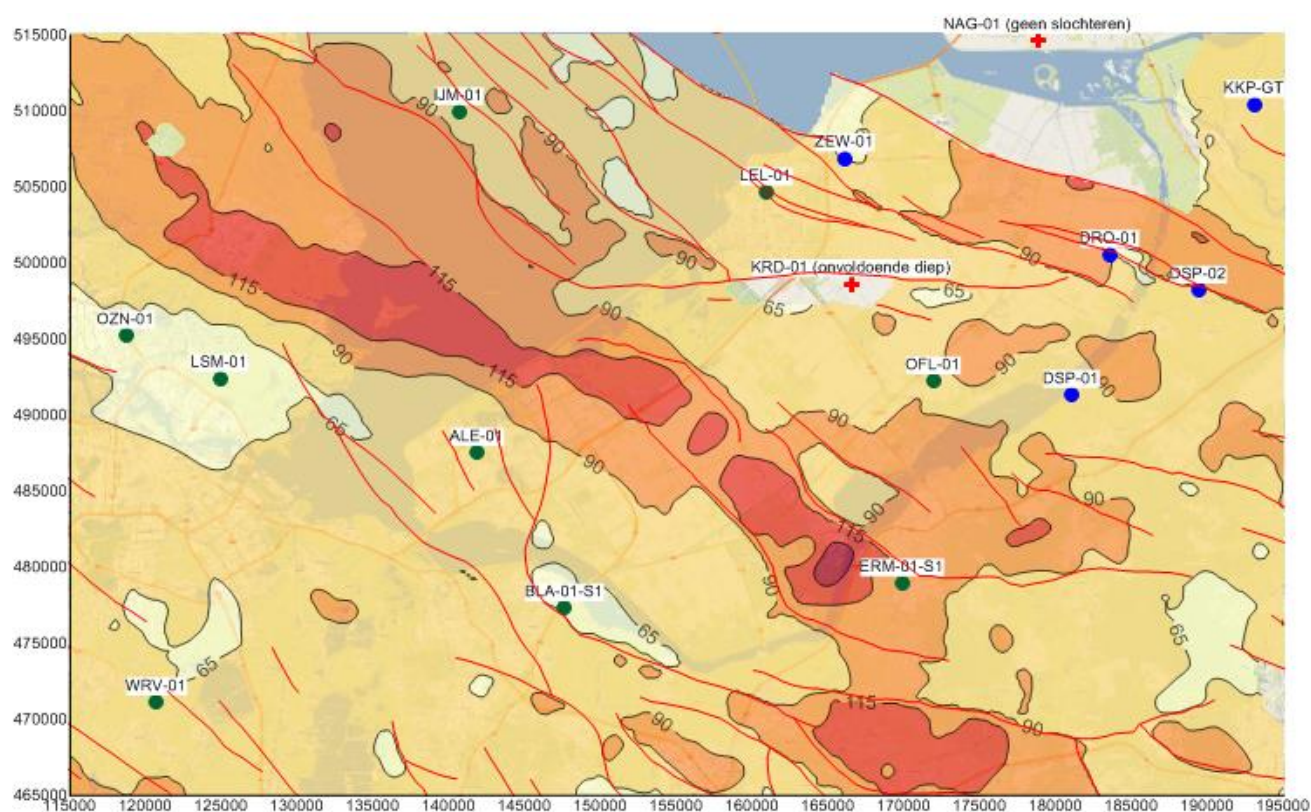
Op basis van de regionale kartering uitgevoerd door TNO is een dieptekaart van het Slochteren gemaakt. Deze kaart is weergegeven in Figuur 18.

Op basis van de beschikbare putdata is een diktekaart van het Slochteren gemaakt. Deze is weergegeven in Figuur 19.





