

Stappenplan voor de ontwikkeling en implementatie van geothermie als duurzame, stabiele en betaalbare bron van warmte en elektriciteit in Vlaanderen

GEOOTHERMIE 2020



Opbouw van de boortoren op de Balmatt-site in Mol (foto VITO NV)



Europese Unie

Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling



**Vlaamse
overheid**

Projectpartners:



VITO / +32 14 33 55 11
Ben Laenen
David Lagrou
www.vito.be



IOK / +32 14 58 09 91
Stijn Sneyers
Toon Otten
www.iok.be



Voka KvK Kempen
+32 14 56 30 30
Jan Hendrickx
www.voka.be

Met de financiële steun van:



Agentschap
Ondernemen



Vlaamse
overheid



Provincie
Antwerpen

SAMENVATTING

Met het project GEOTHERMIE 2020 willen VITO, IOK en Voka KvK Kempen een sterke stimulans geven aan de ontwikkeling van geothermie in de Kempen. Aanleiding voor de studie was de vaststelling dat geothermie een belangrijk bron voor duurzame warmte en elektriciteit kan worden voor de regio. De partners zijn er van overtuigd dat een doelgerichte ontwikkeling van het potentieel zal leiden tot nieuwe werkgelegenheid en de versteviging van het economisch weefsel in de Kempen en bij uitbreiding Vlaanderen.

De uitrol van diepe geothermie in Vlaanderen zal een fundamentele koerswijziging inhouden op het vlak van energievoorziening, energiegebruik en ruimtelijke ordening. Om die koerswijziging mogelijk te maken moeten op korte en middellange termijn verschillende technische en maatschappelijke uitdagingen aangepakt worden. De hoofddoelstelling van EFRO-project 910 bestond er in om die uitdagingen in kaart te brengen. Vervolgens werd een stappenplan uitgewerkt dat moet toelaten het geothermische potentieel in de Kempen op een efficiënte en maatschappelijk verantwoorde manier aan te boren.

Van bij de aanvang van het project werden de uitdagingen gebundeld in 5 categorieën. De uitrol van geothermie is in de eerste plaats een transitieverhaal, waarbij verschillende en soms tegengestelde technologische, economische, maatschappelijke en sociale behoeften met elkaar verzoend moeten worden. De partners gaven invulling aan het transitieverhaal door op een actieve manier verschillende stakeholders bij het project te betrekken. Via 2 lerende netwerken, 4 bijeenkomsten van een strategische reflectiegroep en een handelsmissie naar Grünwald (DE) werd de lokale industrie geïnformeerd over de mogelijkheden die diepe geothermie biedt voor de plaatselijke economie. De lokale besturen en de hogere overheid werden betrokken via de strategische reflectiegroep, een studiereis naar Unterhaching (DE), het streekproject Kempen 2020 (Burgemeestersconvenant) en een reeks interdisciplinaire workshops binnen de 29 Kempense gemeentes. Om het transitietraject te verankeren over de beleidsdomeinen heen werd het doelpubliek opengetrokken naar verschillende diensten en bevoegdheden. In elk van de workshops werd diepe geothermie als thema aan de orde gebracht om de opportuniteiten en de vereiste inspanningen van lokale besturen in functie van een brede uitrol te bediscussieren. De resultaten van de workshops werden vertaald naar de lokale klimaatactieplannen en het ruimtelijke beleid.

Ook middenveldorganisaties en de burger werden niet vergeten. Op verschillende momenten werden sessies en debatten georganiseerd om hen te informeren over de mogelijkheden van geothermie. Een aspect dat regelmatig naar voor kwam tijdens de dialoog met de koepel van de Vlaamse milieuorganisaties, de Vlaamse Bouwmeester en LNE is ruimtelijke



Handelsmissie Grünwald (DE)

ordering. Dit geeft aan dat naast milieu- en natuurbeslag ook ruimtelijke aspecten voor de betrokken stakeholders een thema is waaraan aandacht moet besteed worden.

De technologie voor het winnen van aardwarmte is al bewezen in het buitenland, maar nieuw voor Vlaanderen. Een efficiënte ontwikkeling van geothermie in Vlaanderen vraagt dat de buitenlandse kennis en ervaring worden afgestemd op de lokale situatie. Het impliceert ook dat geothermie wordt ingepast in het lokale energielandschap en ruimtelijke kader. Onder doelstelling 2 werden de gewenste evoluties op het vlak van geologische kennis, boortechnologie, ruimtelijke planning en de integratie van geothermiecentrales in het lokale energielandschap bestudeerd. De ruimtelijke analyse voegde een nieuwe dimensie toe aan de ontwikkelingsstrategie voor geothermie: ruimtelijke ordening. Dit aspect kwam ook meermaals aan bod tijdens de dialoog met middenveldorganisaties en beleidsmensen. In het parallelle project 'Atelier Diepe Geothermie', dat opgezet werd door de Vlaamse Bouwmeester, werd aan de hand van ontwerpend onderzoek bekeken hoe geothermie kan interfereren met de ruimtelijke ontwikkeling van een gebied en wat dit kan betekenen voor bijvoorbeeld de lokale woningmarkt.

De resultaten van de technische en ruimtelijke ontwikkelingsnoden vormden de basis voor de evaluatie van de economische impact voor de Kempen, en bij uitbreiding Vlaanderen. De waardeketen van diepe geothermie is arbeidsintensief en sterk lokaal: de warmte wordt lokaal gewonnen, in vergelijking met aardgas is de productie kleinschalige en er zijn relatief veel arbeidsintensieve activiteiten zoals grondwerken, infrastructuurwerken, en installatie- en onderhoudsactiviteiten. Als het potentieel van geothermie in de Kempen en Limburg volledig gerealiseerd wordt, kan dit in de periode 2015 en 2050 om en bij de 1.500 nieuwe voltijdse jobs opleveren. Geschat wordt dat 75% van deze jobcreatie zich situeert in Vlaamse bedrijven, 25% in buitenlandse bedrijven.

De ontplooiing van diepe geothermie in Vlaanderen start echter met de bouw van de eerste centrales. In het kader van EFRO-project 910 werd de initiële haalbaarheid van twee pilootprojecten bestudeerd: het Balmatt project in Mol-Donk en het project van Janssen Pharmaceutica in Beerse. Parallel aan het vergunningentraject van beide projecten werd samen met de betrokken administraties nagegaan welke stappen er op regelgevend en financieel vlak genomen kunnen worden om de uitrol van geothermie in Vlaanderen vooruit te helpen.

