

Opdrachtgever:  
Provincie Zeeland  
Tav de heer P. Michielsen  
Het Groene Woud 1, Middelburg  
Postbus 165  
4330 AD Middelburg



PanTerra Geoconsultants B.V.  
Weversbaan 1-3  
2352 BZ Leiderdorp  
The Netherlands  
Tel. +31 71 581 35 05  
Fax +31 71 301 08 02  
ABNAMRO bank 49 28 54 319  
E-mail info@panterra.nl

## Onderzoek naar de mogelijkheden voor geothermie in Zeeland

### Management Samenvatting

**Auteur:**

**M.M.W. Peeters**

**Reviewed by:**

**A. van de Weerd**

**Rapport Nr. G849**

**6 Juli 2011**

THIS REPORT contains analyses opinions or interpretations which are based on observations and materials supplied by the client to whom, and for whose exclusive and confidential use, this report is made. The interpretations or opinions expressed represent the best judgement of PanTerra Geoconsultants B.V. (all errors and omissions excepted); PanTerra Geoconsultants B.V. and its officers and employees, assume no responsibility and make no warranty or representations, as to the productivity, proper operations, or profitability of any oil, gas, water or other mineral well or sand in connection which such report is used or relied upon.

Ingeschreven bij de Kamer van Koophandel te Leiden onder nummer 28047512



## Management samenvatting

In opdracht van de provincie Zeeland heeft PanTerra Geoconsultants B.V. van oktober 2010 tot mei 2011 een studie uitgevoerd naar de mogelijkheden van diepe geothermie in de provincie Zeeland. De resultaten zijn uitgebreid beschreven in het rapport '*Onderzoek naar de mogelijkheden voor geothermie in Zeeland*'. De belangrijkste resultaten worden beknopt en in niet technische taal weer gegeven in deze management samenvatting.

Doel van deze studie is het onderzoeken van de mogelijkheden voor geothermische energie winning in de Provincie Zeeland waarbij alle beschikbare gegevens worden gebruikt.

Er is relatief weinig bekend over de diepe ondergrond van Zeeland. Dat komt omdat oliemaatschappijen snel inzagen dat er geen olie of gas aanwezig zijn in de provincie en daarom al vroeg hun exploratie opgaven. Er zijn dus maar een paar putten geboord en er is maar weinig seismiek over Zeeland opgenomen. Voor deze studie is daarom ook gebruik gemaakt van gegevens uit Vlaanderen waar de structuur en de geologie van de diepe ondergrond veel overeenkomst vertoont met die in Zeeland. Doordat er weinig gegevens beschikbaar over de ondergrond van de provincie Zeeland zijn blijven er veel onzekerheden over, ook na deze studie

Geothermisch energie is opgeslagen in warm water aanwezig in watervoerende lagen (zogenaamde aquifers) in de diepe ondergrond. Bij winning van geothermische energie wordt warm water uit de diepe ondergrond opgepompt, de warmte wordt uit het water gewonnen door een warmtewisselaar en het uitgeoelde water wordt weer terug gepompt.

In de aarde neemt de temperatuur toe met de diepte; in Nederland neemt met elke 100 meter dieptetoename de temperatuur met ongeveer 3 graden Celsius toe. Hoe dieper de watervoerende lagen hoe warmer het water dat is opgeslagen in deze lagen. Ook de eigenschappen van de watervoerende lagen zijn van het grootste belang. In een goede en bruikbare aquifer moet het water goed kunnen stromen. Een belangrijke maat hiervoor is de doorlaatbaarheid. Het warme water moet zonder veel problemen in grote volumes kunnen worden opgepompt door een put en het uitgeoelde water moet weer makkelijk kunnen worden teruggepompt in dezelfde laag middels een ander put.

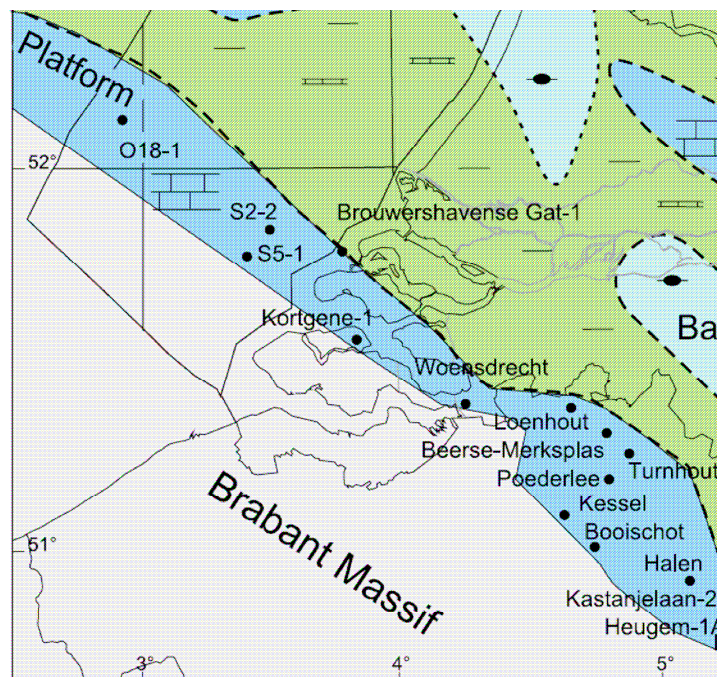
Diep gelegen aquifers die in andere delen van Nederland goede mogelijkheden bieden voor het gebruik van warm water komen voor in het Perm, Trias of Onder Krijt. Deze lagen komen niet voor in de ondergrond van de provincie Zeeland.

Aardlagen die wel aanwezig zijn in Zeeland zijn, maar niet geschikt zijn voor diepe geothermie zijn:

- Aardlagen van het Kwartair tot Krijt. Deze gesteenten hebben een te ondiepe ligging in Zeeland om interessant te zijn voor geothermie. Ze liggen op dieptes kleiner dan 1500 meter en hebben daarom een temperatuur lager dan 55°C;

- Aardlagen van het Boven Carboon, dat zijn de Maurits, Ruurlo, Baarlo en Epen Formaties. Deze lagen liggen voldoende diep voor geothermie toepassing (tussen 1200 en 175000 meter) maar hebben geen goede reservoir eigenschappen en zijn dus niet bruikbaar;
- Gesteenten uit het Devoon (tussen 1200 en 4800 meter). Ook deze gesteenten liggen diep maar voor zo ver bekend hebben deze gesteenten geen goede reservoir eigenschappen, en zijn daarom niet geschikt voor geothermische toepassingen.

De enige lagen die mogelijk geschikt zijn voor diepe geothermische toepassingen in de provincie Zeeland komen voor in de Kolenkalk. Dat is een gesteente formatie in het Onder Carboon, formeel heet deze formatie de Formatie van Zeeland. In ons rapport wordt meestal de informele naam Kolenkalk gebruikt.



Figuur 1 Kolenkalk (blauw) komt voor in de ondergrond van Noord Zeeland, offshore Nederland en in België (provincie Antwerpen). Weergegeven zijn diepe boringen die Kolenkalk hebben aangeboord.

## Geschiktheid van de Kolenkalk Formatie voor geothermische toepassingen

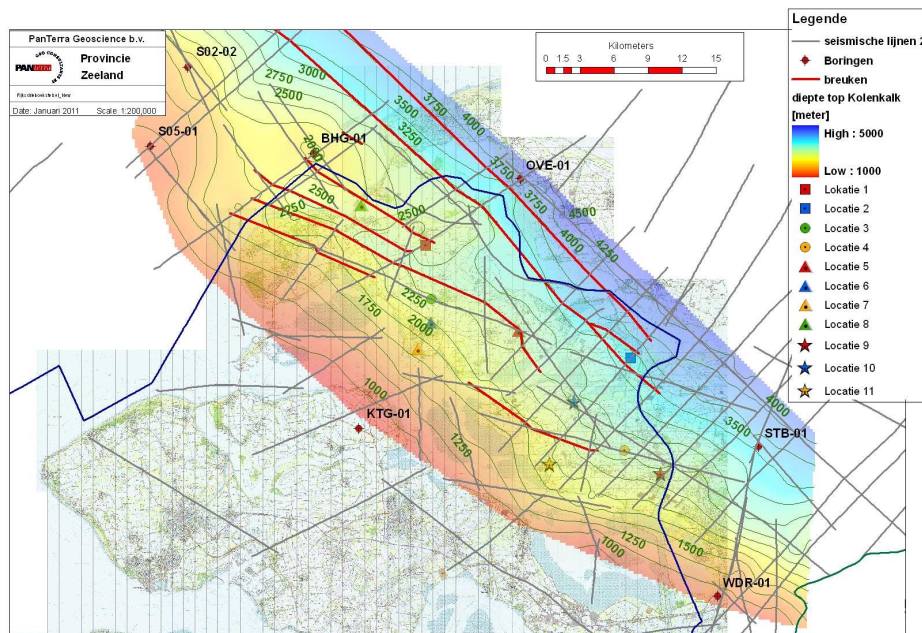
De Kolenkalk bestaat voornamelijk uit kalksteen. De verspreiding van Kolenkalk is te zien in Figuur 1. De Kolenkalk is aangetroffen in een aantal boringen in de provincie Zeeland en in naburig België (blauwe delen in Figuur 1). De Kolenkalk is dik, in Zeeland tussen de 500 en 1000 m en voor het grootste gedeelte niet geschikt voor geothermische toepassingen. Maar er zijn gedeeltes in de Kolenkalk waar de Kolenkalk goede eigenschappen zou kunnen hebben. Dat komt doordat gedeeltes van de Kolenkalk karst-verwering hebben ondergaan, dit treffen we vooral aan in de top van de Kolenkalk.