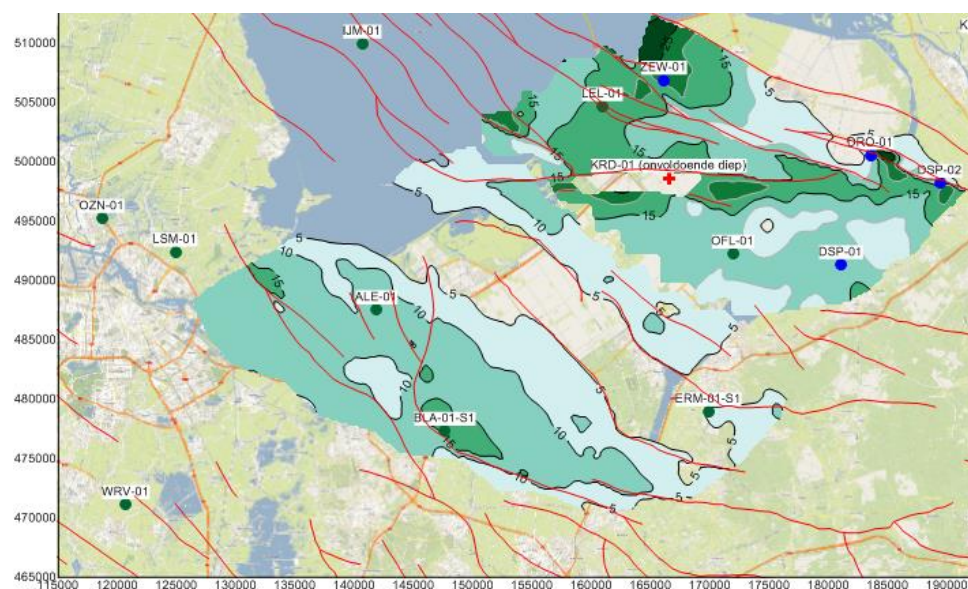
De diepte en de diktekaart zijn met behulp van de afgeleide geothermische gradiënt vertaald naar een temperatuurskaart. Deze kaart is weergegeven in Figuur 20 en geeft de temperatuur in het midden van de formatie weer.



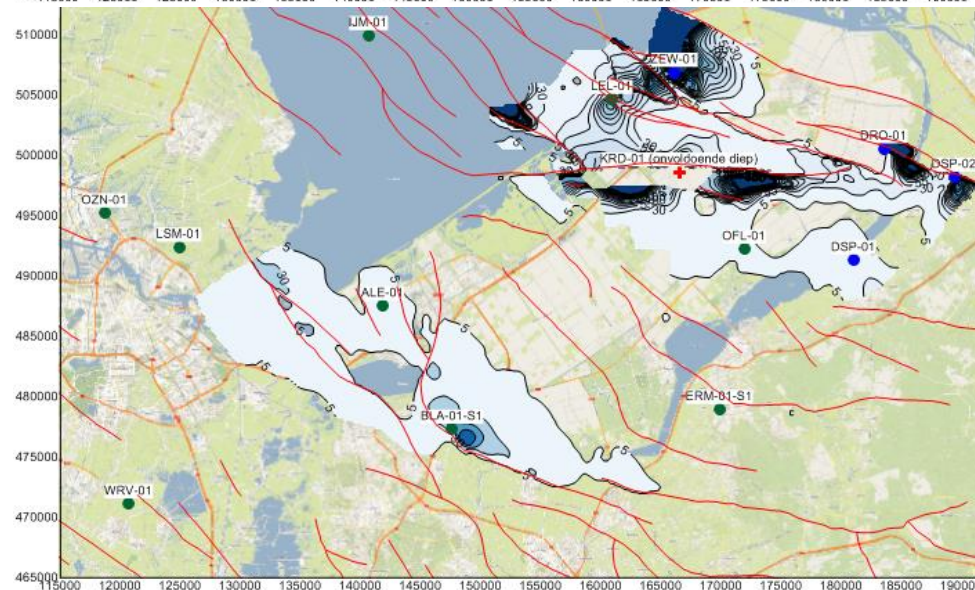
Figuur 20
Temperatuur midden
Slochteren.

Op basis van de afgeleide porositeitsdiepte realties en poro-perm relaties, kunnen porositeits en permeabiliteitskaarten vervaardigd worden, zie Figuur 21 en Figuur 22.

Figuur 21
Porositeitskaart [%].