INHOUD

Samenvatting	1
Inhoud	3
Inleiding.....	5
Maatschappelijke en economische uitdagingen	5
Onderzoeksvragen.....	6
Diepe geothermie: een uniek energiepotentieel voor vlaanderen.....	7
Het potentieel van geothermie in Vlaanderen.....	7
De toestand in Vlaanderen	10
De stand van de techniek	10
Kostenefficiënte benutting van het potentieel door innovatie.....	11
Duurzaamheid	12
ResultateN van EFRO-Vlaanderen project 910	15
Doelstelling 1: Innovatieve regionale transities	15
Doelstelling 2: Technologische uitdagingen	21
<i>Geologische randvoorwaarden en exploratienoden</i>	<i>21</i>
<i>Technologische uitdagingen op het vlak van diepboringen.....</i>	<i>22</i>
<i>Warmtevraag en ruimtelijke analyse.....</i>	<i>26</i>
<i>Inkoppelsmogelijkheden van geothermische co-generatiecentrales.....</i>	<i>31</i>
Doelstelling 3: Economische analyses en prognoses.....	34
<i>De rol van warmtenetten.....</i>	<i>38</i>
<i>Impact op de lokale economie en tewerkstelling.....</i>	<i>38</i>
<i>Maatschappelijke baten</i>	<i>40</i>
Doelstelling 4: Gevalstudies	41
Doelstelling 5: Vergunningenbeleid en regelgeving	43



Roadmap voor de ontwikkeling van geothermie in vlaanderen	44
Ontwikkelingen op het vlak van kennis en technologie	44
<i>Evaluatie van het geothermische potentieel en kennisopbouw</i>	44
<i>Ontwikkelingen op het vlak boortechnologie</i>	46
<i>Ontwikkelingen op het vlak van productietechnologie</i>	48
<i>Ontwikkelingen op het niveau van de toepassingen</i>	49
Ruimtelijke aspecten	50
Financiering en zekerheid.....	51
Beleid en regelgeving	52
Besluiten	54
Aanvullende informatie	56

INLEIDING

Maatschappelijke en economische uitdagingen

Europa positioneert het concept *Europe 2020* als een strategie voor een slimme, duurzame en inclusieve groei, waarbij het voortwerkt op de Lissabon-strategie om van de EU *'de meest competitieve en dynamische kennisgedreven economie ter wereld te maken, gebaseerd op duurzame economische groei, met meer en betere tewerkstelling en een grotere sociale cohesie'*. Binnen dit Europa wenst Vlaanderen tegen 2020 tot de top-5 van kennisintensieve regio's op het gebied van geproduceerde en verdiende welvaart te behoren.

Op dit ogenblik is energie, in de vorm van elektriciteit en warmte, voor de bedrijven in Vlaanderen nog competitief beschikbaar. Dit voordeel dreigt in de nabije toekomst echter te verdampen. Op hetzelfde ogenblik is de elektriciteit voor de man in de straat ongeveer vier maal zo duur als voor zijn Amerikaanse medewereldburger. Ook voor verwarming betaalt hij gemakkelijk het dubbele. Tegelijk doet zich het merkwaardige fenomeen voor dat wanneer elektriciteit massaal en goedkoop aanwezig is, bijvoorbeeld tijdens een zonnig en winderig weekend, de producenten zelfs een prijs dienen te betalen om de elektriciteit op het net te zetten, maar dat de Vlaamse en Europese burger hier niet kan van profiteren. Zijn elektriciteitsprijs blijft even hoog en dreigt zelfs te verhogen door de doorrekening van groene stroomcertificaten.

Mocht dit alles nu tot gevolg hebben dat de afhankelijkheid van Europa en Vlaanderen van ingevoerde energie zou verminderen of dat de CO₂-uitstoot hierdoor drastisch zou dalen, zonder significante invloed op de tewerkstelling, dan zou dit een situatie zijn die kan gedragen worden in een rijke samenleving, zonder veel staatsschuld. Maar geen van deze premisen blijft overeind.

Geen van beide permissies is waar. De afhankelijk van Europa en Vlaanderen van geïmporteerde energie neemt verder toe. Bovendien is de CO₂-uitstoot van de Verenigde Staten door het grootschalig gebruik van shalegas sneller en meer gedaald dan in Europa, met zelfs als kwalijk neveneffect dat thans steenkool uit de Verenigde Staten goedkoop in Europa wordt aangeboden en verbruikt. Hierdoor worden moderne en efficiënte STEG-centrales gesloten en komen steenkoolcentrales terug "on line" met een stijging van de CO₂-uitstoot tot gevolg omdat de industrie er nog niet is in geslaagd om de geproduceerde CO₂ kosteneffectief in te zetten als bouwstof voor een verdere koolstofrijke economie. Een duurzame economie zal immers een koolstofrijke economie zijn: een *'biogebaseerde'* economie betekent het grootschalig gebruik



Kasteel van Ferrara (IT) wordt verwarmd met diepe geothermie.

van koolstof. Alleen halen we die koolstof dan niet langer uit fossiele bronnen, maar uit biologische processen, of bij uitbreiding industriële reststromen.

Ook op het vlak van woonbeleid meenden de Europese en Vlaamse overheid regelgevend te moeten ingrijpen om de CO₂-uitstoot van de huisverwarming en het energieverbruik van woningen in het algemeen terug te dringen. De opgelegde verplichting (EPB-wetgeving nieuwe gebouwen) in Vlaanderen is echter een onvolledige omzetting van de Europese richtlijn ter zake. Hierdoor ontstaat niet alleen een competitieve achterstand t.o.v. bv. Nederland en Duitsland, het veroorzaakt bovendien een onredelijke prijsdruk op de Vlaamse huizenmarkt. Deze prijsdruk cascadeert naar beneden, versterkt door stringente regels voor nieuw te bouwen sociale woningen. Het gevolg is een stijgende nood aan sociale woningen en een exploderende kost voor het bouwen en ter beschikking stellen van deze sociale woningen, met een verdere druk op de beschikbare staatsmiddelen tot gevolg en minder kansen voor een actieve investerings- of innovatiepolitiek.

Onderzoeksvragen

Er zijn niet veel technologieën die een antwoord kunnen bieden op de bovenstaande uitdagingen. Diepe geothermie is er één van. Binnen het kader van EFRO-project 910 hebben de partners zich samen met verschillende stakeholders gebogen over de mogelijke rol van diepe geothermie in Vlaanderen. Ze bekeken de haalbaarheid zowel maatschappelijk, technisch, economisch als op beleidsvlak. De oefening laat toe in te schatten of de ontwikkeling van geothermie kan leiden tot:

- Een **constante energieprijs** zowel voor warmte als voor elektriciteit, voor industrieel en huishoudelijk gebruik in de Kempen, Limburg en Vlaanderen aan een prijspeil dat niet hoger is dan dit van vandaag en mogelijks zelfs lager en dit uiterlijk binnen de 10 jaar.
- Een betekenisvolle **vermindering van de import van energie** (elektriciteit en koolwaterstoffen), zodat koolwaterstoffen nog hoofdzakelijk dienen als basisstof voor de chemie naast de opkomst van biogebaseerde grondstoffen.
- Het **alternatief, duurzaam verwarmen van bestaande woningen en historische gebouwen**, die weliswaar beter geïsoleerd zullen zijn, waarbij de industrie een duurzame woning garandeert zonder hoge kosten en dus maximaal behoud van het opgebouwde maatschappelijk kapitaal in bestaande woningen.
- Een **maatschappelijk duurzame vorm van energieopwekking**, d.w.z. maximale reductie van CO₂-uitstoot, zonder groene stroomcertificaten zodat dit systeem binnen de 10 jaar volledig kan afgebouwd worden.
- En tenslotte het **versterken van de Vlaamse economie** door de realisatie van aanzienlijke bouw- en energieprojecten, op zijn minst partieel gefinancierd vanuit private middelen, omdat het onderliggende businessmodel op relatief korte termijn winstgevend is.