In België zijn er een aantal projecten in de Kolenkalk die van belang zijn voor de provincie Zeeland en deze worden hieronder kort besproken.

### *Geothermie projecten en gasopslag in Kolenkalk, België*

De geschiktheid van Kolenkalk voor geothermische toepassingen in België is aangetoond met het project Merksplas-Beerse (in Figuur 1). Dit gedeeltelijk succesvolle project is uitgevoerd in de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw. Er zijn toen twee diepte-intervallen in de Kolenkalk aangeboord en deze bleken goede reservoir eigenschappen te hebben op dieptes tussen de 1600 m en 1800 m. De totale netto dikte van het warmwater reservoir in de Kolenkalk is 40 meter, de temperatuur is 72 °C. Een andere ondergrondse toepassing in de Kolenkalk met goede reservoir eigenschappen is de ondergrondse gas opslag (UGS) bij Loenhout (in Figuur 1). De bovenste 50 – 80 meter van de Kolenkalk is hier sterk verkarst en watervoerend en heeft voldoende porositeit en doorlaatbaarheid voor het gebruik van een UGS.

Recentelijk zijn er plannen bekend gemaakt voor een geothermische elektriciteitscentrale bij Mol (België). Verwacht wordt reservoir aan te treffen op 2,5 tot 3,5 km diepte, met een temperatuur 125 °C. Het betreft waarschijnlijk Kolenkalk, en mogelijk ook gesteenten uit het Devoon of Siluur. Mol ligt op een actieve breukzone, daarom wordt de kans op goede doorlaatbaarheid van het reservoir gesteente hoog geschat.



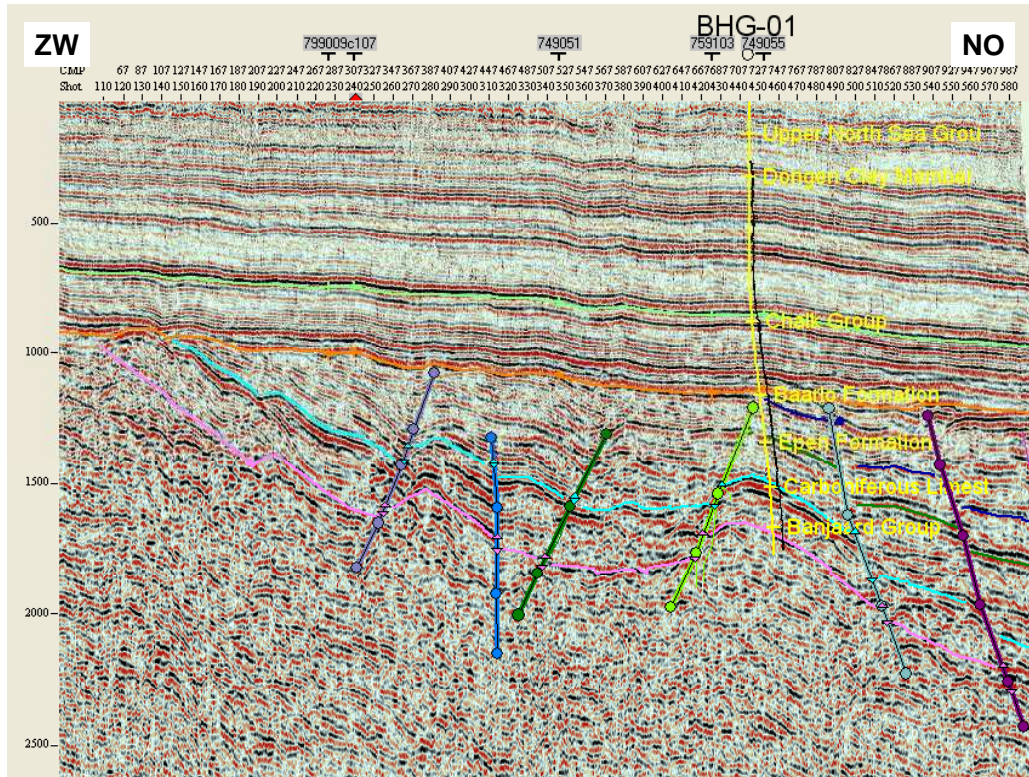
Figuur 2 Diepte van de top van de Kolenkalk in Zeeland; seismische lijnen zijn grijs, geïnterpreteerde breuken zijn rood; blauw is diep, rood is ondiep.

### *Diepte Kolenkalk in Zeeland*

De diepte van de Kolenkalk en de breuken zijn in kaart gebracht voor de provincie Zeeland op basis van seismische gegevens en put gegevens: de resultaten zijn geïllustreerd in Figuur 2. Kolenkalk komt voor



in de ondergrond van Schouwen-Duiveland en Tholen op dieptes tussen 1 en 4 km, de diepte neemt toe naar het noordoosten.



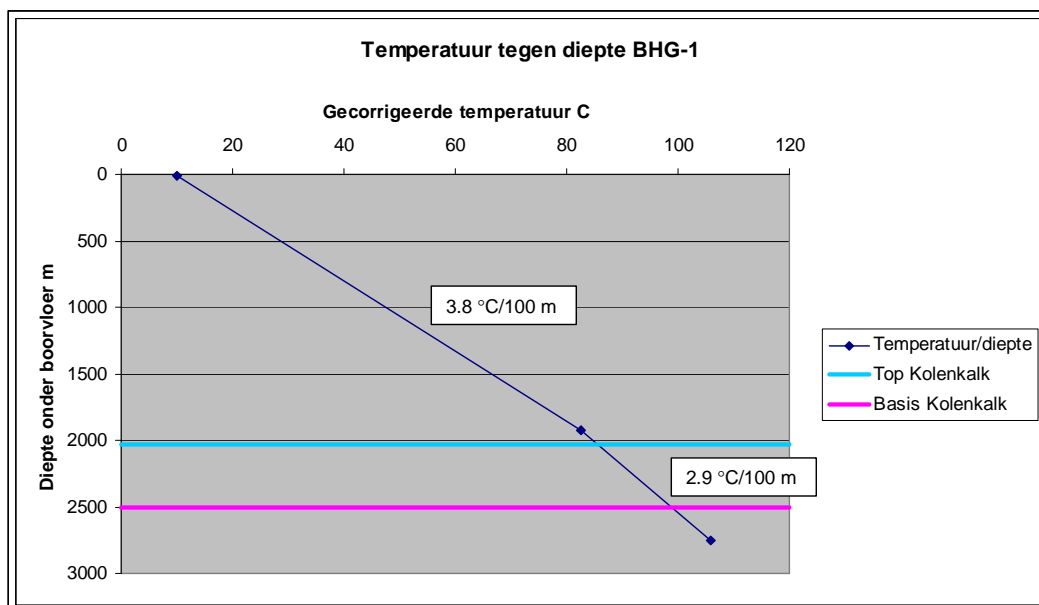
Figuur 3 Seismische sectie ZW – NO met boring Brouwershavensegat-01 (BHG-01). Het onregelmatige patroon van Kolenkalk op seismiek wijst op afzettingen gevormd in ondiepe mariene milieus.

