

ECN-N--12-025  
11 december 2012

Notitie **Aanvullend advies geothermie in SDE+ 2013**

Aan : A. Dekkers Ministerie EZ  
E.P.M. van der Velden Ministerie EZ  
Kopie aan : F. Sikkema DNV KEMA  
J.R. Smeets DNV KEMA  
H.F. Mijnlief TNO  
Van : P. Lako ECN  
S.L. Luxembourg ECN  
S.M. Lensink ECN  
B. in 't Groen DNV KEMA



**Samenvatting**

Deze notitie beantwoordt vragen die het Ministerie van Economische Zaken (EZ) aan ECN en DNV KEMA gesteld heeft over de ondersteuning van geothermieprojecten in de SDE+ 2013. De beantwoording van de vragen is in het licht te zien van voorkoming van overstimulering en beperking van overreservering van middelen door de SDE+. Bij de beantwoording van de vragen is gebruik gemaakt van de kennis en expertise van TNO op het gebied van geothermische boringen. Het advies in deze notitie is een aanvulling op het advies op de basisbedragen SDE+ 2013 (Lensink *et al.*, 2012) dat geconsulteerd is met de sector. Na dit advies heeft EZ gevraagd naar de mogelijkheden voor het maximaliseren van het maximaal subsidiabele productievermogen en de wenselijkheid om de hoogte van de SDE+-subsidie te laten afhangen van het projectvermogen en de potentie van een referentie-installatie voor geothermische warmteopwekking op grote diepte.

ECN en DNV KEMA adviseren de SDE+-ondersteuning voor geothermische warmte open te stellen voor grotere projectvermogens dan het vermogen van de referentie-installatie uit het advies voor de basisbedragen 2013 (Lensink *et al.*, 2012). Omdat in de uitwerking van de SDE+ 2013 ervoor gekozen is om de SDE-beschikking te begrenzen op vermogen, rekenen ECN en DNV KEMA in deze notitie met een andere referentie-installatie voor geothermische warmte. Deze wijziging zorgt ervoor dat naar inzicht van ECN en DNV KEMA het merendeel van de geothermieprojecten rendabel zal zijn, ook met vermogensbegrenzing. Tabel S.1 geeft een overzicht van de berekende basisbedragen.

Tabel S.1 *Basisbedragen geothermische energie*

Categorie	Subsidieduur [jaar]	Vermogen referentie-installatie [MW]	Aantal vollasturen	Basisbedrag [€/GJ]
Geothermische warmte, boordiepte 500-2700 meter	15	12,4	5500	<b>11,8</b>
Geothermische warmte, boordiepte meer dan 2700 meter	15	18,0	5500	<b>12,8</b>
Geothermische warmtekracht	15	11,9	4158*	<b>24,0</b>

\* Samengesteld aantal vollasturen

## 1. Inleiding

Op verzoek van het Ministerie van EZ zijn berekeningen uitgevoerd voor de kosten van geothermische warmte op grote diepte, namelijk 3000 m en 4000 m verticale diepte. In het 'Eindadvies basisbedragen in de SDE+ 2013' van ECN en DNV-Kema (Lensink *et al.*, 2012) wordt voor de referentie-installatie voor geothermische warmte uitgegaan van een geothermische bron (aquifer) op 2300 meter diepte. In dit advies wordt de referentie-installatie uitgevoerd in de vorm van een dubbele doublet (doublet: productie- en injectieput) of een triplet. Bij een gradiënt van 30°C per km wordt een brontemperatuur van ongeveer 80°C gerealiseerd met een verondersteld debiet van 2x137 m<sup>3</sup>/uur en bij een temperatuurverval van 40 °C is het vermogen bepaald op 12,4 MW<sub>th</sub>. Voor de warmteafzet wordt uitgegaan van 5500 vollasturen.

De volgende vragen over geothermische warmte op grotere diepte komen hier aan bod:

- Wordt met het opnemen van een extra categorie voor diepere boringen (3 à 4 km) extra potentieel ontsloten?
- Welke basisbedragen passen bij geothermische warmte met een boordiepte van 3000 m?
- Welke minimale boordiepte kan worden beschouwd als representatief voor de categorie van 'geothermische warmte bij 3000 m boordiepte'?
- Welke variatie in productiekosten kan men verwachten, rekening houdend met spreiding in debiet en vermogens?

## 2. Geothermisch energiepotentieel voor diepere boringen (≥3000 meter)

Een recente publicatie die ingaat op het geothermisch energiepotentieel voor Nederland in 2020 is het 'Actieplan Aardwarmte' van het Ministerie van EL&I (EL&I, 2011). Hierin wordt het potentieel van geothermische energie in Nederland geschat op 10 tot 14 PJ in 2020. Evenals in (Ecofys, 2007), wordt geen onderscheid gemaakt naar verschillende boordieptes. Het Platform Geothermie ziet dat de inzending bij de SDE+ in 2012 (33 projecten) de verwachting bevestigt dat een potentieel van 11 PJ in 2020 haalbaar moet zijn. Van de 33 projecten waren er 8 al in uitvoering of deels gerealiseerd. Van de resterende 25 projecten zal een redelijk tot goed deel tot uitvoering komen, mits SDE-subsidie wordt verleend.