DIEPE GEOTHERMIE: EEN UNIEK ENERGIEPOTENTIEEL VOOR VLAANDEREN

Het potentieel van geothermie in Vlaanderen

Berckmans en Vandenberghe stelden in 1998 een reeks temperatuurkaarten van de Belgische ondergrond op¹. Uit deze kaarten blijkt dat grote delen van centraal België relatief koud zijn. De koude zones vallen samen met gebieden waar oude, harde gesteenten dicht tegen of aan het oppervlak voorkomen. Ze worden ingesloten door warmere gebieden die overeenkomen met recente sedimentaire bekkens. Voor Vlaanderen vertaalt zich dat in een relatief koude zone tussen Brussel en Oostende en een geleidelijke toename van de temperatuur in de richting van de Kempen. De hoogste waarden worden opgetekend in de Antwerpse Noorderkempen en in het noordoosten van Limburg.

Om aardwarmte te winnen wordt traditioneel gebruik gemaakt van water dat van nature aanwezig is in de ondergrond. Naast warmte heb je een gesteentepakket nodig dat water bevat en voldoende waterdoorlatend is. De beoogde toepassing dicteert de minimale temperatuur van het water. In Vlaanderen stijgt de temperatuur gemiddeld met ongeveer 30°C/km. Dat betekent dat je minimaal 500 m diep moet boren om water van 25°C aan te treffen. Alleen in de Kempen en in het uiterste zuiden van West-Vlaanderen treffen we op deze diepte nog geschikte watervoerende lagen aan. Toepassingen waarvoor een temperatuur van 40°C of meer vereist is, zijn met de huidige stand van de techniek alleen mogelijk in de diepe sedimentaire bekkens ten noorden en zuiden van het Brabant Massief, meer bepaald het bekken van de Kempen en het steenkoolbekken van Henegouwen.

Winbare hoeveelheid energie in de 4 voornaamste diepe watervoerende lagen in de Kempen op basis van een minimale temperatuur van 25°C en een recovery factor van 33%

Watervoerende laag	Winbare warmte (GJ)		Gebied (km ²)
	Berckmans & Vandenberghe ¹	GEOHEAT-App	
Krijt	1,77 x 10 ⁹	0,46 x 10 ⁹	2.185
Trias zandstenen	5,08 x 10 ⁹	1,18 x 10 ⁹	695
Neeroeteren zandsteen	0,12 x 10 ⁹	4,42 x 10 ⁹	654
Kolenkalk	4,45 x 10 ⁹	13,02 x 10 ⁹	3.120
Totaal	11,42 x 10⁹	19,07 x 10⁹	-

¹ Berckmans A. & Vandenberghe N., 1998. Use and potential of geothermal energy in Belgium. Geothermics 27: 235-242.

Wanneer we de temperatuurkaarten combineren met de verspreidingsgebieden van de gekende watervoerende lagen zien we dat het grootste potentieel voor traditionele geothermie in de Noorderkempen en in het noordoosten van Limburg gelegen is. In deze regio kunnen we vier potentiële geothermische reservoirniveaus onderscheiden: de poreuze kalkstenen van het Krijt, zandstenen van Triasouderdom, de zandstenen van Neeroeteren en de kalkstenen en dolomieten van de Kolenkalk Groep. Berckmans en Vandenberghe schatten de hoeveelheid thermische energie in deze vier reservoirs op ruim 11 exajoule.

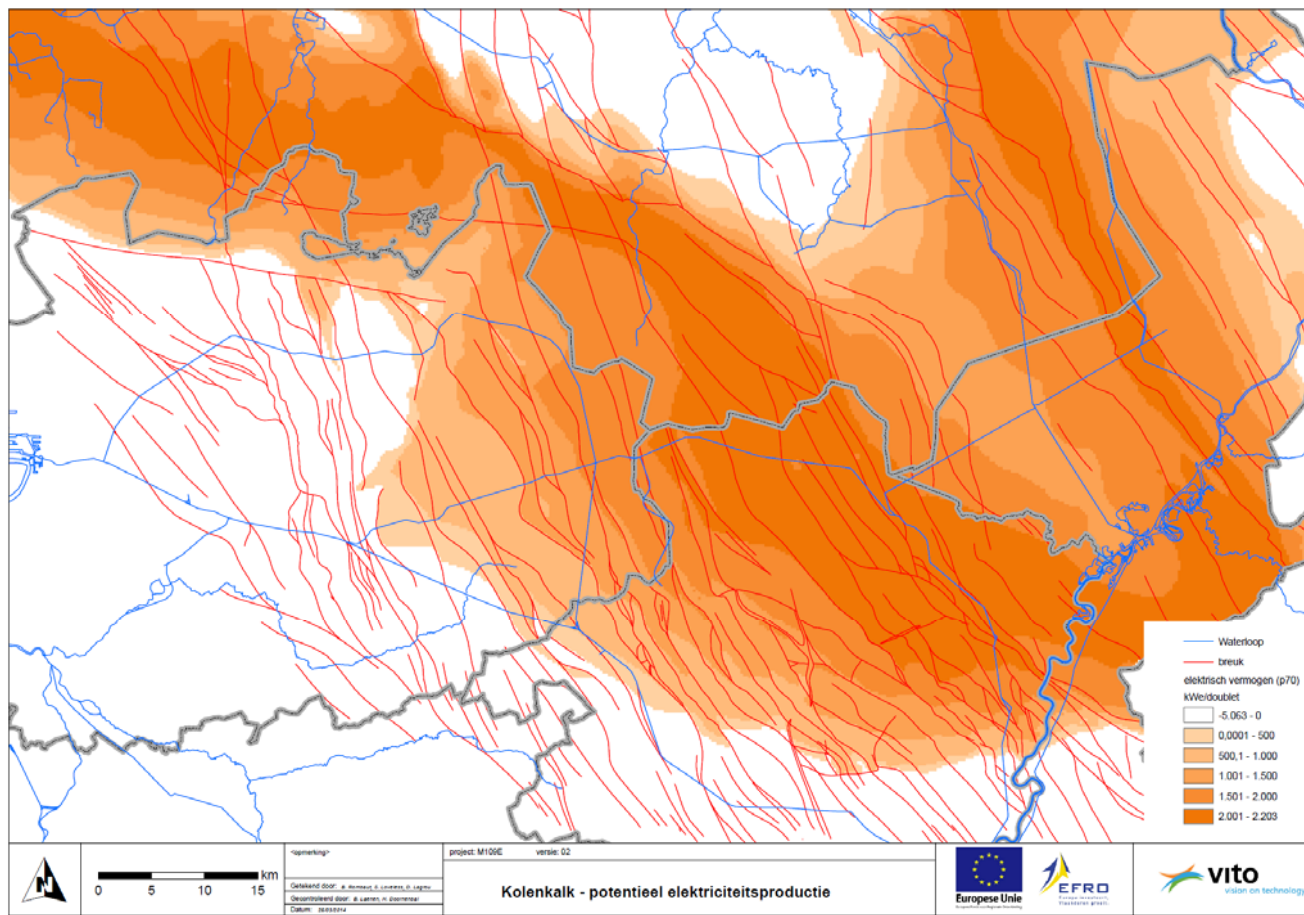
Berckmans en Vandenberghe hanteerden voor hun berekeningen een maximale diepte van 2500 m, een minimale productietemperatuur van 25°C en een recovery factor van 33%. Vandaag zijn geothermische boringen naar 4000 m en meer geen uitzondering meer. Nieuwe data stelt ons bovendien in staat het potentieel nauwkeuriger in te schatten. In het kader van INTERREG-project GEOHEAT-App werden de nieuwe inzichten gebruikt voor een grensoverschrijdende kartering van het geothermisch potentieel in de provincies Antwerpen, Noord-Brabant en Belgisch en Nederlands Limburg. Bij het berekenen van de winbare warmte werd alleen rekening gehouden met gebieden waar het geothermische potentieel van de desbetreffende watervoerende laag als hoog of matig werd ingeschat. Net als bij de schattingen uit 1998 werd uitgegaan van afkoeling tot 25°C en een recovery factor van 33%.