#### *Breuken in de Kolenkalk van Zeeland*

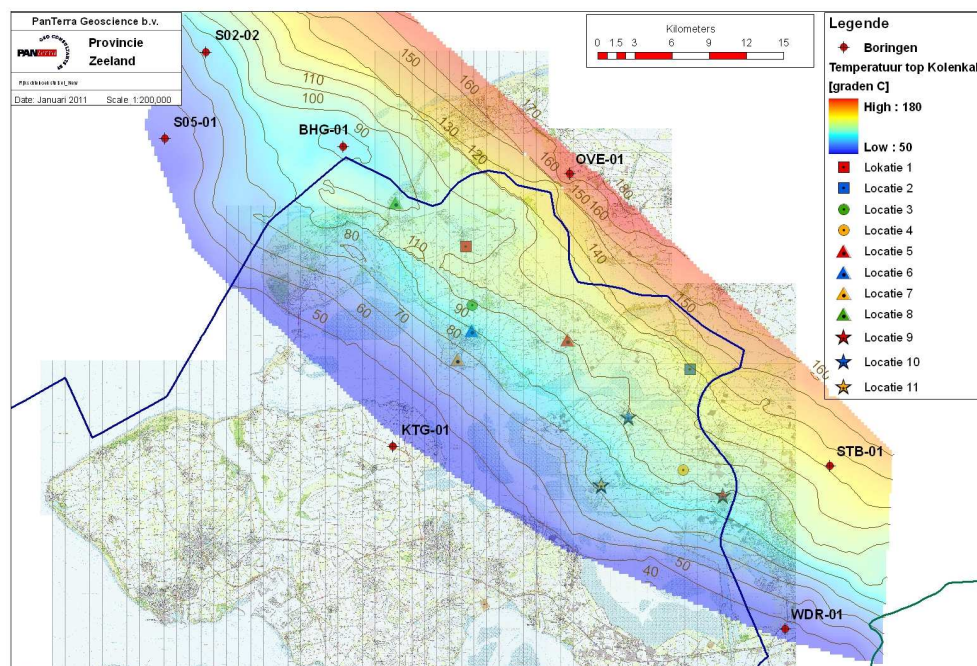
In de Kolenkalk komen breuken voor met NW-ZO strekkingsrichting, zie Figuur 2 en 3. In het noorden van Schouwen komen veel breuken voor en hebben de breuken een groot verzet.

#### *Temperatuur*

Gemiddeld genomen neemt de temperatuur in Zeeland toe met ongeveer 3 °C per 100 m. Maar er is sprake van een hogere temperatuur gradiënt in het noorden van Zeeland waar op 2 km diepte al temperaturen van boven 80 °C zijn gemeten in boorgaten, onder andere in de boring Brouwershavensegat-01 (zie Figuren 4 en 5). Deze temperatuur anomalie zou een aanwijzing kunnen zijn van circulatie waarbij uit diepere delen van de Kolenkalk naar boven stroomt, misschien langs breuken. Een temperatuur kaart van de top van de Kolenkalk is te zien in Figuur 5 en laat zien dat de temperatuur toeneemt naar het noordoosten. Hoge temperaturen (groter dan 120 °C) komen voor in het oosten van Schouwen en in Sint Philipsland.



Figuur 4 Gecorrigeerde temperaturen gemeten in boring Brouwershavensegat-01.



Figuur 5 Temperatuur van de top van de top Kolenkalk.

### Reservoir eigenschappen

Op basis van metingen aan boorkernen, analyse van boorlogs en gegevens uit Vlaanderen zijn schattingen gemaakt voor de porositeit, permeabiliteit en reservoir dikte van de Kolenkalk in Zeeland (Tabel 1). Porositeit of poreusheid is de aanwezigheid van kleine openingen (poriën) in een materiaal of gesteente. Permeabiliteit (of doorlatendheid) is een maat van de eigenschap van een gesteentelaag om vloeistoffen (olie, water) of gassen te transporteren (door te laten). Hoe hoger de permeabiliteit hoe

sneller de vloeistoffen door het gesteente kunnen stromen. Het grootste deel van Kolenkalk heeft slechte reservoir eigenschappen en is niet geschikt voor geothermische toepassingen. Maar er zijn zones in de Kolenkalk die goede aquifers zouden kunnen zijn. Schattingen van de eigenschappen van deze zones geven grote bandbreedtes, dwz grote variatie in de te verwachte minimale en maximale doorlatendheid en netto dikte. De onzekerheid (de bandbreedte) in de permeabiliteit (doorlatendheid) en netto dikte van deze reservoirs is zo groot omdat er weinig data beschikbaar zijn. De metingen in de diverse Nederlandse boringen geven tegengestelde indicaties voor wat betreft de reservoir eigenschappen van Kolenkalk. In het algemeen geven de Nederlandse boringen indicaties voor minder gunstige reservoir eigenschappen van de Kolenkalk vergeleken met die van de Vlaamse boringen. Het verschil tussen reservoir eigenschappen van Kolenkalk in Nederland en Vlaanderen lijkt geologische redenen te hebben. In België hebben de breuken een andere richting (strekking grotendeels Noord – Zuid) dan in Zeeland (NW – ZO). Breuken delen een gesteente op in blokken. Door beweging langs breuken kunnen gesteente hoger of lager komen te liggen dan omliggende gesteente. Uit de seismiek en de boringen weten we dat in België een aantal flinke blokbewegingen hebben plaatsgevonden tijdens afzetting van de Kolenkalk, waarbij karst-verwerking plaatsheeft op de hooggelegen blokken (Loenhout-Heibaart en Poederlee). De weinige seismiek die er is in Zeeland wijst erop dat dit niet het geval is in Zeeland.

Tabel 1 Schatting van porositeit, permeabiliteit en cumulatieve netto dikte van de reservoir zones en matrix in de Kolenkalk in de provincie Zeeland.

Scenario	Matrix		Reservoir zones		
	Porositeit	Permeabiliteit	Porositeit	Permeabiliteit, K	cumulatieve netto dikte, h
	%	mD	%	mD	m
max	4	2.5	10	500	100
median	2	1	4	50	40
min	0.5	0.5	1	5	5

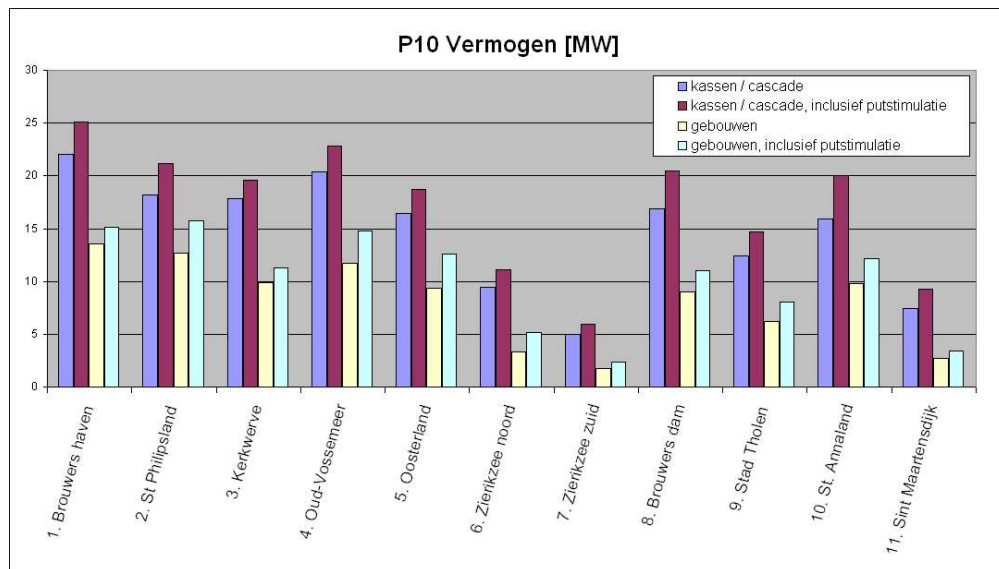


Tabel 2 Geselecteerde locaties voor berekeningen van het geothermisch vermogen

Locatie	Gemeente	specificatie	relevante info
1	Brouwershaven	Zuidernieuwlandweg	verhoogde kans op permeabele breuken (obv temperatuur anomalie)
2	St Philipsland	Lange Kruisweg	Kolenkalk op grote diepte, nabij breuken
3	Kerkwerve	Brasweg / Heuvelsweg	verhoogde kans op karst (obv seismiek)
4	Oud-Vossemeer	Kadijk	verhoogde kans op karst (obv seismiek)
5	Oosterland	kassengebied Oosterland, mogelijk uitbreiding, max. 80 ha.	nabij breuken
6	Zierikzee, noordzijde	aan noordzijde (richting schuddebeurs) is ruimte voor nieuwbouw, ca. 200 woningen, aan andere zijde van de weg wordt nagedacht over een sportcomplex met een (verwarmd) zwembad.	-
7	Zierikzee, zuidzijde	bedrijventerrein, geen grote warmtevragers bekend.	-
8	Brouwersdam	Jachthaven van de toekomst. 400 woningen, theatertje, incl. nog wat voorzieningen	verhoogde kans op permeabele breuken (obv temperatuur anomalie)
9	Stad Tholen	noordzijde woningen en bedrijventerrein. Aantal woningen per jaar eerder tientallen dan honderden.	-
10	St. Annaland	Havengebied . ca. 300 woningen, waaronder appartementen.	-
11	Sint Maartensdijk	overdekt zwembad+woningbouw (ca. 200 stuks)	-