Door de komst van de SDE+ (en het vervallen van de MEI-regeling die een drukkend effect op projectvermogen had) zal er volgens het Platform Geothermie in de komende jaren een trend zijn naar grotere vermogens. Bij een aangenomen gemiddeld vermogen van 12MW<sub>th</sub> en 5500 uur is de geleverde energie in 2020 te becijferen op circa 16 PJ (zonder correctie<sup>1</sup>).

Volgens ECN en DNV-KEMA is het aannemelijk dat een potentieel van ca. 15 PJ in 2020 voor een deel gebaseerd zal zijn op de bestaande categorie 'geothermische warmte bij boordiepte 2300 m' en voor een significant ander deel op een categorie 'geothermische warmte bij boordiepte ≥ 3000 m'.

---

<sup>1</sup> Hierbij heeft het Platform Geothermie de effecten van vermogensbeperking niet meegenomen. Het Platform schat dat 55% van het potentieel in gevaar kan komen door een mogelijke stringente beperking. Hierop wordt in deze notitie niet ingegaan.

### 3. Productiekosten bij variatie in boordiepte of vermogen

#### 3.1.1 Boorkosten bij een verticale boordiepte van 3000 m of 4000 m

Boordieptes van 3000 m en 4000 m worden beschouwd als zeer diep voor boringen in verband met geothermische warmte. Bij 3000 m diepte komt het voor dat de natuurlijke debiet van het aquifer te laag is, zodat stimuleren van de bodem (*fracken*<sup>2</sup>) nodig is (van Putten, 2012). Hierbij gaat het niet om een zogenoemd EGS-project ('Enhanced Geothermal System'). Immers, bij EGS wordt uitgegaan van een zodanige boordiepte dat er normaliter geen aquifer aanwezig is, zodat door fracken kunstmatige kanaaltjes in het gesteente moeten worden gecreëerd tussen de twee putten. Door de toegenomen druk op een boordiepte van 3000 meter is het natuurlijke debiet gemiddeld lager dan op de referentiediepte van 2300 meter, maar de mate waarin stimuleren van de bodem nodig is om het debiet op een aanvaardbaar niveau te brengen, varieert. Het debiet wordt naast de diepte ook nog bepaald door diverse overige parameters zoals bodemstructuur en kan zelfs lokaal aanzienlijk variëren.

Bij 4000 meter diepte is het natuurlijke debiet van een aquifer zelfs nog lager dan bij 3000 meter. De bovenstaande beschouwing over stimuleren van de bodem om een voldoende hoog debiet te verkrijgen blijft van toepassing. Bij gebrek aan data van bekende geologische gesteenten is het praktisch onmogelijk om uitspraken te doen over het natuurlijke debiet bij 4000 meter, en daarom ook over het debiet na bodemstimulering. Wel kunnen dezelfde literatuurgegevens, waaruit schattingen voor boorkosten bij 3000 meter diepte kunnen worden afgeleid, schattingen voor boorkosten bij 4000 meter opleveren.

Voor het afleiden van boorkosten bij verticale dieptes van 3000 meter en 4000 meter is gebruik gemaakt van Figuur 1 (Straathof, 2012). Bij boringen voor geothermische warmte op alle drie beschouwde dieptes, 2300 meter, 3000 meter en 4000 meter wordt met een kostenopslag van 1 mln euro gerekend als reservering voor bijvangst van koolwaterstoffen. De totale boorkosten op deze dieptes zijn dan per doublet:

- Boordiepte 2300 m: 5,7 M€ + 'reservering koolwaterstoffen' 1 M€ = 6,7 M€.
- Boordiepte 3000 m: 11 M€ + 'reservering koolwaterstoffen' 1 M€ = 12,0 M€.
- Boordiepte 4000 m: 16,5 M€ + 'reservering koolwaterstoffen' 1 M€ = 17,5 M€.

Zowel de inschatting van het geothermisch vermogen als de inschatting van de boorkosten zijn omgeven met een grote mate van onzekerheid. Dit geeft volgens TNO aanleiding tot voorzichtigheid bij interpretatie van resultaten uit een referentiecassus waarbij slechts beperkt rekening gehouden kan worden met de waaier aan onzekerheden.