De totale hoeveelheid warmte die uit de 4 gekarteerde watervoerende lagen onttrokken kan worden bedraagt 19 exajoule. Dat komt overeen met de energie-inhoud van ruim 3 miljard vaten olie. De Kolenkalk is veruit het belangrijkste geothermisch reservoir. In het uiterste noorden van de provincie Antwerpen en in grote delen van Noordoost Limburg loopt de temperatuur in deze laag op tot boven 110°C. Beschikbare binaire conversietechnologie laat toe deze warmte om te zetten in elektriciteit. Het netto elektrische vermogen van een binaire cyclus gekoppeld aan een geothermisch doublet varieert van enkele honderden kilowatt tot ruim 2 megawatt. De binaire cycli koelen het opgepompte water uit tot 60 - 65°C. De restwarmte kan zonder efficiëntieverlies gebruikt worden voor verwarmingsdoeleinden. Op die manier kan een cascadesysteem opgezet worden die de opgepompte warmte maximaal benut.

De andere watervoerende lagen vormen een potentieel target voor verwarmingsdoeleinden. In het uiterste noordoosten van de provincie Limburg lijkt de Neeroeteren zandstenen hiervoor zeer geschikt. Deze zandstenen bevinden zich op een diepte van 500 tot 2000 m en hebben een goede porositeit en doorlatendheid. De temperatuur varieert van 35 tot 90°C. In de rest van het gebied kunnen de poreuze kalkafzettingen aan de top van het Krijt aangeboord worden. Door de geringe diepte komt deze laag enkel in aanmerking voor verwarmingstoepassingen in het temperatuurbereik van 25 tot 40°C.



Ontsluiting van de Kolenkalk in de omgeving van Dinant (BE)



Netto elektrisch vermogen van een geothermiecentrale op basis van het p70 thermische vermogen van een geothermisch doublet en een eenvoudige (enkelvoudige druk), luchtgekoelde binaire cyclus met recuperator en isobutaan als werkingsmedium. Het thermische vermogen werd berekend met het programma DoubletCalc van TNO². Het rendement van de binaire cyclus werd berekend via een systeemoptimalisatie over een temperatuurbereik van 100 tot 150°C³.

² H.F. Mijnlief, A.N.M. Obdam, A. Kronimus, J.D.A.M. van Wees, P. van Hooff, M.P.D. Pluymaekers & J.G. Veldkamp, 2012. DoubletCalc 1.4 handleiding. TNO 2012 P10846. <http://www.nlog.nl/nl/geothermalEnergy/geothermalEnergy.html>

³ Walraven, B. Laenen & W. D'haeseleer, 2015. Economic system optimization of air-cooled organic Rankine cycles powered by low-temperature geothermal heat sources. Energy 80: 104-113.

De toestand in Vlaanderen

In Vlaanderen blijft geothermie tot op vandaag beperkt tot warmtepomptoepassingen die warmte onttrekken aan ondiepe grondlagen. Diepe geothermie wordt momenteel niet toegepast. Hiermee loopt Vlaanderen achter op zijn buur-regio's. Dit heeft voor een stuk te maken met ons energielandschap: in tegenstelling tot bv. Frankrijk en Duitsland heeft Vlaanderen geen traditie in wijkverwarming, en in tegenstelling tot Nederland is de consolidatie binnen de glastuinbouw hier beperkt. Dit resulteert in een versnipperd warmtelandschap waardoor het moeilijk is om de kosten die gepaard gaan met de bouw van een geothermische centrale economische te verantwoorden.

De projecten uit onze buurlanden leren dat geothermie vandaag de dag rendabel is voor projecten met een grote, continue warmtevraag. Naast warmtebehoefte toepassingen in de industrie en de glastuinbouw zijn warmtenetten dan ook een belangrijke randvoorwaarde voor de uitrol van geothermie in Vlaanderen. Warmtenetten maken het immers mogelijk om de warmte op een efficiënte wijze tot bij een groot aantal eindgebruikers te brengen. Ze laten bovendien toe het potentieel voor elektriciteitsproductie op basis van diepe geothermie te maximaliseren: met de huidige stand van de techniek en ontwikkelingskosten is elektriciteitsproductie op basis van diepe geothermie in een temperatuurbereik tot circa 150°C enkel rendabel als er voldoende warmte kan verkocht worden.

Warmtenetten hebben nog een andere troef: ze bieden de mogelijkheid om op regionale schaal efficiënt om te gaan met energie. Op (sub)regionale schaal gaan grote hoeveelheden warmte verloren. Zo wees een recent uitgevoerde inventaris in de haven van Antwerpen op een restwarmtepotentieel van ca. 1 GW. Deze warmte komt vrij bij temperaturen van 80°C of meer en kan in theorie perfect dienen voor traditionele ruimteverwarming. Voorwaarde is wel dat de restwarmte kan toegeleverd worden aan een leidingennet dat de warmte op een efficiënte wijze tot bij de eindgebruikers kan brengen.