### Geothermisch vermogen

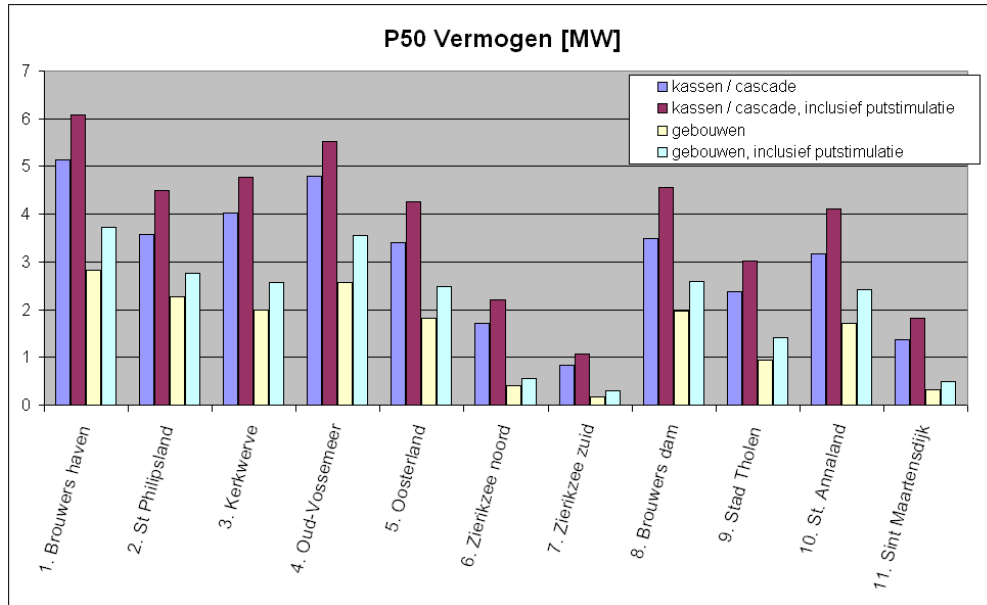
In het rapport zijn een aantal schattingen uitgewerkt en berekend voor het geothermisch vermogen van de Kolenkalk in een aantal locaties (Tabel 2) met een probabilistisch rekenprogramma, zie de Figuren 6, 7 en 8. Probabilistisch wil zeggen dat er rekening wordt gehouden met kansen en onzekerheden. Dit wordt uitgedrukt in waardes van P10, P50 en P90. Waarde P50 betekent dat er 50 % kans is op het behalen van deze of betere resultaten. Voor P10 en P90 waardes zijn deze percentages 10% respectievelijk 90%. Een P90 waarde is dus pessimistisch (maar wel relatief makkelijk te halen); een P10 waarde is optimistisch maar wordt vaak niet gehaald, een P50 waarde zit hier tussen in. De resultaten van deze schattingen van geothermisch vermogen moeten als indicatief worden beschouwd.



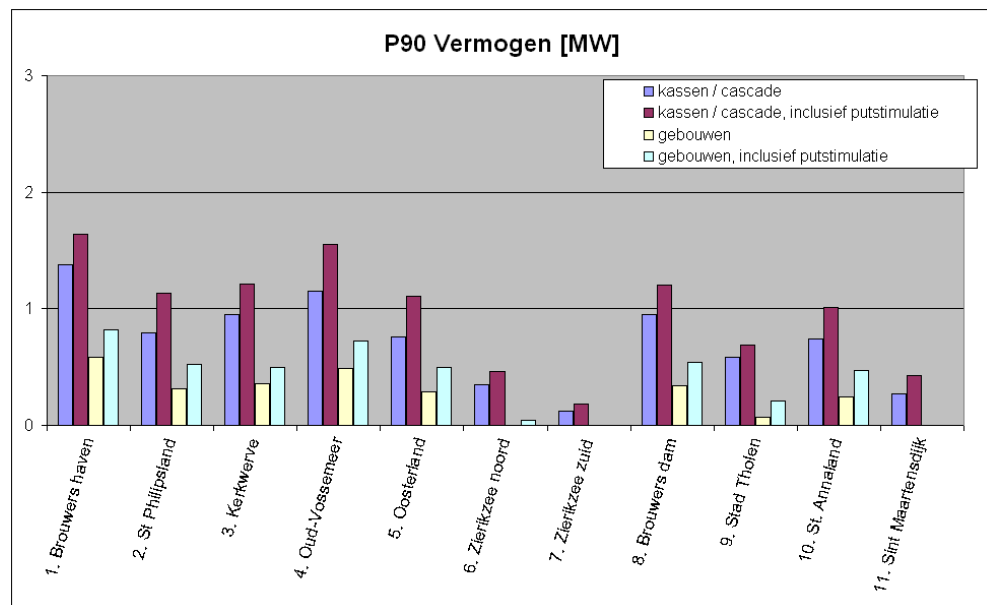
Figuur 6 Resultaten voor geothermisch vermogen, P10, dit betekent dat er 10 % kans is op behalen van deze of betere resultaten.

Voor de locaties zijn berekeningen gemaakt voor toepassingen van verwarmen van alleen gebouwen of het verwarmen van alleen kassen of het toepassen van een cascade (dat is een combinatie van gebouwen en kassen). De gevallen zijn uitgewerkt met en zonder put-stimulatie technieken. Put-stimulatie technieken verhogen de permeabiliteit rond het boorgat, waardoor hogere debieten en vermogens haalbaar zijn.

De verschillen tussen de locaties onderling voor wat betreft vermogens zijn grotendeels toe te schrijven aan de verschillen in dieptes van de Kolenkalk, zie Figuur 2.



Figuur 7 Resultaten voor geothermisch vermogen, P50, dit betekent dat er 50 % kans is op behalen van deze of betere resultaten.

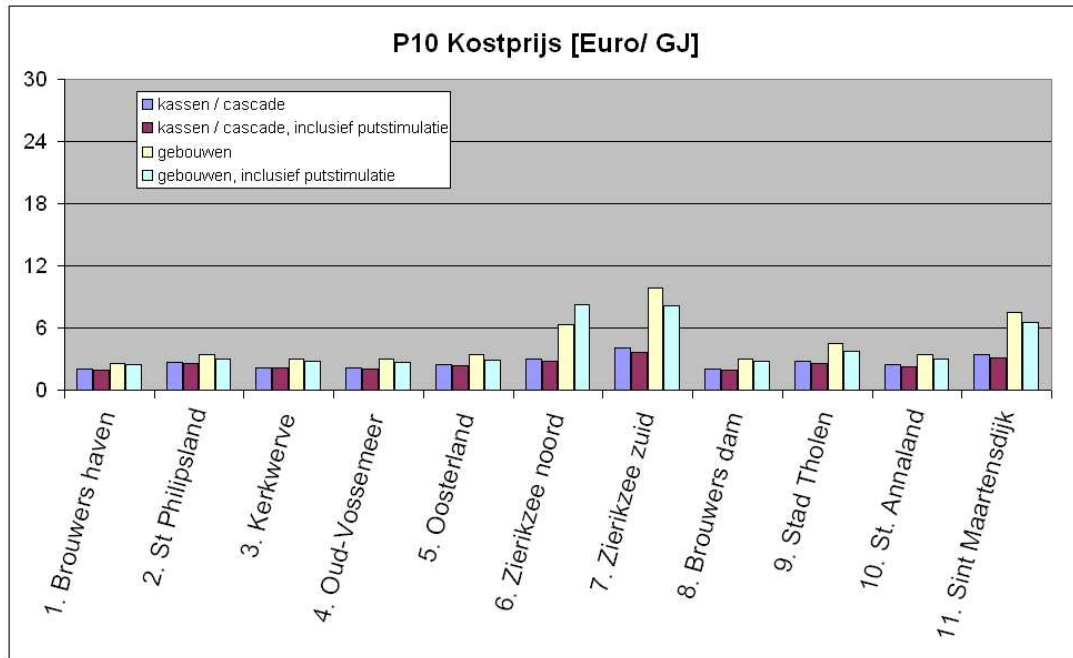


Figuur 8 Resultaten voor geothermisch vermogen, P90, dit betekent dat er 90 % kans is op behalen van deze of betere resultaten.

De onzekerheid in de haalbare vermogens zijn zeer groot. De reden hiervoor is de grote onzekerheid van de te verwachten reservoir eigenschappen wat betreft permeabiliteit (doorlaatbaarheid) en netto reservoir dikte (zie Tabel 1). De gemiddelde vermogens in de locaties variëren van 1 tot 6 MW.