#### 3.1.2 Overige technisch-economische karakteristieken 3000 m

Hierboven is aangegeven dat het bij gebrek aan data van bekende geologische gesteenten praktisch onmogelijk is om uitspraken te doen over het natuurlijke debiet bij 4000 meter, en daarom ook over het debiet na bodemstimulering. Dit heeft te maken met het feit dat de diepste boringen voor geothermische warmte dateren van 2012 en betrekking hebben op ca. 3000 meter diepte. Daarom is in

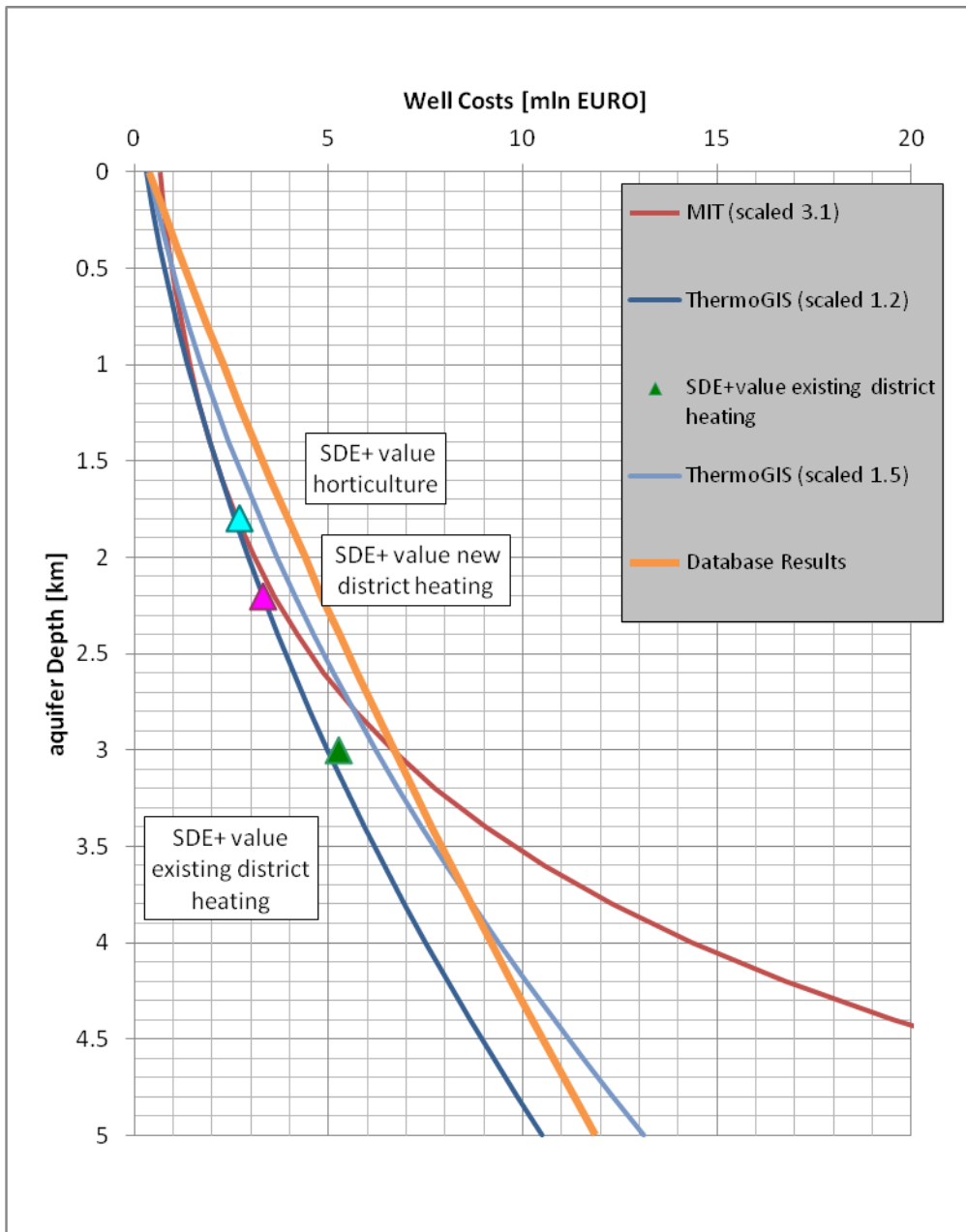
---

<sup>2</sup> Fracken is het doen scheuren van gesteente in de diepe ondergrond door inspuiting van chemicaliën.

deze notitie alleen de referentie van geothermische warmte bij een verticale boordiepte van 3000 meter verder uitgewerkt.

Hieronder is aangegeven hoe de referentie op 3000 meter diepte zich verhoudt tot de referentie uit het eindadvies SDE+ 2013 (Lensink *et al.*, 2012):

- Omdat er in Nederland nog praktisch geen ervaring is met projecten op 3000 m diepte (afgezien van het project in Honselersdijk), zijn de totale boorkosten bij 3000 m gebaseerd op de eerdere schatting van de specifieke boorkosten uit (Lako *et al.*, 2011) en een opslag op basis van stimuleren van de bodem en reservering koolwaterstoffenafvangst, alsmede op de curven op basis van internationale ervaring in Figuur 1. De specifieke boorkosten, exclusief reservering koolwaterstoffen, bedragen bij 3000 m boordiepte 1,8 k€/m, vergeleken met 1,2 k€/m bij 2300 m (zie ook Figuur 1).
- De temperatuur van de geothermische bron op 3000 m diepte bedraagt 100°C, tegenover 80°C op 2300 meter. Bij een gelijk veronderstelde retourtemperatuur van 40 °C bedraagt het temperatuurverval 60°C voor de referentie op 3000 meter diepte.
- De totale boorkosten, inclusief ‘reservering koolwaterstoffen’ (1 mln euro) bedragen voor de referentie op 3000 meter 12,0 mln euro, tegenover 6,7 mln euro op 2300 meter.
- Het debiet bedraagt naar schatting 133 m<sup>3</sup>/uur (zonder of met bodemstimulering, verdisconteerd in de boorkosten) bij 3000 meter, tegenover 137 m<sup>3</sup>/uur op 2300 meter; de aangenomen waarde van 133 m<sup>3</sup>/uur is wel locatieafhankelijk.
- Op grond van bovenstaande punten bedraagt het vermogen van de geothermische bron op 3000 meter diepte 9,0 MW<sub>th</sub>, tegenover 6,2 MW<sub>th</sub> op 2300 meter.
- De specifieke investeringskosten komen uit op 1,7 k€/kW<sub>th</sub> bij 3000 meter, tegenover 1,5 k€/kW<sub>th</sub> bij 2300 meter.