De stand van de techniek

In tegenstelling tot olie en gas is geothermie een lokale energiebron die in principe overal aangeboord kan worden. Ze is bovendien hernieuwbaar en onderscheidt zich van zon- en windenergie door het feit dat ze het jaar rond beschikbaar is. Productiecijfers leren ons dat geothermische centrales zeer bedrijfszeker zijn: een capaciteitsfactor van 80% of meer is geen uitzondering⁴. Dat maakt geothermie uitermate geschikt voor het invullen van de basisvraag naar elektriciteit en warmte. Het is een uitgelezen technologie om toekomstige energienetwerken met een groot aandeel aan weergebaseerde productie te stabiliseren.

Met de huidige stand van de techniek kan de warmte echter alleen kostenefficiënt onttrokken worden uit watervoerende lagen. In de traditionele opzet om aardwarmte te winnen wordt warm water met behulp van één of meer productieputten

⁴ IEA, 2013. IEA Geothermal implementing agreement: annual report 2011. <http://www.iea-gia.org>

vanuit een watervoerende laag naar de oppervlakte gepompt. Het opgepompte water wordt over een warmtewisselaar geleid, waar het zijn warmte afgeeft aan een secundair circuit. Via dit secundaire circuit wordt de warmte naar de gebruikers gebracht. Het afgekoelde water wordt vervolgens via één of meer injectieputten in de oorspronkelijke watervoerende laag teruggepompt. Op die manier blijft de druk in het reservoir behouden, blijft de productie op peil en wordt bodemdaling vermeden. In veel gevallen is het opgepompte water ook te zout om te lozen.

De diepte van de watervoerende laag bepaalt de temperatuur van het opgepompte water: hoe dieper, hoe warmer. Bij temperaturen onder de 110°C kan de warmte aangewend worden voor verwarming, drogen of zelf koeling. Boven de 110°C kan ze ook gebruikt worden om elektriciteit op te wekken.

Kostenefficiënte benutting van het potentieel door innovatie

In Vlaanderen bevindt het grootste potentieel voor geothermie op basis van watervoerende lagen zich in de provincies Antwerpen en Limburg. Conservatieve schattingen wijzen op een potentieel dat gelijk is aan de energie-inhoud van 3 miljard vaten olie. Het grootste deel van het potentieel komt in aanmerking voor verwarmingsdoeleinden, maar lokaal kan water van 110°C en meer opgepompt worden. Op deze plaatsen is co-generatie van warmte en elektriciteit op basis van geothermie mogelijk.

In de rest van Vlaanderen zit de aardwarmte opgesloten in diepe compacte gesteenten (*'hot dry rock'*). Om deze warmte te kunnen winnen, dient men het gesteente kunstmatig te kraken, ook *'fraccen'* genoemd. Op die manier worden paden gecreëerd waarlangs water of een andere vloeistof kan circuleren. De kunst bestaat erin een driedimensionaal netwerk van spleetjes te creëren dat toelaat een voldoende groot debiet te verpompen en tegelijk een goede warmte-uitwisseling tussen de vloeistof en het gesteente te verwezenlijken. Omdat er geen stringente eisen gesteld worden aan het gesteente, is deze techniek in principe overal toepasbaar.

Diepe aardwarmtesondes zijn een alternatief voor kunstmatig gecreëerde reservoirs. De sondes onttrekken de warmte aan de ondergrond via een vloeistof die enkel door het boorgat stroomt. Het zijn in wezen gesloten of semi-gesloten systemen waarbij de warmte-uitwisseling aan de wand van het boorgat plaatsvindt.

'Hot dry rock' is momenteel niet rendabel. Lopend onderzoek en nieuwe ontwikkelingen op het vlak van boor- en stimulatietechnieken moeten daar tegen 2025 verandering in brengen⁵. Daarnaast is er nood aan de ontwikkeling van efficiëntere technieken om de aardwarmte te gebruiken in industriële processen of voor de aanmaak van elektriciteit. In dat geval kan geothermie in de toekomst instaan voor een kwart van onze elektriciteitsbehoefte⁶.

⁵ OECD/IEA, 2011. Technology roadmap geothermal heat and power. <http://www.iea.org>

⁶ BFP, ICEDD & VITO, 2012. Towards 100% renewable energy in Belgium by 2050.

Duurzaamheid

Geothermie is een hernieuwbare bron van energie. Zeker bij gesloten systemen zoals die toegepast worden voor verwarmingstoepassingen of in combinatie met binaire cycli worden nauwelijks CO₂ of andere schadelijke stoffen uitgestoten. Door toepassing van geothermie kan Vlaanderen een invulling geven aan haar duurzaamheidsdoelstellingen. Geothermie draagt bovendien bij aan de diversificatie van onze energievoorziening en verhoogt ook de leveringszekerheid van onze energietoevoer. Het gebruik van geothermie is mogelijk voor de hele gebouwde omgeving, zowel nieuwbouw als bestaande woningen en gebouwen, in glastuinbouw en de industrie.

Gasemissies van elektriciteitsproductie op basis van geothermie (t.v.: te verwaarlozen) ⁷

<i>Technologie</i>	<i>CO₂ kg/MWh</i>	<i>SO₂ kg/MWh</i>	<i>NO_x kg/MWh</i>	<i>stofdeeltjes kg/MWh</i>
<i>flash plant, watergedomineerd</i>	27,2	0,1588	0	0
<i>flash plant, droge stoom (The Geysers)</i>	40,3	0,000098	0.000458	t.v.
<i>binaire plant (gesloten systeem)</i>	0	0	0	t.v.

Een geothermische bron kenmerkt zich door een hoge betrouwbaarheid. Ze is bovendien geheel onafhankelijk van externe omstandigheden als het weer of het seizoen. Een geothermische bron kan dan ook maximaal in uren ingezet worden voor de basislast in een warmtesysteem in combinatie met piekvoorzieningen. Een geothermische bron vergt onderhoud, maar de beschikbaarheid in uren per jaar ligt hoog: tot meer dan 7.500 uren per jaar ⁸. De downtime wordt in het algemeen niet als een probleem ervaren. Het onderhoud laat zich meestal immer goed inplannen.

Dankzij het gecombineerd opwekken van warmte en elektriciteit kan een geothermiecentrale een duurzame oplossing bieden voor een aanzienlijk deel van de huidige energieproblematiek. Er wordt vooreerst duurzame elektriciteit opgewekt. Daarnaast is er warmte beschikbaar die kan aangewend worden voor de verwarming van nieuwbouw en bestaande woningen. Bij veel oudere gebouwen en huizen zijn energiebesparingsmaatregelen technisch slechts beperkt toepasbaar. Een besparing van het energieverbruik met 20 tot 40% is hier met isolatie goed te realiseren. Voor een besparing van 60 tot 70% met isolatie is al gauw een investering nodig van 20.000 tot 30.000 euro per woning, als het al technisch mogelijk is. Indien men echter gebruik kan maken van warmtenetten die gevoed worden met een duurzame bron kan een bestaande woning met aangepaste isolatie een zeer hoge reductie van zijn CO₂-uitstoot realiseren en tegelijk zijn waarde behouden. Zo kan Vlaanderen blijven beschikken over degelijke en betaalbare woningen.