### Economische haalbaarheid

Veruit de grootste kosten van een geothermisch project zijn het boren van de injectie en productie putten, een grootte orde van de kosten van een injectie- en productieput zijn 10 – 12 miljoen Euro (prijs nivo 2010). Dit is een relatief lage schatting van de boor prijs maar het kan ook veel hoger worden afhankelijk van de lokale geologische condities, oppervlakte condities en beschikbaarheid van boorinstallaties.



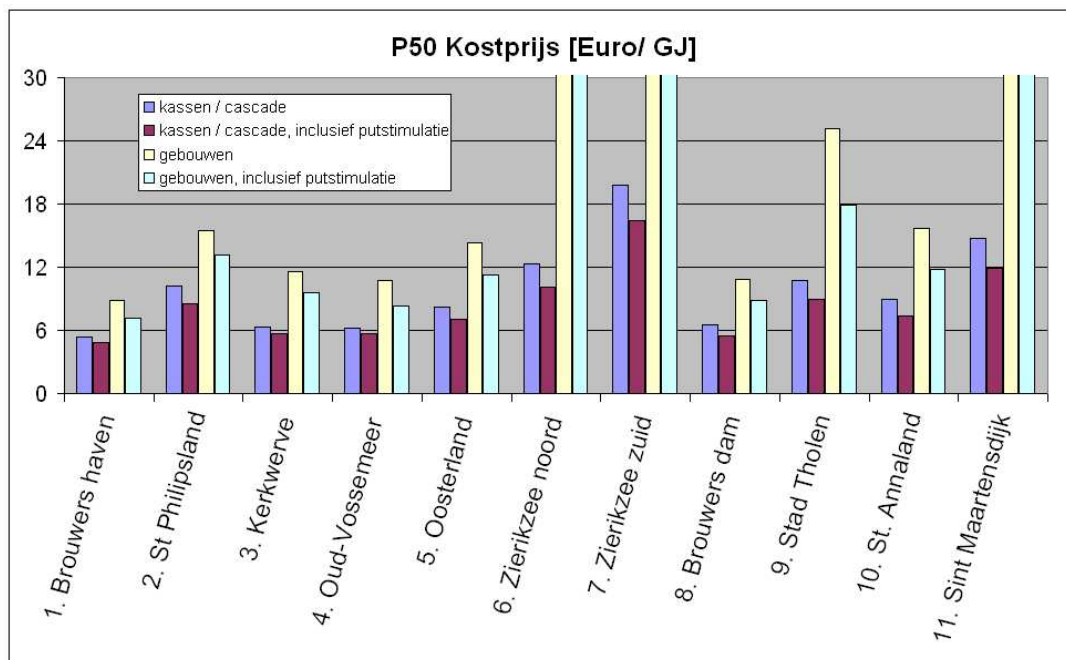
Figuur 9 Resultaten voor berekeningen van de kostprijs, P10.

De energie kostprijs is hier uitgedrukt in Euro's per GJ energie, waarbij opgemerkt kan worden dat een energieprij van 6 Euro/GJ overeenkomt met een gasprijs van 21 Euro ct/m<sup>3</sup>.

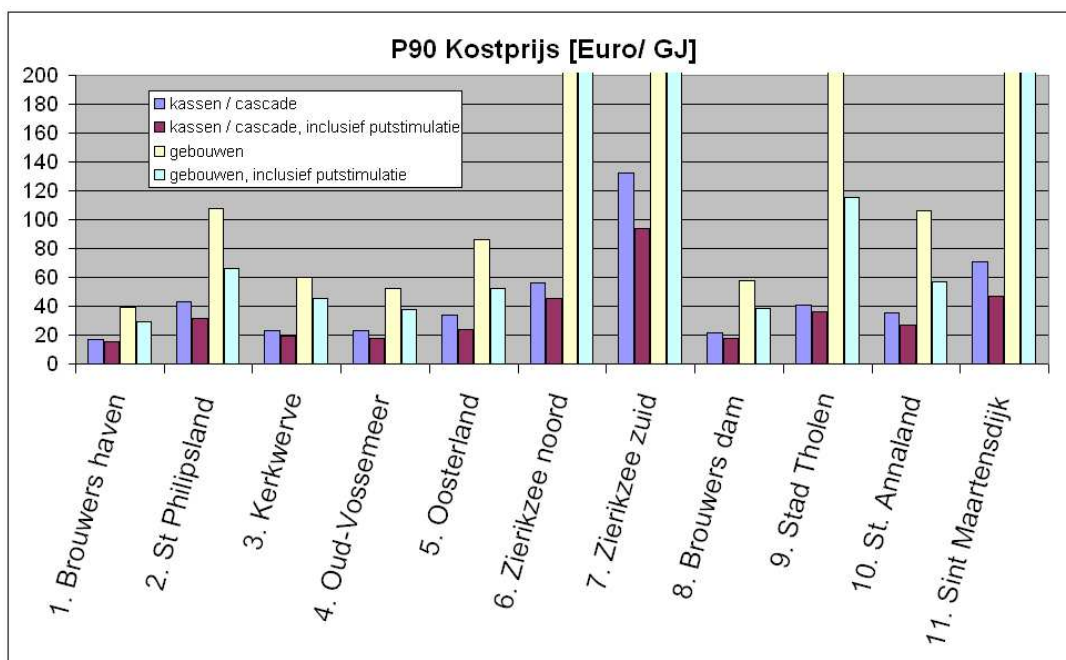
De onzekerheid over de kostprijs per energie eenheid is groot, dit blijkt uit de zeer grote verschillen tussen de P10, P50 en P90 resultaten voor de kostprijs van geothermische energie, met andere woorden, ook hier is de bandbreedte groot (zie de Figuren 9, 10 en 11).

De P10 kostprijs voor verwarmen van kassen of cascade (huizen + kassen) varieert grotendeels tussen 2 en 5 Euro/GJ, de P50 kostprijs tussen 5 en 12 Euro/GJ en de P90 kostprijs tussen 20 en 100 Euro/GJ. Gezien de grote verschillen in P10, P50 en P90 waarden voor kostprijs, blijft het moeilijk om iets te zeggen over economische haalbaarheid. Op basis van P50 kostprijs zou gezegd kunnen worden dat locaties Brouwers haven, Kerkwerve, Oud-Vossemeer en Brouwers dam (locaties 1, 3, 4 en 8) mogelijk rendabel zijn, met een kostprijs P50 (inclusief putstimulatie) lager dan de verwachte afzetprijs 6 Euro/GJ.





Figuur 10 Resultaten voor berekeningen van de Kostprijs, P50.



Figuur 11 Resultaten voor berekeningen van de Kostprijs, P90.

### *Aanbevelingen*

De haalbaarheid van geothermie uit de Kolenkalk in Zeeland hangt af van de aanwezigheid van goede reservoir eigenschappen van de Kolenkalk. De boringen in de Kolenkalk in Nederland en België geven onvoldoende informatie over de reservoir eigenschappen die te verwachten zouden kunnen zijn in de provincie Zeeland. Hieronder staan een aantal suggesties om meer kennis over de reservoir eigenschappen van de Kolenkalk in Zeeland te verkrijgen.

#### 1) Volgen ontwikkelingen geothermie project Kolenkalk in België (Mol)

Zoals hierboven vermeld zijn er plannen voor een geothermische elektriciteitscentrale in België, bij Mol. Voor zo ver ons bekend is hierbij het plan om warmwater uit Kolenkalk te produceren. Gezien de overeenkomsten in de geologie van de provincie Zeeland met die van de Vlaamse Kempen en de omgeving van Mol, kan dit project meer inzicht leveren in de eigenschappen van de Kolenkalk in Zeeland.

#### 2) Volgen ontwikkelingen in het Nationaal Onderzoek Programma Geothermie

Het Nationaal Onderzoek Programma Geothermie (NOPG) is in oprichting en heeft als doel onderzoek uit te voeren naar geothermische toepassingen dieper dan 4,5 kilometer. Naar verwachting zal op deze dieptes de permeabiliteit (de doorlaatbaarheid) van de gesteentes te laag zijn om voldoende doorstroming in het reservoir te bereiken en is het nodig om reservoir stimulatie technieken toe te passen. Het voorgestelde NOPG programma is grotendeels gericht op de Kolenkalk. Onder grote delen van Nederland komt de Kolenkalk voor op dieptes groter dan 4.5 km. Onderdeel van het NOPG programma zijn o.a. onderzoek naar de reservoir eigenschappen en reservoir stimulatie technieken voor de Kolenkalk. De VU Amsterdam, Universiteit Utrecht, TU Delft en TNO zijn betrokken bij het NOPG. Voor het schatten van reservoir eigenschappen en de mogelijkheden van reservoir stimulatie van de Kolenkalk in de provincie Zeeland is het mogelijk interessant de ontwikkelingen van het NOPG te volgen. Het platform NOPG is nog niet van start, op dit moment wordt er gezocht naar sponsors (situatie mei 2011).