Figuur 1 Boorkosten als functie van de diepte. De met driehoeken aangeduide SDE+-referenties van glastuinbouw, bestaande en nieuwe stadsverwarming zijn gebruikt in (Lako et al, 2011).

Noot: Op grond van (Lako et al, 2011) geeft curve 'ThermoGIS (scaled 1.2)' een getrouw beeld van de boorkosten tot ruim 3000 meter boordiepte. De boorkosten voor de referentie installatie uit (Lensink et al, 2012) voor de boordiepte 2300 meter inclusief reservering koolwaterstoffenafvangst valt samen met deze curve. 'Database results' verwijst naar een databestand van (Straathof, 2012), gebaseerd op Duitse en Nederlandse projecten. Bron: Straathof, 2012.

### 3.1.3 Berekende basisbedragen bij variatie in boordiepte

De referentie-installatie bij boordiepte 3000 meter wordt net als de referentie-installatie bij 2300 meter geacht te worden ingezet voor verwarming in de glastuinbouw. Tabel 1 geeft de technische-economische parameters voor de referentie-installatie voor geothermische warmte bij 3000 meter

boordiepte in vergelijking tot de referentie op 2300 meter uit het eindadvies. Bij kleine clusters van glastuinbouwbedrijven met een boordiepte van 3000 meter zal in de regel het aantal vollasturen weinig verschillen van de referentie 2300 meter, reden waarom het is gehandhaafd op 5500 uur per jaar.

Tabel 1 *Technisch-economische parameters diepe geothermie (warmte), referentie 2300 meter en referentie 3000 meter.*

	Eenheid	Referentie SDE+ 2013	Boordiepte 3000 m
Thermisch outputvermogen	[MW <sub>th_output</sub> ]	12,4	18,0
Vollasturen warmteafzet	[h/a]	5500	5500
Investeringskosten	[€/kW <sub>th_output</sub> ]	1520	1740
Vaste O&M-kosten	[€/kW <sub>th_output</sub> ]	30	35
Variabele O&M-kosten (warmte)	[€/GJ]	2,2	1,85
Energie-inhoud brandstof	[GJ/ton]	0	0
Brandstofprijs	[€/ton]	0	0
Brandstofprijsopslag	[€/ton]	0	0

Conform (Lensink *et al.* 2012) is in de berekening van de basisbedragen rekening gehouden met een restwaarde van 35% van de geothermische bron aan het eind van de looptijd van de SDE-subsidie. In Tabel 2 staan de berekende basisbedragen.

Tabel 2 *Basisbedragen Geothermische warmte voor boordieptes 2300 m. en 3000 m.*

	Subsidiëduur [jaar]	Productiekosten [€/GJ]	Transactiekosten [€/GJ]	Basisprijspremie [€/GJ]	Basisbedrag [€/GJ]
Boordiepte 500-2700 meter	15	11,56	0,25	-	<b>11,8</b>
Boordiepte meer dan 2700 meter	15	12,54	0,25	-	<b>12,8</b>

### 3.1.4 Variatie in basisbedrag naar vermogen

Het Ministerie van EZ heeft in een aanvullende opdracht verzocht inzicht te geven in de variatie in basisbedragen naar vermogen. Hierbij zijn ECN en DNV KEMA uitgegaan van de referentie-installaties zoals deze gedefinieerd zijn eerder in dit hoofdstuk en in het eindadvies SDE+ 2013. Daarnaast is voor beide beschouwde dieptes een zogenaamde *sweet spot*-variant gedefinieerd. Deze variant wordt gekenmerkt door een hoog debiet van 180 m<sup>3</sup>/uur per doublet, dat al dan niet door stimuleren van de bodem wordt gerealiseerd. Tenslotte is een tripletuitvoering als mogelijke variant beschouwd. De extra varianten die hier gedefinieerd zijn worden gekarakteriseerd door een hoger vermogen al dan niet tegen meerkosten. In Tabel 3 zijn de technische-economische parameters van deze varianten opgenomen.