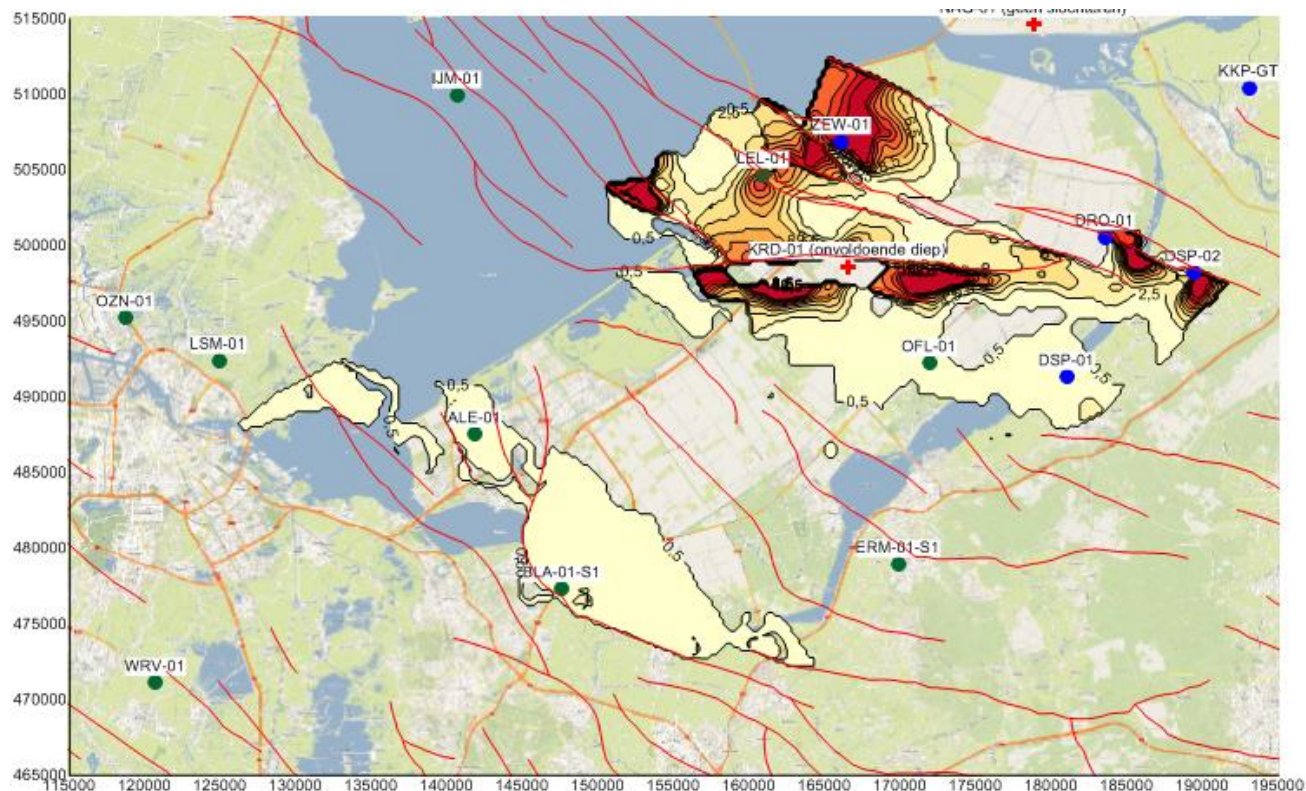


Figuur 22
Permeabiliteitskaart
[mD].



Figuur 23
Thermisch vermogen
Slochteren. COP 10,
retourtemperatuur
25°C.

De permeabiliteitskaart kan samen met de diktekaart en de temperatuurskaart omgerekend worden naar een vermogenskaart. Ook is het noodzakelijk een bepaalde COP en retourtemperatuur aan te nemen. In dit geval is uitgegaan van een COP van 15 en een retourtemperatuur van 25°C. De berekende vermogenskaart is weergegeven in Figuur 23.