#### 3) Seismiek: reprocessen en vergelijken met Belgische seismiek

Processing van seismiek is de verwerking van de ruwe acquisitie data tot interpreteerbare seismische lijnen. De technieken van processing zijn in de afgelopen decennia sterk verbeterd. Het opnieuw processen van oude seismiek kan daarom de kwaliteit van het seismische beeld verhogen en zo kan de Kolenkalk beter worden beoordeeld. Ook het in detail vergelijken van seismiek in Zeeland met de seismiek van de Kolenkalk in België (Vlaamse Kempen), zou nuttige informatie kunnen opleveren.

#### 4) Opvragen formatie van eventueel aanwezige test resultaten van put Brouwershavensegat-1 bij de NAM

Voor deze studie is alle informatie van Nederlandse boringen verkregen via TNO onder andere voor de boring Brouwershavensegat-1, een boring van de NAM uitgevoerd in 1978. In principe zou alle

informatie door NAM aangeleverd moeten zijn aan TNO, maar de indruk bestaat dat de aangeleverde data incompleet is.

#### 5) Exploratie boring

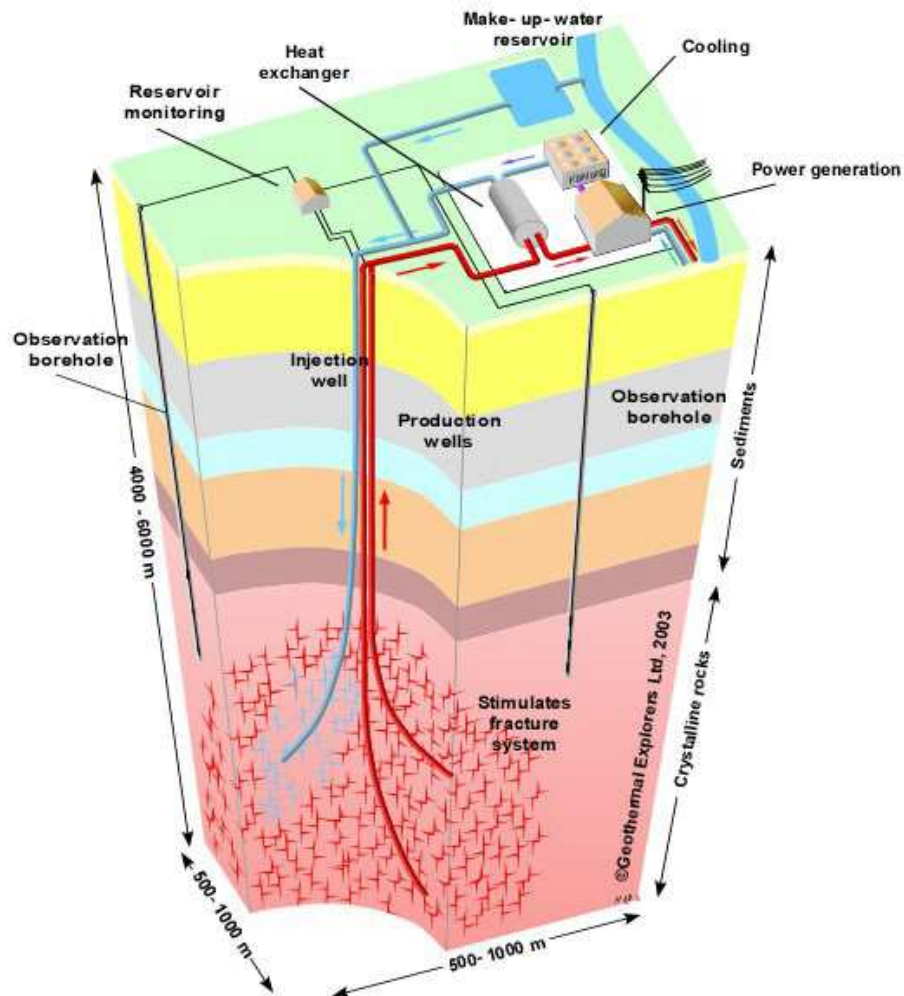
De enige manier om de reservoir eigenschappen van Kolenkalk werkelijk te meten en te testen is het uitvoeren van een exploratie boring. De kosten van een exploratie boring worden geschat op 5 tot 7 miljoen Euro (afhankelijk van de diepte). Dit zijn hoge kosten, met een grote kans dat de uitkomst negatief is omdat er Kolenkalk met slechte reservoir eigenschappen kan worden aangetroffen. Aan de andere kant is er kans op succes met groot economisch potentieel. De reservoir eigenschappen van de Kolenkalk die getest zouden worden in een exploratie boring, zijn niet alleen waardevol voor de locatie waar geboord wordt, maar ook voor de rest van de provincie Zeeland waar de Kolenkalk in de ondergrond voorkomt. Een manier om de waarde van een exploratie boring te bekijken is door het uitwerken van een beslisboom (ook wel beslissingsboom genoemd; in het Engels is het "decision tree"), zie Figuur 12. De beslisboom wordt veel toegepast in de olie- en gas industrie waar sprake is van kansen op verschillende uitkomsten. De beslisboom laat zien dat de economische waarde die een exploratie boring naar de Kolenkalk in Zeeland vertegenwoordigd groot is, de Netto Constante Waarde (NCW) is 64 Miljoen Euro. De uitwerking van de beslisboom in deze studie is indicatief en bedoeld om het concept van kansen op verschillende uitkomsten van een boring en de bijbehorende financiële waardes te illustreren.





## Verkennen geothermisch potentieel van het Massief van Brabant voor elektriciteitsproductie

Nieuwe technologie is in ontwikkeling die het mogelijk maakt om warmte te winnen uit zeer diepe gesteenten (dieper dan 5 km) en dit om te zetten in elektriciteit. De meest gebruikte naam voor deze technologie is Enhanced Geothermal Systems (EGS). Andere namen zijn ultradiepe geothermie, petrothermale geothermie of Hot Dry Rock (HDR). In deze studie is onderzocht of deze technologie toegepast kan worden in de provincie Zeeland.



Figuur 13 Schematische weergave van elektriciteitsproductie met ultradiepe geothermie (EGS).

### *Het Principe van 'Enhanced Geothermal Systems'*

Net als bij conventionele geothermie laat men bij EGS water circuleren door het hete gesteente tussen productieputten en een injectieputten (Figuur 13). Het verschil met conventionele geothermie uit

aquifers is dat bij EGS warm water geproduceerd wordt uit gesteenten die niet doorlaatbaar zijn. Om de water circulatie tussen productie- en injectieput mogelijk te maken, wordt het gesteente kunstmatig gebroken ('fracking'). Daardoor ontstaat er een driedimensionaal netwerk van breukjes (barsten en spleten) waardoor water kan stromen van injectie naar productieput. Het koude geïnjecteerde water wordt door het gesteente opgewarmd en het opgewarmde water wordt door de productie put opgepompt. Er wordt zo dus een ondergrondse warmte-wisselaar gecreëerd.