Tabel 3 *Technisch-economische parameters diepe geothermie (warmte) voor enkele uitvoeringsvarianten met boordieptes 500-2700 meter en meer dan 2700 meter.*

	Eenheid	Boordiepte 500-2700 meter			Boordiepte meer dan 2700 meter		
		Variant <i>Doublet</i>	Variant <i>Hoog debiet</i>	Variant <i>Triplet</i>	Variant <i>Doublet</i>	Variant <i>Hoog debiet</i>	Variant <i>Triplet</i>
		Thermisch outputvermogen	[MW <sub>th_output</sub> ]	6,2	8,1	12,4	9,0
Vollasturen warmteafzet	[h/a]	5500	5500	5500	5500	5500	5500
Investeringskosten	[€/kW <sub>th_output</sub> ]	1527	1261	1132	1743	1381	1321
Vaste O&M-kosten	[€/kW <sub>th_output</sub> ]	30	25	23	35	28	26
Variabele O&M-kosten (warmte)	[€/GJ]	2,2	2,2	2,2	1,85	1,85	1,85
Energie-inhoud brandstof	[GJ/ton]	0	0	0	0	0	0
Brandstofprijs	[€/ton]	0	0	0	0	0	0
Brandstofprijsoplag	[€/ton]	0	0	0	0	0	0
<b>Basisbedrag</b>	<b>[€/GJ]</b>	<b>11,8</b>	<b>10,3</b>	<b>9,5</b>	<b>12,8</b>	<b>10,6</b>	<b>10,2</b>

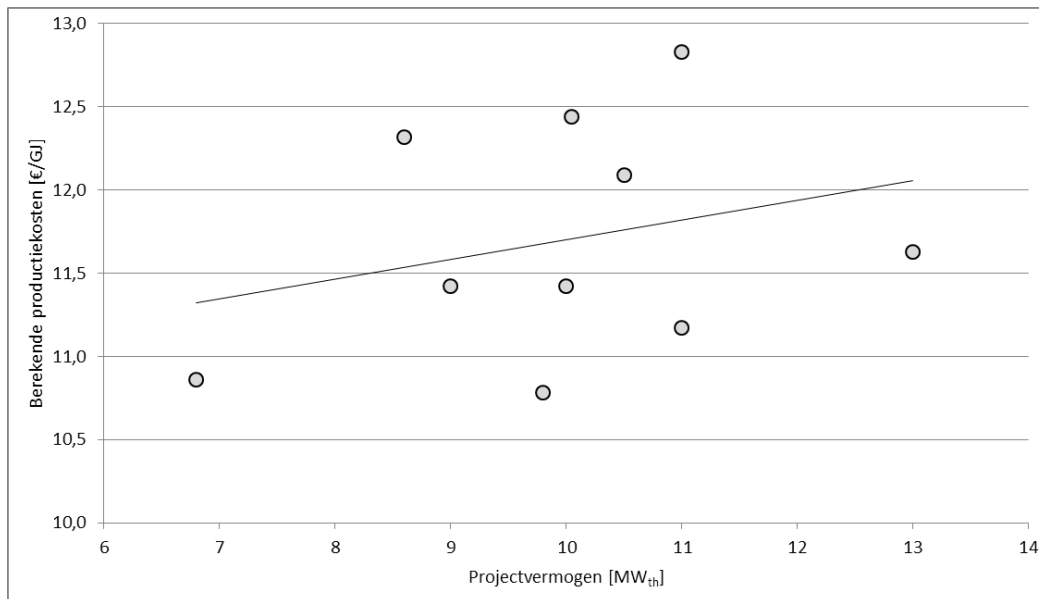
### 3.1.5 Onzekerheid in productiekosten

Door schaalvoordelen zullen sommige onderdelen van het project relatief goedkoper worden. Daarnaast spelen ook kostenverhogende factoren een rol bij een groter projectvermogen. Zo is een grotere ondergrondse pomp meer dan evenredig *duurder* dan een kleinere pomp. Ook kan een (iets) diepere boring weliswaar voor een groter vermogen zorgen, maar de kosten hiervan nemen ook meer dan evenredig toe. Een boring die dieper is dan eerst beoogd, is vaak een gevolg van onbekendheid van de detailligging van waterdragende lagen in de ondergrond. Door marktpartijen is tevens aangehaald, dat zo'n uit noodzaak gedreven diepere boring weliswaar een groter vermogen oplevert, maar dat dit extra vermogen niet in het projectontwerp besloten was en dat het extra vermogen dus ook niet per se tot grotere afzet van warmte hoeft te leiden. Daarbij geven marktpartijen aan, dat in deze omstandigheid ook de vollasturengrens van 5500 wellicht niet gehaald wordt.

ECN en DNV KEMA, ondersteund door TNO, berekenen de kosten van een geothermieproject op basis van projectkarakteristieken. De karakteristieken van toekomstige projecten zijn vooralsnog echter moeilijk op voorhand te verwachten. Deze onzekerheid neemt af, naarmate de kennis van de ondergrond toeneemt in de komende jaren.