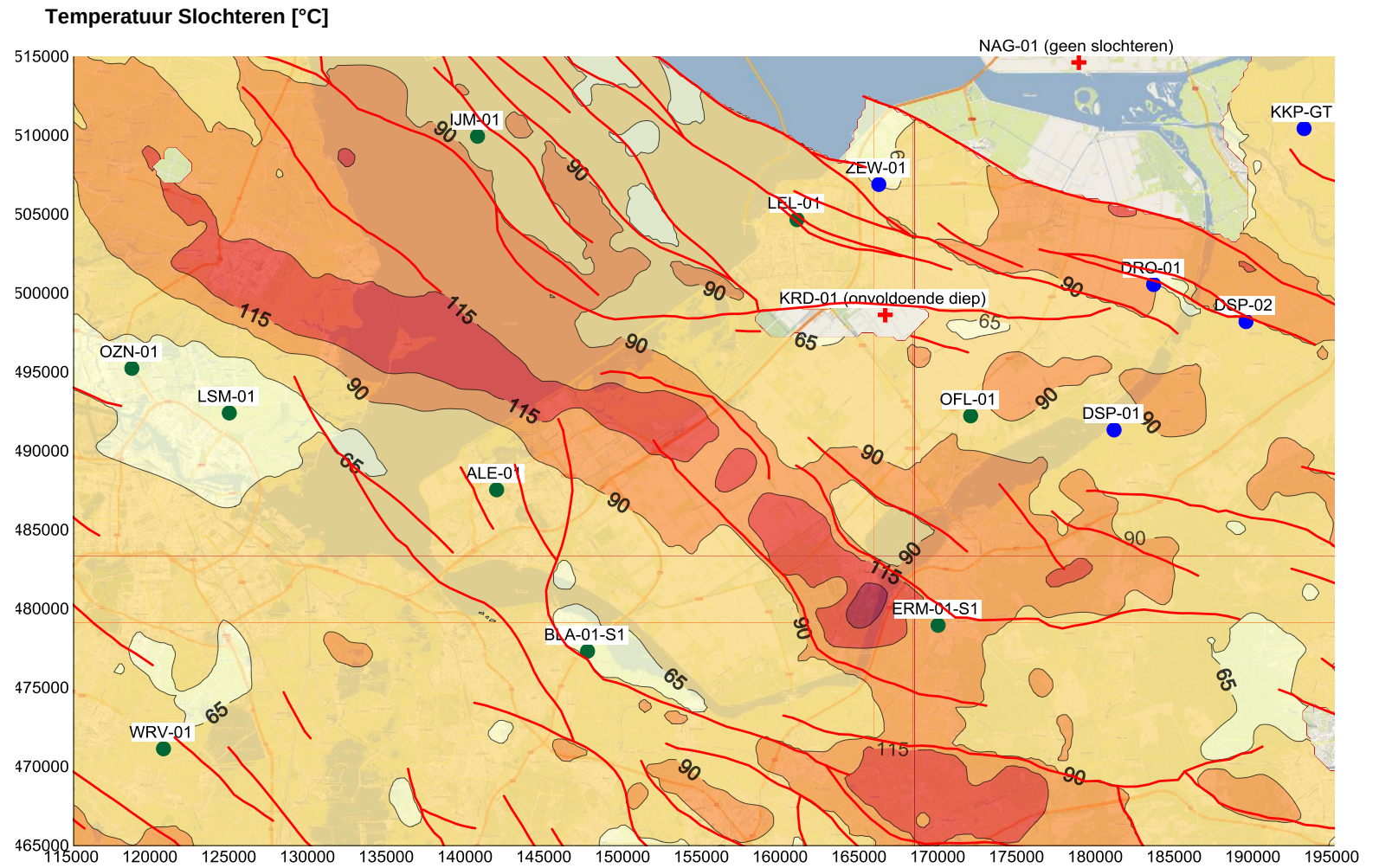


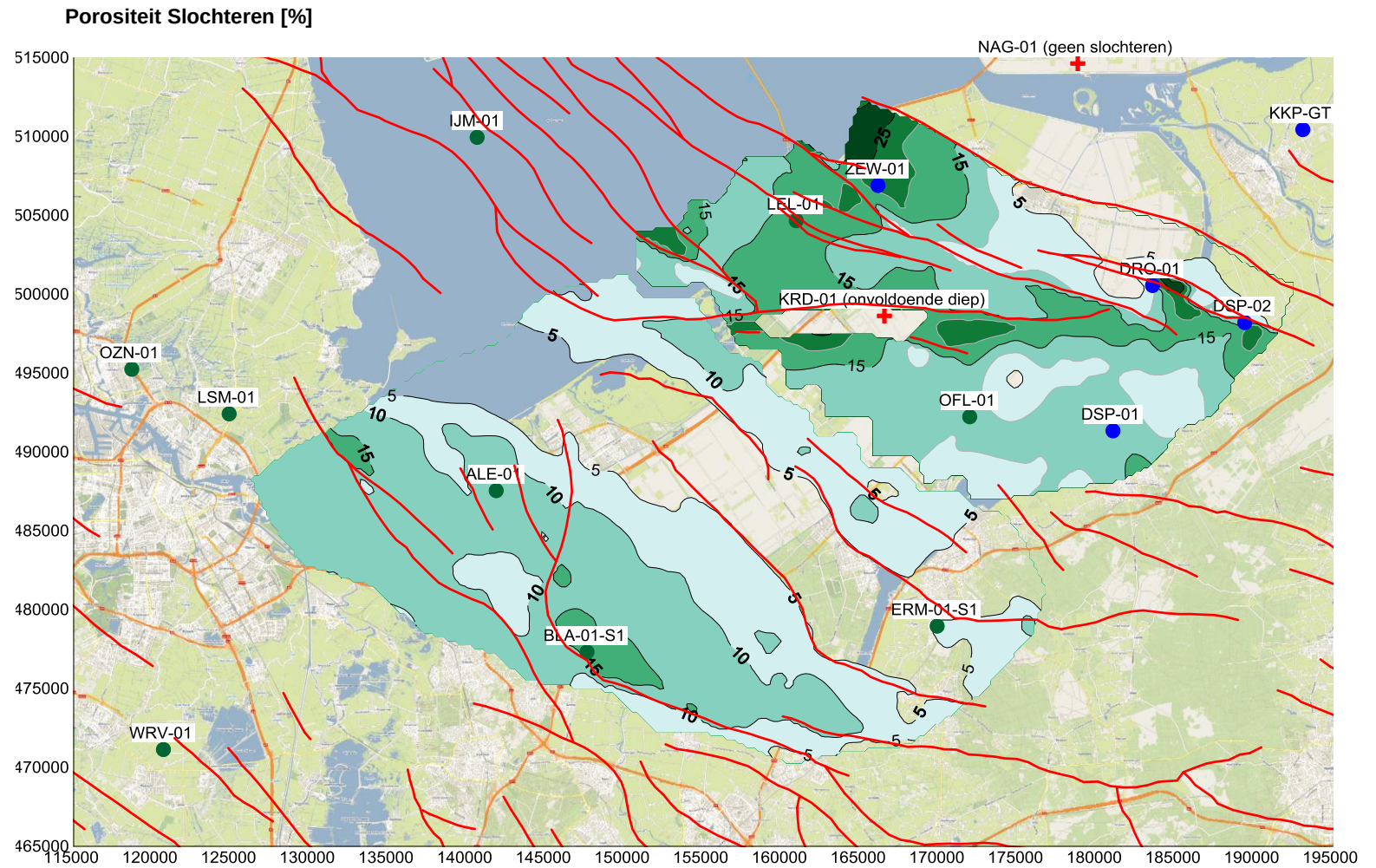
5.3 Conclusie Geothermie

Uit de potentie kaart valt duidelijk op dat de grootse potentie van geothermie zich in Oost Flevoland bevindt, en dan met name rondom Lelystad. In Zuid Flevoland is de potentie marginaal, hetgeen met name te wijten is aan de lage permeabiliteit (door de inversie van dit gebied). Eventueel kan reservoirstimulatie gebruikt worden om het thermisch vermogen dat met een put geproduceerd kan worden te verhogen. Ook kan een warmtepomp gebruikt worden om het thermische vermogen te vergroten. De COP zal hierdoor afnemen.