⁷ MIT, 2006. The future of geothermal energy. MIT-report INL/EXT-06-11746; ISBN 0-615-13438-6

⁸ EGEC, 2014. Market report 2013/2014. <http://www.egec.org>

Het grondbeslag door geothermie is beperkt. Een geothermiecentrale levert 1.100 tot 2.500 kWh per m² per jaar. Dit is inclusief de oppervlakte voor de boringen. De boringen kunnen echter ook ondergronds afgewerkt worden waardoor het effectieve grondbeslag en de bijhorende hinder beperkt worden. Wanneer we enkel naar de geothermiecentrale kijken, ligt de opbrengst rond 5.000 kWh per m² per jaar. Voor PV-panelen ligt deze ratio op 100 kWh/m² en voor offshore windmolens rond 400 kWh/m². De visuele hinder van een geothermiecentrale is eveneens vrij beperkt en is best te vergelijken met een gebouw in een KMO-zone.

Landbeslag van geothermische centrale ⁹

<i>Technologie</i>	<i>Landgebruik (m²/MW_e)</i>	<i>kWh/m²</i>
<i>110 MW_e geothermische flash plant (excl. boringen)</i>	1.260	6.250
<i>20 MW_e geothermische binary plant (excl. boringen)</i>	1.415	5.900
<i>3.36 MW_e geothermische binary plant (excl. boringen)</i>	450	6.000
<i>49 MW_e FC-RC plant (excl. boringen)</i>	2.290	3.450
<i>56 MW_e geothermische flash plant (incl. boringen)</i>	7.460	1.100

Wat betreft de beïnvloeding van oppervlaktewater en ondiep grondwater is er voor gesloten binaire systemen in principe geen probleem. Wel moeten lekken in het hydrothermale circuit en het weglekken van hydrothermaal water naar ondiepe grondlagen vermeden worden. Een aangepaste verbuizing van de productie- en injectieputten voorkomt dat het opgepompte water kan weglekken in ondiepe grondwaterlagen.

Bodembewegingen kunnen zich voordoen indien er een groot verschil bestaat tussen de hoeveelheid water dat opgepompt en geïnjecteerd wordt. Wanneer beide stromen in evenwicht zijn, zullen zich geen noemenswaardige bodembewegingen voordoen. Bovendien neemt een eventueel effect af met toenemende diepte van het geothermisch reservoir. Aanverwante fenomenen zijn geïnduceerde aardbevingen of seismiciteit. Hierbij moeten we onderscheid maken tussen hydrothermale systemen en hot-dry-rock. In het eerste geval wordt water rondgepompt dat van nature in de ondergrond aanwezig is. Het ondergronds waterreservoir kan een watervoerende laag zijn maar evengoed een doorlatende zone met breuken, barsten en spleten. Dit laatste is meestal het geval wanneer het om diepe systemen gaat. Bij hot-dry-rock wordt een kunstmatig reservoir gecreëerd door het gesteente te breken. De barsten en spleten worden gevormd door in het gesteente een vloeistof onder hoge druk te injecteren totdat het gesteente barst. De kans op seismiciteit is hierbij beduidend groter dan bij de ontwikkeling en exploitatie van een hydrothermaal systeem.

⁹ MIT, 2006. The future of geothermal energy. MIT-report INL/EXT-06-11746; ISBN 0-615-13438-6

Bij geothermie zijn er verschillende processen die aanleiding kunnen geven tot geïnduceerde seismiciteit. In de praktijk kunnen deze echter pas een rol spelen wanneer dit op grotere schaal gebeurt ^{10,11}.

- Vermindering van de effectieve spanning: Dit kan gebeuren bij injectie van water, waarbij de poriënwaterdruk in het gesteente toeneemt.
- Herverdeling van de spanning: Een spanningsherverdeling kan het gevolg zijn van volumetrische veranderingen in het reservoir.
- Thermo-elastische vervorming: Door injectie van koude vloeistof zal het gesteente afkoelen en krimpen. Hierdoor neemt de normaal spanning op de breukvlakken af. Dit kan leiden tot activering van deze breukvlakken.
- Chemische alteratie van breukvlakken: Injectie van vloeistof kan chemische veranderingen teweegbrengen op breukvlakken, waardoor de frictie-coëfficiënt kan veranderen. Dit kan leiden tot een activering van de breukvlakken.

De risico's voor geïnduceerde seismiciteit stellen zich in de eerste plaats bij projecten waar de doorlatendheid van gesteente verhoogd moet worden om voldoende productie te halen. Vaak wordt het gesteente hiervoor kunstmatig gebroken. Dit is een fase met een beduidend hogere kans op seismiciteit.

Voor hydrothermale projecten stelt het probleem van seismiciteit bij fracking zich niet. Uit een recent overzicht blijkt dat zelfs het injecteren en produceren nabij of in breukzones niet noodzakelijk een probleem hoeft te zijn ¹². Er zijn meerdere projecten bekend waarbij de putten kort bij of in een breuk gesitueerd zijn zonder dat er seismiciteit is geregistreerd. Maar de uitzondering bevestigt de regel: enkele maanden na de opstart van de productie in Unterhaching (DE) werd een beving van 2,3 M_I geregistreerd, later gevolgd door nog 3 bevingen met magnitude 2,4, 2,1 en 1,9 M_I. De seismiciteit situeerde zich circa 1700 m onder de put, in de kristallijne sokkel, en staat in relatie tot de breuk die werd aangeboord.

De magnitude van de geïnduceerde seismiciteit hangt van veel factoren af. Enerzijds van de lokale geologie, zoals o.a. de aard van de gesteenten, de natuurlijke seismiciteit, de mate waarin de heersende spanning op breukvlakken kritisch is, of de aanwezigheid en heterogeniteit van de spanningen, barsten en breuken in de ondergrond. Daarnaast spelen ook andere factoren een rol, waaronder het geïnjecteerde volume, het debiet waarmee geïnjecteerd wordt, de diepte waarop de operaties plaatsvinden, of de veranderingen in poriëndruk die veroorzaakt worden. Verschillende projecten kunnen dus niet zomaar met elkaar vergeleken worden. Een specifieke analyse is nodig voor iedere locatie. Bij aanvang van de operationele fase zal dit moeten ondersteund worden door seismologische monitoring.

¹⁰ Majer E.L., Baria R., Stark M., Oates S., Bommer J., Smith B. & Asanuma H., 2007. Induced seismicity associated with enhanced geothermal systems. *Geothermics* 36, 185-222.

¹¹ Schulte Th., Zimmermann G., Vuataz F., Portier S., Tischner T., Junker R., Jatho R. & Huenges E., 2010. Enhancing geothermal reservoirs. In Huenges E. (ed.), *Geothermal Energy Systems. Exploration, Development, and Utilization*. Weinheim, 173-243.