Naarmate een project een groter vermogen heeft, verwachten ECN en DNV KEMA dat het benodigde basisbedrag zal afnemen. Dit is een verwachting die gebaseerd is op theoretische beschouwingen. Zoals gezegd, zijn er ook kostenverhogende factoren. Momenteel is onduidelijk of bij toekomstige projecten de kostenverhogende of de kostenverlagende factoren zullen domineren. Om het advies aan EZ ook op de theorie van kostendalingen te kunnen baseren, dient de theorie getoetst te worden aan de praktijk. Praktijkdata van geothermieprojecten in Nederland zijn beperkt, en buitenlandse projecten hebben slechts een beperkte aanvullende representatieve waarde.

Op basis van door TNO beschikbaar gestelde informatie, hebben ECN en DNV KEMA de productiekosten van enkele projecten doorgerekend op basis van in de SDE-regeling gangbare uitgangspunten, zoals aantal vollasturen en financieel rendement. Zie figuur 2 voor het overzicht.



Figuur 2 Relatie tussen indicatieve productiekosten en projectvermogen voor een aantal Nederlandse projecten in de voorbereidingsfase (diepte tot 2700 meter).

Uit figuur 2 blijkt dat de spreiding (standaarddeviatie) ca. 0,7 €/GJ bedraagt, waarbij de productiekosten eerder *toenemen* met oplopend projectvermogen dan *afnemen*. De regressielijn in Figuur 2 is representatief voor het gemiddelde kostenniveau van de projecten. Deze lijn ligt bij 6,2 MW<sub>th</sub> op 11,2 €/GJ. De referentie-installatie van 6,2 MW<sub>th</sub> uit (Lensink *et al*, 2012) dient echter het merendeel van de projecten te ondersteunen. Dat correspondeert op hoofdlijnen met het gemiddelde plus standaarddeviatie, ofwel  $11,2 + 0,7 = 11,9$  €/GJ<sup>3</sup>. Uit figuur 2 volgt echter, dat de praktijkdata onvoldoende onderbouwing biedt om het basisbedrag te laten afhangen van projectvermogen, in ieder geval tot vermogens van ca. 2x het vermogen van de referentie-installatie.

## 4. Overige vragen

### 4.1 Diepte waarop referentie boordiepte 3000 meter ingaat

Net als bij de referentie voor geothermische warmte (ten behoeve van glastuinbouw) met een boordiepte van 2300 meter, is de referentie met een boordiepte van 3000 meter (toepassingen glastuinbouw en utiliteit) niet beperkt tot aanvragen met alleen die specifieke boordiepte. Uit Figuur 1 blijkt dat de boorkosten stijgen met de diepte, en wel meer dan proportioneel, terwijl het vermogen ook stijgt met de diepte. De overgang tussen de twee dieptes moet worden vastgelegd. Indien diepere projecten via een aparte categorie in de SDE+ ondersteund zouden gaan worden, wordt geadviseerd om voor '3000 meter boordiepte' een verticale diepte van minimaal 2700 meter aan te houden. Bij 2700 meter diepte past een temperatuur van de geothermische bron van ca. 90°C, wat een temperatuur is die zowel goed bruikbaar is in de glastuinbouw als in de utiliteitsbouw.

### 4.2 Vermogensbegrenzing van geothermische warmtekrachtprojecten

De referentie-installatie van geothermische warmtekracht in (Lensink *et al*, 2012) verschilt in aard van de overige referentie-installaties. Voor geothermische warmtekracht is gekozen voor een referentie met zeer gunstige bodemcondities: een temperatuurgradiënt van 35°C/km in plaats van

<sup>3</sup> Dit zien ECN en DNV KEMA als bevestiging dat de referentie-installatie van 11,8 €/GJ een adequaat ondersteuningsniveau biedt voor het merendeel van de projecten.



30°C/km en een debiet van 200 m<sup>3</sup>/uur. De referentie-boordiepte bedraagt 4000 meter. Dit levert een bronvermogen voor de referentie-installatie op van 25,6 MW<sub>th</sub>. Het outputvermogen is 11,9 MW<sub>finaal</sub> (10,0 MW<sub>th</sub> en 1,9 MW<sub>e</sub>). De referentie-installatie kan gezien de diepte en de waarschijnlijke noodzaak tot *fracken* beschouwd worden als een innovatief project in de zin dat er geen vergelijkbare geothermieprojecten in Nederland al gerealiseerd zijn.

Gezien het feit dat de referentie-installatie al van een *sweet spot* uitgaat en gezien het feit dat de consequenties (meerkosten en extra opbrengsten) van een triplet in combinatie met *fracken* op deze diepte minder bekend zijn, adviseren ECN en DNV KEMA om in de SDE+ 2013 geen hogere vermogensgrens te hanteren dan het vermogen van de referentie-installatie voor geothermische warmtekracht.

## Conclusie

Deze notitie beantwoordt vragen die het Ministerie van Economische Zaken aan ECN en DNV KEMA gesteld heeft over de ondersteuning van geothermieprojecten in de SDE+ 2013. De beantwoording van de vragen is in het licht te zien van voorkoming van overstimulering en beperking van overreservering van middelen door de SDE+. Bij de beantwoording van de vragen is gebruik gemaakt van de kennis en expertise van TNO op het gebied van geothermische boringen.