#### *Status EGS technologie*

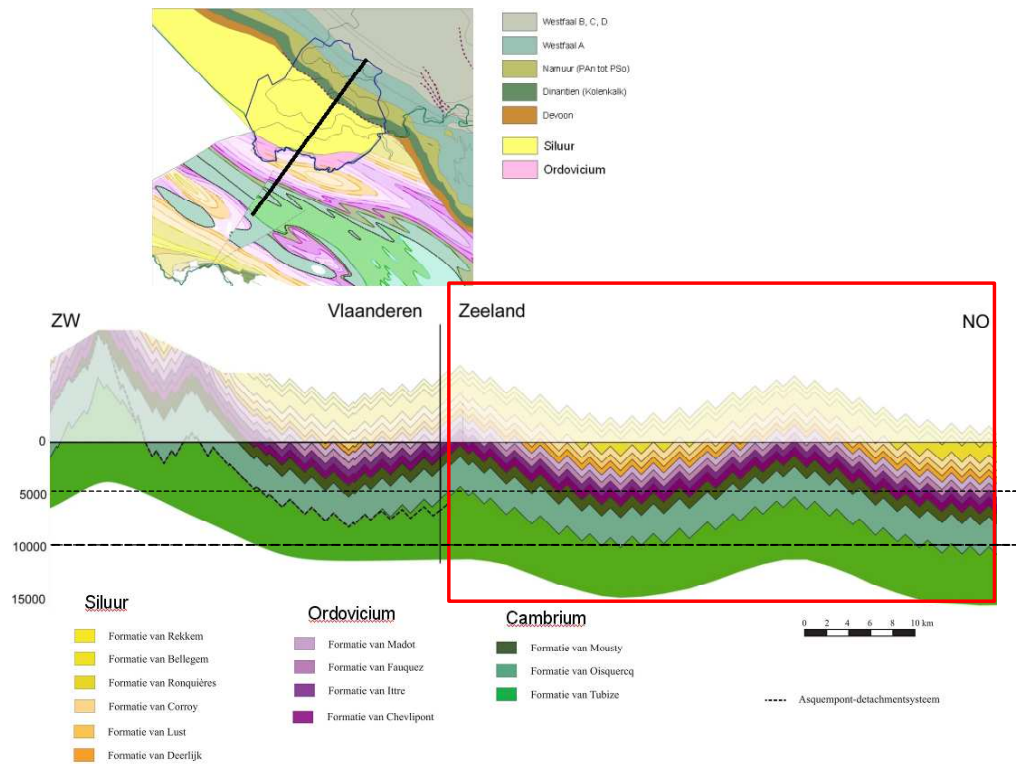
EGS technologie bevindt zich in de ontwikkelingsfase, het wordt nog niet op commerciële schaal toegepast. Wereldwijd lopen er een aantal "pilot" projecten, onder andere in Australië (Cooper Basin), Japan, de Verenigde Staten, in Frankrijk het Soultz-sous-Forêts project en in Duitsland het Landau project. De uitdaging bij al deze projecten is om voldoende grote hoeveelheden warm water te kunnen realiseren. Tot nu toe zijn de behaalde hoeveelheden aan de lage kant, de hoogst behaalde hoeveelheid per put is 25 kg per sec in Soultz. Voor commerciële toepassing zijn hoeveelheden groter dan 35 kg per sec nodig.

#### *Bovengrondse systemen voor omzetten van warmte in elektriciteit*

Er bestaan verschillende systemen die elektriciteit kunnen produceren uit water met een temperatuur boven de 85 °C, bijvoorbeeld de Organic Rankine Cycle (ORC) of de Kalina Cycle. De efficiëntie van deze systemen is relatief laag, tussen 10 - 15%. Onderzoek wordt gedaan om de efficiëntie te verhogen.

#### *Geschiktheid van de gesteenten in Zeeland voor EGS*

Dieptes waar EGS toegepast kan worden liggen tussen 5 en 10 km. Op dieptes minder dan 5 km is de temperatuur te laag, op dieptes van 10 km en meer is boren technisch erg moeilijk en dus erg duur. Er is weinig bekend over de gesteenten die voorkomen in de ondergrond van Zeeland op deze dieptes. Verondersteld wordt dat op deze dieptes gesteenten van het Massief van Brabant (Siluur, Ordovicium, Cambrium) voorkomen en mogelijk ook pre-Cambrische gesteenten. Voor deze studie is een hypothetisch lagenmodel gemaakt van de gesteenten van het Massief van Brabant in Zeeland en geïllustreerd in Figuur 14. Het lagenmodel is gebaseerd op resultaten van de recente kartering van het Massief van Brabant in Vlaanderen. De gesteenten van het Massief van Brabant bestaan uit zogenaamde kwartsieten en leistenen. Naar verwachting zijn deze gesteenten geschikt voor EGS toepassingen. De meeste EGS "pilot" projecten worden in graniet uitgevoerd. Er is daarom relatief veel kennis van het gecontroleerd breken ("fracten") van graniet. Extra onderzoek is daarom nodig om de gesteentemechanica te bestuderen van de kwartsieten en leistenen van het Massief van Brabant.



Figuur 14 Hypothetische dwarsdoorsnede ZW-NO van de gesteenten van het Massief van Brabant (Siluur, Ordovicium en Cambrium). Het referentie niveau op diepte 0 meter in deze figuur ligt in werkelijkheid dieper (0.5 km in ZW Zeeland tot 5 km in NO Zeeland).

#### *Geothermisch potentieel voor EGS*

Het geothermisch potentieel van de gesteenten van het Massief van Brabant in Zeeland voor elektriciteitsproductie is stapsgewijs berekend voor gesteentelagen met diktes van 1 km (Tabel 3 en 4). Voor alle gesteentelagen geldt steeds dat de hoogste temperaturen in het noorden van Zeeland voorkomen (Schouwen-Duiveland), met daar dus ook een hogere warmte inhoud.

Tabel 3 Gemiddelde theoretische energie-inhoud [per m<sup>2</sup>] van gesteenten van het Massief van Brabant in de provincie Zeeland. Het potentieel elektrisch vermogen (laatste kolom) is berekend uitgaande dat alle potentieel winbare elektrische energie geproduceerd wordt in 30 jaar.

	areaal (land- oppervlak)	Diepte interval	Temperat uur interval	Totale warmte inhoud (HIP)	Potentieel winbare warmte voor electriciteit (PRH)	Potentieel winbare elektrische energie (E <sub>ei</sub> )	Potentieel winbare elektrische energie (E <sub>ei</sub> )	Potentieel elektrisch vermogen (t <sub>op</sub> = 30 jaar)
	[km <sup>2</sup> ]	[km]	[C]	GJ/ m <sup>2</sup>	GJ/ m <sup>2</sup>	GJ/ m <sup>2</sup>	kWh/ m <sup>2</sup>	W <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>
Schouwen-Du	370	3 - 4 km	130 - 160	225	7.6	0.9	246	1.0
Schouwen-Du	370	4 - 5 km	160 - 190	329	13.3	1.7	465	2.0
Schouwen-Du	370	5 - 6 km	190 - 220	411	18.4	2.4	671	2.8
Schouwen-Du	370	6 - 7 km	220 - 250	484	23.4	3.2	876	3.7
Schouwen-Du	370	7 - 8 km	250 - 280	529	26.9	3.6	1008	4.3
rest Zeeland	1585	4 - 5 km	130 - 160	314	10.6	1.2	344	1.5
rest Zeeland	1585	5 - 6 km	160 - 190	371	14.9	1.9	523	2.2
rest Zeeland	1585	6 - 7 km	190 - 220	434	19.5	2.6	709	3.0
rest Zeeland	1585	7 - 8 km	220 - 250	494	23.8	3.2	892	3.8

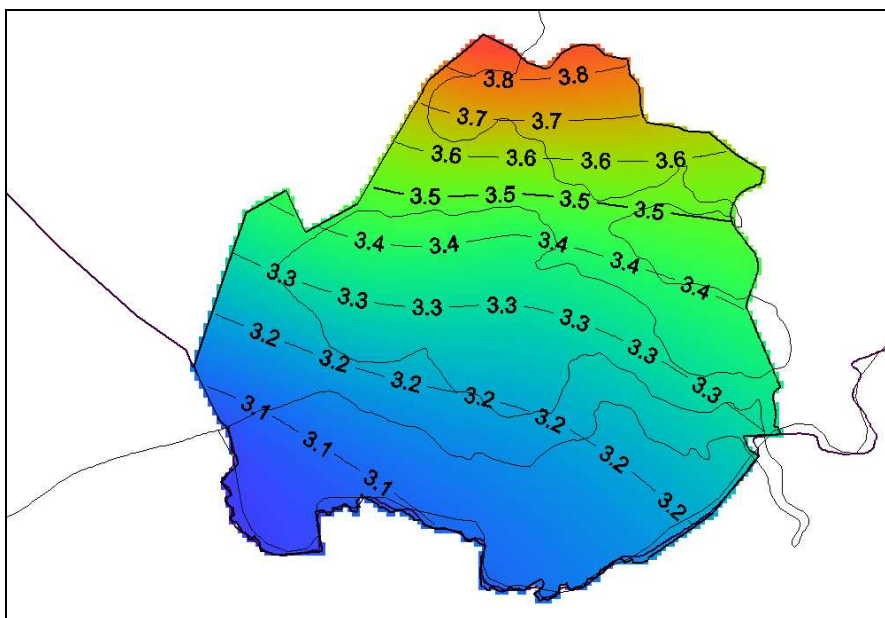
Tabel 4 Cumulatieve theoretische energie-inhoud van gesteenten van het Massief van Brabant in de provincie Zeeland.