¹² Evans K.F., Zappone A., Kraft T., Deichmann N. & Moia F., 2012. A survey of the induced seismic responses to fluid injection in geothermal and CO₂ reservoirs in Europe. *Geothermics* 41, 30-54.

RESULTATEN VAN EFRO-VLAANDEREN PROJECT 910

Doelstelling 1: Innovatieve regionale transitie

Met de activiteiten onder de doelstelling “*Innovatieve regionale transitie*” wilden de projectpartners in de eerste plaats een proces op gang brengen waarbij de regio er resoluut voor kiest om haar unieke geologische positie te gebruiken om zichzelf en de rest Vlaanderen op een duurzame manier van betaalbare en betrouwbare energie te voorzien. De opzet bestond in het creëren van een draagvlak voor diepe geothermie door de actieve participatie van een brede groep stakeholders: de ondernemers, de (lokale) overheden en de burgers. Door al deze partijen bij het proces te betrekken kon de beoogde lokale impact van het transitie-experiment versterkt worden. Tegelijk kon de toegevoegde waarde van het geheel vergroot worden door de link te leggen naar een uitrol over een groter gebied (in eerste instantie de rest van Vlaanderen, maar evengoed naar Wallonië en Nederland).

De maatschappelijke transitie-oefening werd gestructureerd volgens het principe van een transitieagora. De rationale van de agora stelde dat: *“Indien de Kempen de bakermat van geothermie wil worden in Vlaanderen en deel van een groter energietransitieverhaal, dan moet dit op een weloverwogen, wetenschappelijk verantwoorde maar open en maatschappelijk verankerde manier gebeuren. In het kader van EFRO-project 910 zal de transitieagora een ontmoetingsplaats worden om informatie uit te wisselen en te praten over transitie. De agora voor geothermie in de Kempen zal het transitieverhaal expliciteren. Het zal burgers en alle betrokken groepen de mogelijkheid geven inzicht te verwerven in het proces van energietransitie, maar ook om op een constructieve manier bij te dragen tot de energietransitie.”*

De transitieagora vertrok vanuit het bestaande multi-stakeholderkader waarbinnen het project werd geïnitieerd, de doelstellingen van de betrokken projectpartners en het transitiedenken. De agora creëerde een ruimte waarbinnen lokale stakeholders, organisaties en burgers elkaar konden ontmoeten, reflecteren en discussiëren over hoe zij de uitrol van geothermie in de Kempen zien en hoe ze willen bijdragen om het transitieverhaal tot een ‘voordeel-voor-iedereen’ verhaal te maken.

Sociale transitie

Een belangrijk element in het opzetten van de transitieagora is de stakeholdermapping. Naast de economische en beleidsactoren werden relevante stakeholders in de domeinen milieu en ruimtelijke ordening bij het project betrokken. Bijzonder is de aandacht voor het aspect ruimtelijke ordening. Het belang van dit thema werd gevestigd door de koepel van de Vlaamse milieuorganisaties. Het geeft aan dat naast milieu- en natuurbeslag ook het ruimtelijke aspect een thema is waaraan aandacht moet besteed worden. Hiermee kreeg het onderzoek ‘Ruimtelijke Planning’ een duidelijk relevantiekader. Via het ondertekeningsevenement van de Burgemeestersconvenant op 21 maart 2014 inzake het klimaatbeleid werden de lokale besturen een eerste maal in kaart gebracht. Voka KvK Kempen zorgde voor de betrokkenheid van de lokale bedrijven.



Sferbeeld van de informatiedag voor buurtbewoners rond het geothermische project op de Balmatt-site in Mol.

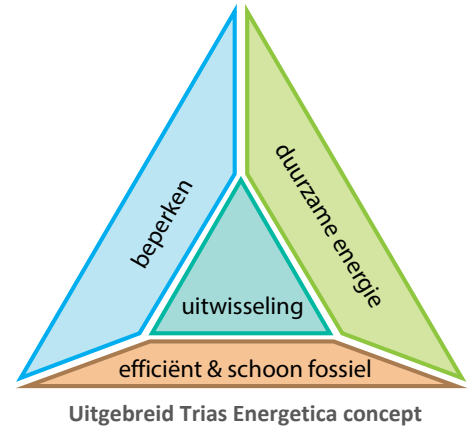
De verschillende stakeholders werden meermaals geïnformeerd en bevraagd over hun visie over diepe geothermie en de energietransitie in het algemeen. Sluitstuk van de oefening was een workshop rond de ruimtelijke inplanting van geothermie en warmtenetten. De workshop vond plaats op 13 februari 2014 bij IOK in Geel. Vertegenwoordigers van alle maatschappelijke geledingen werden uitgenodigd om hun mening te geven over de centrale vraag: *“Waar en onder welke condities kunnen geothermische centrales ingeplant worden in de Kempen?”*. De input was kritisch maar positief. Er werden aspecten aangedragen zoals het vrijwaren van open ruimte, een preferentiële inplanting op bedrijventerreinen en (milieu)veiligheid. De discussie bevestigde opnieuw het belang van een aangepast ruimtelijk beleid. De aandachtspunten en criteria die aangedragen werden tijdens de workshop werden meegenomen in de ruimtelijke analyse.

Betrokkenheid van bedrijven

Om de bedrijven actief te informeren over de mogelijkheden en kansen die diepe geothermie biedt voor de lokale economie organiseerde Voka KvK Kempen twee Lerende Netwerken. Het doel was dat lokale bedrijven kennis te laten maken met deze nieuwe energievorm, kennis en ervaringen uit te wisselen, nieuwe inzichten te ontwikkelen en de toekomstige

vraag naar warmte en elektriciteit in kaart brengen. Tijdens vier diepgravende sessies werden de deelnemers vertrouwd gemaakt met een uitgebreid Trias Energetica concept voor bedrijventerreinen. Aan de hand van praktijkvoorbeelden en groepsdiscussies leerden de bedrijven de voordelen van het concept kennen en hoe dit vertaald kan worden in lagere energiekosten, lagere gasemissies en een hogere energieleveringszekerheid.

In de 1^e sessie werd bekeken hoe Kempense bedrijven efficiënter en dus goedkoper kunnen omgaan met energie. De verschillende warmte- en koelingscomponenten werden onder de loep genomen waarbij ook aandacht werd besteed aan productie, distributie en verbruik. Daaraan werden de mogelijkheden om binnen een bedrijf energie te besparen en te hergebruiken gekoppeld.



Overschotten aan warmte en koude van het ene bedrijf kunnen gebruikt worden door één of meerdere buurbedrijven waardoor de netto behoefte aan primaire energie op het bedrijventerrein afneemt. Dit resulteert uiteraard in een daling van de bijhorende emissies. In de 2^e sessie werd aan de hand van concrete praktijkvoorbeelden onderzocht hoe energie-uitwisseling in de praktijk werkt en wat de voordelen er van zijn.