Het advies in deze notitie is een aanvulling op het advies op de basisbedragen SDE+ 2013 (Lensink *et al.*, 2012) dat geconsulteerd is met de sector. Na dit advies heeft EZ gevraagd naar de mogelijkheden voor het maximaliseren van het maximaal subsidiabele productievermogen en de wenselijkheid om de hoogte van de SDE+-subsidie te laten afhangen van het projectvermogen en de potentie van een referentie-installatie voor geothermische warmteopwekking op grote diepte. Het projectvermogen kan groter zijn dan de referentie-installatie van ECN en DNV KEMA door diverse omstandigheden, waaronder betere waterdoorlatendheid van de bodem, sterkere temperatuurgradiënt in de bodem, grotere boordiameter, een extra boorput, een diepere boorput en extra technische voorzieningen aan de warmtevraagkant (zoals warmtepomp of lagetemperatuurverwarmingssystemen). Sommige van deze omstandigheden kunnen zich ook in een en hetzelfde project gezamenlijk voordoen. Bij al de genoemde omstandigheden zal de ontwikkelaar meerkosten moeten maken om het extra vermogen ook nuttig te kunnen leveren aan warmteafnemers.

In het gunstigste geval levert de bron buiten de invloed van de projectontwikkelaar om meer vermogen door gunstigere bodemcondities. Op basis van verwachte debieten van het water bij diverse projecten, leveren zulke natuurlijke meevallers hooguit ca. 30% meer vermogen op dan de referentie-installatie. De productiekosten voor installaties met boordiepte van 3000 meter kunnen dalen van 12,8 €/GJ tot ca. 10,6 €/GJ, maar het is onduidelijk of deze kostendalingen ook in significante mate in de praktijk gehaald kunnen worden.

Een alternatief waarbij de ontwikkelaar ontwerpkeuzes maakt om het vermogen te vergroten, is om in plaats van een doublet een triplet te gebruiken (dus drie boorputten in plaats van twee boorputten) of een dubbel doublet. Het vermogen van het project kan door de derde boorput in gunstige gevallen verdubbelen. De productiekosten voor installaties met boordiepte van 3000 meter kunnen dalen van 12,8 €/GJ naar 10,2 €/GJ, maar ook hier het is onduidelijk of deze kostendalingen in de praktijk gehaald kunnen worden.

De verwachte productiekosten bij diverse projecten in Nederland variëren sterk. Een indicatieve berekening door ECN en DNV KEMA leert dat de spreiding (standaard deviatie) in de productiekosten van enkele Nederlandse initiatieven groot is, waarbij er weinig verband tussen productiekos-

ten en vermogen waarneembaar is. De daling in de productiekosten, die men op basis van theoretische overwegingen kan verwachten bij grotere projectvermogens, lijken nog niet zichtbaar te zijn in de praktijk. Daarom geven ECN en DNV KEMA aan EZ ter overweging, om niet al te veel differentiatie toe te passen bij de ondersteuning voor geothermie, nu de ervaring met geothermieprojecten in Nederland nog zo beperkt is. En nu de onzekerheid in kostenberekeningen dus nog relatief groot is. ECN en DNV KEMA adviseren daarom om in 2013 de basisbedragen voor geothermie niet af te laten hangen van het projectvermogen.

Om overreservering te voorkomen, heeft EZ gevraagd naar de gevolgen van een eventuele maximering van subsidie-uitgaven voor een project op basis van het vermogen van dat project. ECN en DNV KEMA hebben, mede op basis van informatie van TNO, berekend dat geothermieprojecten met een boordiepte van ca. 3 km of meer steeds moeilijker rendabel te maken zijn naarmate de boordiepte toeneemt. Hierbij hebben ECN en DNV KEMA *niet* meegenomen dat er minder ervaring is met diepe boringen waardoor de financierbaarheid lastiger wordt. Ook is in deze berekening aangenomen dat *fracken* niet nodig is, terwijl dat bij sommige projecten wel degelijk nodig kan zijn en tot extra meerkosten zal leiden. Het gevolg van de zogenoemde vermogensaftopping voor projecten met een diepere boring, kan tegengewerkt worden door een aparte categorie voor diepere geothermieprojecten met een verticale boordiepte van meer dan 2700 meter, in de SDE+-regeling op te nemen. Het corresponderende basisbedrag voor deze extra geothermie-categorie bedraagt 12,8 €/GJ voor warmtetoepassingen voor ten hoogste 5500 vollasturen. Het hogere basisbedrag voor diepere boringen wordt gesteund door de rijke ervaring met de kosten van boringen, anders dan geothermieboringen, in de Nederlandse bodem.

Tabel 4 geeft de berekende basisbedragen voor een boordiepte van 500 tot 2700 meter (referentieboordiepte: 2300 meter) en bij een boordiepte van meer dan 2700 meter (referentieboordiepte: 3000 meter). Het basisbedrag bij 2300 meter boordiepte is, conform het eindadvies, 11,8 €/GJ bij een vermogen van 12,4 MW<sub>th</sub>. Het basisbedrag bij 3000 m boordiepte is berekend als 12,8 €/GJ bij een vermogen van 18,0 MW<sub>th</sub>.