	areaal (land- oppervlak)	Diepte interval	Temperat uur interval	Totale warmte inhoud (HIP)	Potentieel winbare warmte voor electriciteit (PRH)	Potentieel winbare elektrische energie (E <sub>ei</sub> )	Potentieel winbare elektrische energie (E <sub>ei</sub> )	Potentieel elektrisch vermogen (t <sub>op</sub> = 30 jaar)
	[km <sup>2</sup> ]	[km]	[C]	EJ (= 10 <sup>18</sup> J)	EJ (= 10 <sup>18</sup> J)	EJ (= 10 <sup>18</sup> J)	10 <sup>10</sup> kWh	GW <sub>e</sub>
Schouwen-Du	370	3 - 4 km	130 - 160	83	2.8	0.3	9.1	0.4
Schouwen-Du	370	4 - 5 km	160 - 190	122	4.9	0.6	17.2	0.7
Schouwen-Du	370	5 - 6 km	190 - 220	152	6.8	0.9	24.8	1.0
Schouwen-Du	370	6 - 7 km	220 - 250	179	8.6	1.2	32.4	1.4
Schouwen-Du	370	7 - 8 km	250 - 280	196	9.9	1.3	37.3	1.6
rest Zeeland	1585	4 - 5 km	130 - 160	498	17	2.0	54.5	2.3
rest Zeeland	1585	5 - 6 km	160 - 190	587	24	3.0	82.8	3.5
rest Zeeland	1585	6 - 7 km	190 - 220	688	31	4.0	112.3	4.7
rest Zeeland	1585	7 - 8 km	220 - 250	782	38	5.1	141.4	6.0

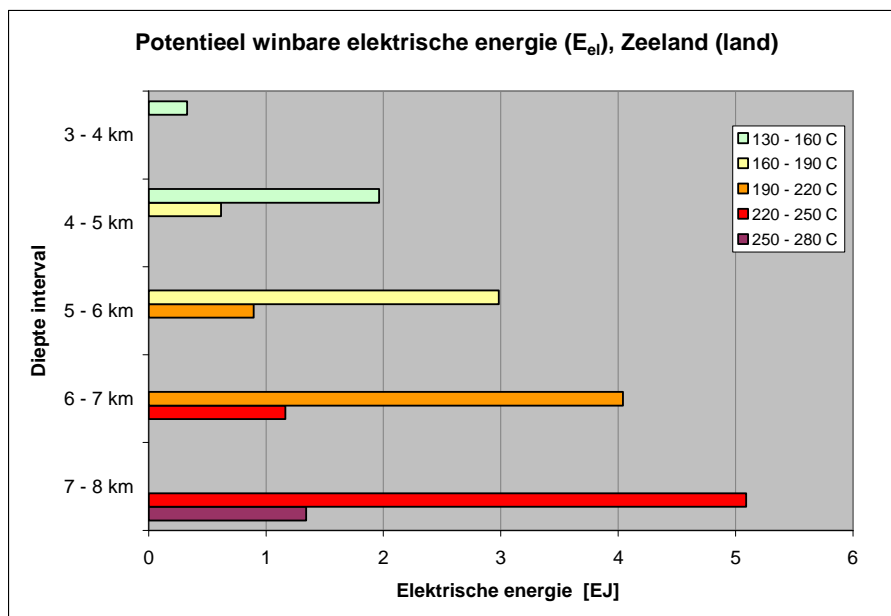
De potentieel winbare elektrische energie (kolom 5 in Tabellen 3 en 4) is grafisch weergegeven in de Figuren 15 en 16.

Het geothermisch potentieel kan geïllustreerd worden met een denkoefening. Een volume gesteente van 1 km<sup>3</sup> gesteente op diepte tussen 7 en 8 km in de ondergrond van Schouwen heeft een temperatuur van ongeveer 260 °C. De hoeveelheid potentieel winbare elektrische energie aanwezig in dit volume is ongeveer 1000 GWh. Het gemiddelde elektriciteitsverbruik van een huishouden in Nederland is 3500 kWh. Dit betekent dat de energie inhoud van de 1 km<sup>3</sup> gesteente ongeveer 10.000 huishoudens gedurende 30 jaar kan voorzien van elektriciteit. Indien deze energie geproduceerd wordt over 30 jaar, zou theoretisch gezien een elektrisch vermogen van 4.3 MW<sub>e</sub> haalbaar zijn. Het geothermisch potentieel is dus groot.





Figuur 15 Potentieel winbare elektrische energie ( $E_{el}$ ) uit het diepte interval 7 – 8 km [in  $GJ/m^2$ ].

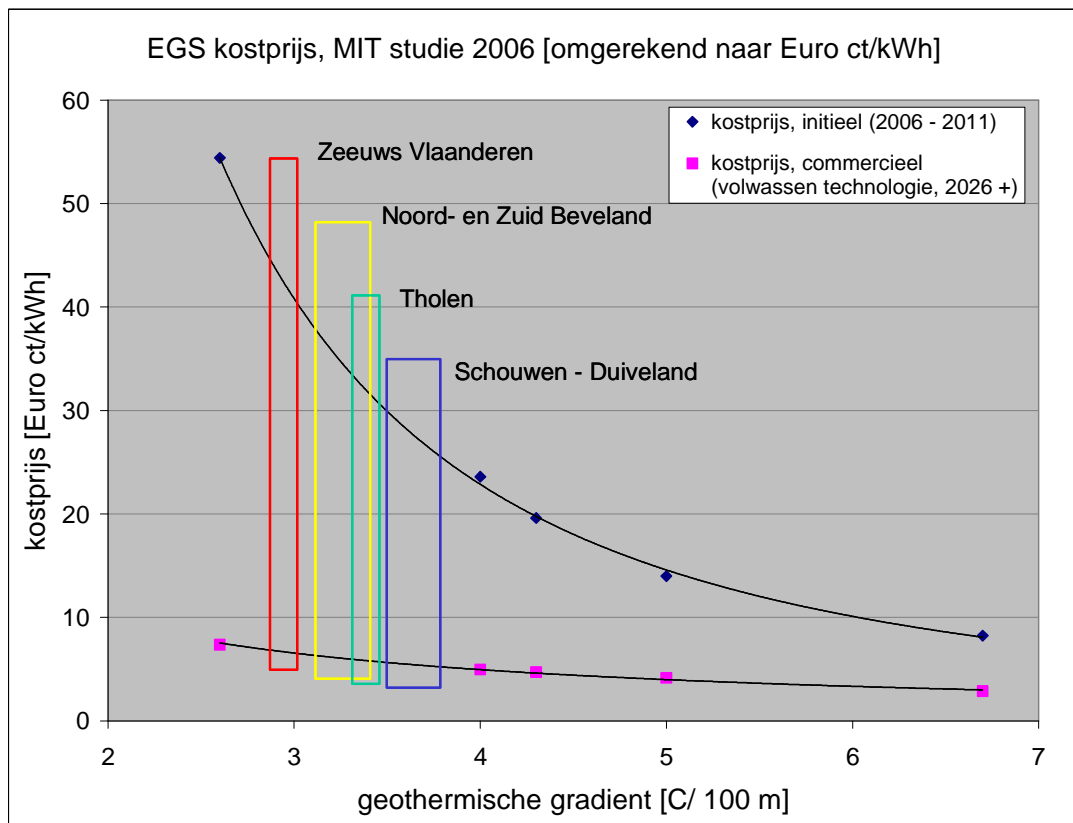


Figuur 16 Potentieel winbare elektrische energie ( $E_{el}$ ), welke geproduceerd kan worden uit warmte aanwezig in gesteenten in de ondergrond van Zeeland op dieptes 3 – 8 km. Alleen landoppervlakte is beschouwd.

### Economische haalbaarheid

Veruit de grootste kosten van een geothermisch project zijn het boren van injectie en productie putten. Een schatting van de kosten van een boring naar een diepte van 7 km is tussen 30 en 40 miljoen Euro. Technische doorbraken in boortecnologie in de toekomst kunnen mogelijk de boorkosten reduceren.

De kostprijs van EGS hangt af van de geothermische gradiënt (Figuur 17). Een schatting van de kostprijs van EGS met de huidige stand van EGS technologie varieert tussen 35 - 55 Euro ct/kWh in Zeeuws Vlaanderen en 25 - 35 Euro ct/kWh in Schouwen-Duiveland. Deze schattingen liggen ver boven de verwachte afzetprijs voor elektriciteit van 13 Euro ct/kWh in de nabije toekomst. Een schatting van de commerciële kostprijs van EGS voor de provincie Zeeland is tussen 5 en 15 Euro ct/kWh (prijs niveau 2026). Met de huidige stand EGS technologie is geothermische elektriciteitsproductie dus niet economisch haalbaar in Zeeland. Mogelijk dat technologische doorbraken in de toekomst EGS wel economisch haalbaar maken. Aanbevolen wordt de ontwikkelingen te volgen.



Figuur 17 Schatting van de kostprijs van EGS als functie van de geothermische gradiënt. De trendlijnen zijn gebaseerd op resultaten van de economische analyse van EGS in de Verenigde Staten (MIT studie 2006). De MIT kostprijzen (in US dollar) zijn omgerekend naar Euro, met koers 1.25 dollar/ Euro.