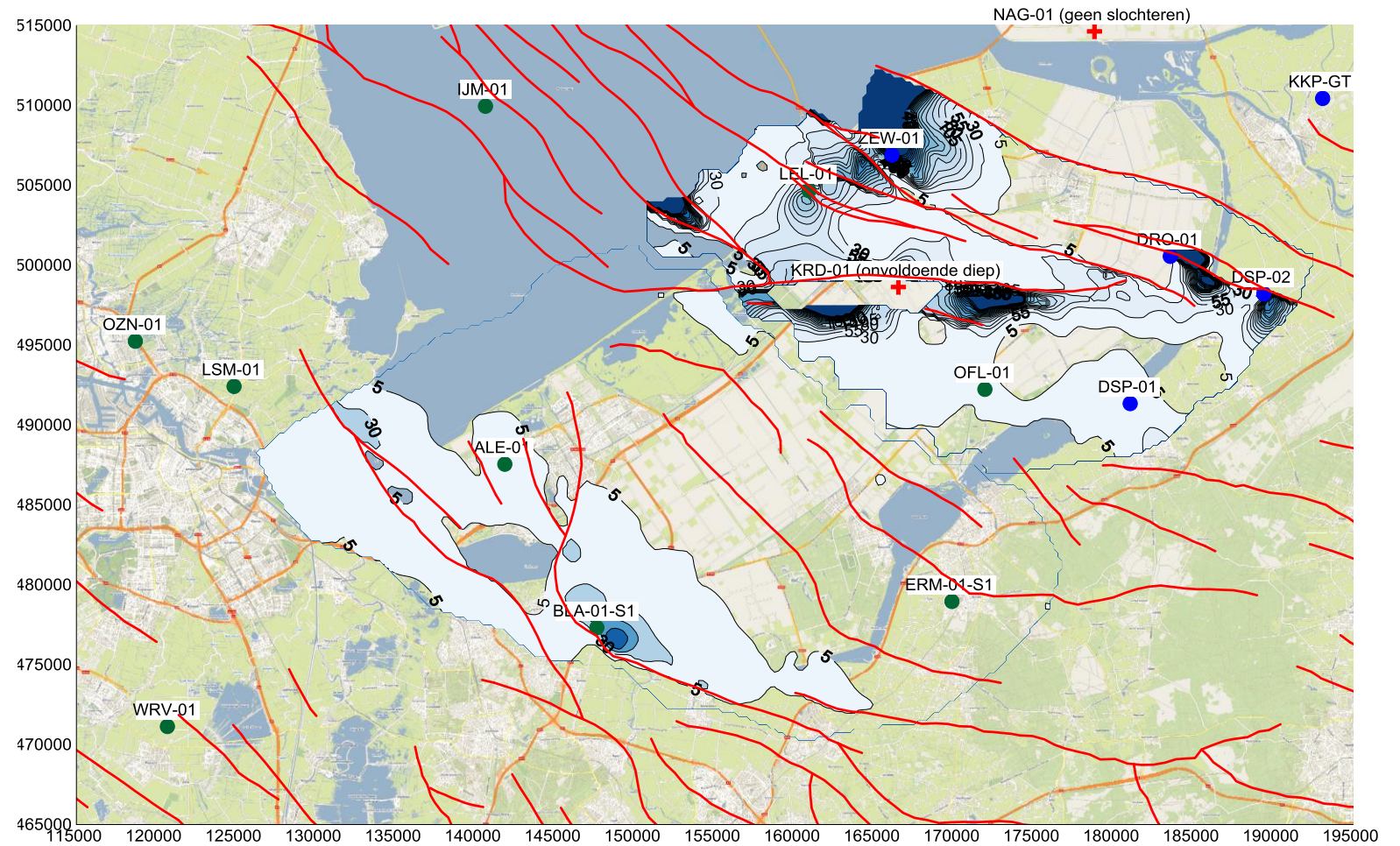
Bijlage 1

Kaarten





Permeabiliteit Slochteren [mD]



Thermisch vermogen Slochteren Oostelijk Flevoland; COP 10, retourtemperatuur 25°C [MW]