Tabel 4 *Basisbedragen geothermische energie*

Categorie	Subsidieduur [jaar]	Productiekosten [€/GJ]	Transactiekosten [€/GJ]	Basisprijspremie [€/GJ]	Vermogen referentie-installatie [MW]	Aantal vollasturen	Basisbedrag [€/GJ]
Boordiepte 500-2700 meter	15	11,56	0,25	-	12,4	5500	<b>11,8</b>
Boordiepte meer dan 2700 meter	15	12,54	0,25	-	18,0	5500	<b>12,8</b>

Na consultatie met marktpartijen heeft EZ de aanvullende vraag gesteld of een vermogensgrens benoemd worden, die hoger ligt dan het vermogen van de referentie-installaties uit het advies voor de basisbedragen (Lensink *et al.*, 2013), zonder dat de SDE-regeling tot aantoonbare oversubsidiëring leidt. ECN en DNV KEMA geven ter overweging om een hogere vermogensgrens te baseren op een triplet – een extra boorput – of een dubbel doublet. Een extra boorput kan ook het gevolg zijn van een tussentijdse aanpassing van het project bij tegenvallende energieopbrengsten. Zoals eerder betoogd is, kunnen ECN en DNV KEMA geen daling van productiekosten steekhoudend onderbouwen. ECN en DNV KEMA adviseren een projectvermogen van maximaal 12,4 MW<sub>th</sub> (500-2700 meter) respectievelijk 18,0 MW<sub>th</sub> (dieper dan 2700 meter). Met deze combinatie van projectvermogens en basisbedragen is er geen aanleiding om oversubsidiëring te verwachten. Met deze aftopping is 80% van de projecten realiseerbaar, conform het uitgangspunt dat ECN en DNV KEMA bij de adviseren over basisbedragen in de SDE+ hanteren.

Voor ondersteuning van grotere vermogens dan de genoemde 12,4 en 18,0 MW<sub>th</sub>, is het wenselijk om meer ervaringsgegevens te verzamelen van Nederlandse projecten die beduidend groter zijn dan de gedefinieerde referentie-installaties. Verdere differentiatie of uitbreiding van de SDE-ondersteuning voor grote geothermieprojecten kan door de extra projectontwikkelingservaring dan beter beoordeeld worden op effectiviteit en efficiëntie.

Tevens geven ECN en DNV KEMA ter overweging om komend jaar met de sector in gesprek te gaan over de vormgeving van grotere projecten (20 MW<sub>th</sub> of meer). Sommige van deze projecten verschillen in opzet sterk van de referentie-installatie, bijvoorbeeld door integratie met hogetemperatuursopslag. Hoewel niet op voorhand gesteld kan worden dat deze projecten door de huidige vermogensgrenzen financieel onhaalbaar worden – zij kunnen de warmteproductie uit het extra vermogen nog altijd aan afnemers verkopen – kan de vermogensaftopping wel invloed hebben op het praktische ontwerp van het project. Dit zou een onbedoeld neveneffect van de begrenzing op vermogen kunnen zijn.

## Referenties

- Ecofys (2007): *Duurzame warmte en koude 2008-2020: Potentiëlen, barrières en beleid*. Ecofys, juli 2007.
- EL&I (2012): *Actieplan Aardwarmte*. Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I), april 2011
- Lako, P., Luxembourg, S.L., Ruiter, A.J., B. in 't Groen (2011): *Geothermische Energie en de SDE*. ECN/KEMA, ECN-E--11-022, februari 2011.
- Lensink, S.M. (2012). *Basisbedragen in de SDE+ 2013 – Eindadvies*. ECN/DNV-Kema, Petten/Arnhem, oktober 2012.
- Putten, M., van, et al (2012): Finding a way to optimize drilling depths in clastic aquifers for geothermal energy, Submitted to Geothermics.
- Straathof, D.H.L. (2012): *Costs of Deep Geothermal Energy in the Netherlands – MSc thesis Sustainable Development Utrecht University*. ECN, October 2012 (te publiceren).

Deze notitie is tot stand gekomen mede op basis van kennis en adviezen van J-D. van Wees en H. Mijnlief van TNO. De auteurs danken TNO voor hun waardevolle inbreng.

Hoewel de informatie in dit rapport afkomstig is van betrouwbare bronnen en de nodige zorgvuldigheid is betracht bij de totstandkoming daarvan kan ECN geen aansprakelijkheid aanvaarden jegens de gebruiker voor fouten, onnauwkeurigheden en/of omissies, ongeacht de oorzaak daarvan, en voor schade als gevolg daarvan. Gebruik van de informatie in het rapport en beslissingen van de gebruiker gebaseerd daarop zijn voor rekening en risico van de gebruiker. In geen enkel geval zijn ECN, zijn bestuurders, directeuren en/of medewerkers aansprakelijk ten aanzien van indirecte, immateriële of gevolgschade met inbegrip van gederfde winst of inkomsten en verlies van contracten of orders.