Duurzame energie vormt de sluitsteen van het uitgebreide Trias Energetica concept: in het ideale geval wordt de resterende energiebehoefte volledig ingevuld met hernieuwbare bronnen. Voor de Kempen is diepe geothermie een veelbelovende technologie om de onbalans in te vullen. In de 3^e sessie werd onderzocht hoe diepe geothermie kan ingezet worden om het jaar rond warmte, koude en elektriciteit te leveren aan bedrijven.

Warmtenetten en diepe geothermie zijn voor Vlaanderen vernieuwende technologieën. Hoe regel je de energie-uitwisseling? Wie beheert het warmtenet? Hoe kan geothermie op het netwerk aansluiten? Wat met de regelgeving? Het zijn maar enkele vragen van de 4^e sessie. In deze laatste sessie werden de organisatorische, juridische en regelgevende aspecten van een concreet project bekeken.

Op 4 mei 2015 bezocht een delegatie van een veertigtal Vlaamse politici, Captains of Industry en projectpartners onder leiding van Vlaams ministers Muylers en Turtelboom het diepe geothermieproject van Erdwärme Grünwald (EWG) in Laufzorn - Oberhaching, in de buurt van München. De bezochte centrale voorziet lokale gezinnen van warmte en elektriciteit. De deelnemers kregen een rondleiding zodat men kon kennismaken met de werking van het systeem. Eerder die dag werden ze verwelkomd in het gemeentehuis van Grünwald, waar de deelnemers enkele presentaties bijwoonden over diepe geothermie. De presentaties toonden aan wat diepe geothermie inhoudt en wat het kan betekenen voor de Kempen en Limburg. De CEO van Erdwärme Grünwald en de burgemeester van Grünwald legden aan de delegatie uit hoe zij het project met succes tot stand hebben gebracht en hoe ze er in slaagden om deze nieuwe, duurzame energiebron te integreren in de lokale gemeenschap.



Delegatie van de handelsmissie naar het diepe geothermieproject van Erdwärme Grünwald (DE).

De aanwezige ministers en bedrijfsleiders maakten tijdens deze dag kennis met de verschillende fases die horen bij de opbouw van een geothermie-installatie en de praktische implementatie van deze alternatieve energiebron in het dagelijkse leven. Dit bezoek slaagde in zijn opzet om de deelnemers te overtuigen van de bijzondere opportuniteiten van diepe geothermie voor zowel elektriciteits- als warmteproductie in de Kempen en Limburg.

Verankering in het beleid

Via het ondertekeningsevenement van het Burgemeestersconvenant op 21 maart 2014 inzake het klimaatbeleid werden de Kempense besturen voor de eerste maal geïnformeerd over de mogelijkheden van diepe geothermie. Het convenant vormt een belangrijke brugfunctie tussen de gemeenten, het project 'Diepe Geothermie' en het klimaatbeleid en zal het draagvlak voor een gerichte energietransitie zeker ten goede komen. Een jaar na de ondertekening zijn de 29 Kempense gemeenten er in geslaagd om een gemeentelijk klimaatactieplan op te maken en beleidsmatig te verankeren. Met dit plan

en de uitvoering ervan is er een structurele basis voor een energietransitietraject binnen de context van het specifieke geothermievotentieel in de Kempen.

Binnen de koepel van het streekproject Kempen2020 (Burgemeestersconvenant) werd in het voorjaar van 2014 in de 29 Kempense gemeenten een intern participatietraject opgezet in de aanloop naar de klimaatactieplannen en uitvoering van energie- en klimaatacties. Als eerste stap werd per gemeente een interdisciplinaire workshop georganiseerd, waarbij zowel ambtenaren als beleidsverantwoordelijken uitgenodigd werden. Om het transitietraject te verankeren over de beleidsdomeinen heen werd het doelpubliek opengetrokken naar verschillende diensten en bevoegdheden. In elk van de workshops werd diepe geothermie als thema aan de orde gebracht om de opportuniteiten en de vereiste inspanningen van lokale besturen in functie van een brede uitrol te bediscussiëren. De resultaten van de workshops werden gebundeld in verslagen en opnieuw voorgelegd aan de schepencolleges met het oog op vertaling naar klimaatactieplannen en uitvoering van acties. In de loop van het 2^e kwartaal van 2014 vond een terugkoppeling plaats van de resultaten van de eerste reeks workshops.



Kempense politici, burgemeesters, schepenen en vertegenwoordigers van Eandis en Infrac op bezoek in Taufkirchen (DE).

Op 20 en 21 augustus 2014 bezocht een delegatie van een dertigtal Kempense politici, burgemeesters, schepenen en vertegenwoordigers van Eandis en Infrac onder leiding van IOK enkele diepe geothermieprojecten in de buurt van München. Via een bezoek aan een geothermiecentrale in werking, enkele toepassingen van het warmtegebruik en een centrale in opbouw, maakten de deelnemers kennis met de verschillende stadia om een geothermiecentrale op te richten, van boortoren, installatie in opbouw tot een installatie in werking en warmtetoepassingen. Dit bezoek slaagde in zijn opzet om de deelnemers te overtuigen van de bijzondere mogelijkheden van diepe geothermie voor zowel elektriciteits- als warmteproductie in de Kempen.

Strategische reflectiemomenten

Een maatschappelijk draagvlak creëren betekent ook het voeren van een open debat over de mogelijke knelpunten waarmee men geconfronteerd kan worden bij de uitrol van geothermie. De knelpunten werden themagewijs voorgelegd aan een strategische reflectiegroep. In eerste instantie identificeerden de projectpartners voor elk thema de relevante stakeholders. Met deze stakeholders vonden gesprekken plaats over hun mogelijke rol en bijdrage aan de reflectiegroep.

Het eerste thema dat werd voorgelegd is: *“Warmtenetten”*. De bouw van warmtenetten is een noodzakelijke voorwaarde voor de grootschalige uitrol van geothermie in de Kempen. De knelpunten die met de bouw van warmtenetten in Vlaanderen gepaard gaan werden op 23 september 2014 voorgelegd aan de strategische reflectiegroep. Vragen die aan bod kwamen waren onder meer: wie zal de bouw van die warmtenetten op zich nemen? Wat is de relatie met het bestaande gasnetwerk? Wat met de prijszetting? In hoeverre speelt de vrije markt? Is controle door de overheid gewenst of nodig, en zo ja welke?

De tweede bijeenkomst van de strategische reflectiegroep (28/10/2014 in Mol) focuste op het business concept van diepe geothermie in de Kempen. De basis voor de discussie was het businessplan van het Balmatt-project. Daarna werd er gediscussieerd over de technische aspecten en mogelijke structuren voor de financiering van diepe geothermieprojecten. Deze discussie vormt de basis voor verder onderzoek en maatschappelijk debat.

De strategische reflectiegroep kwam een derde keer bijeen op 3 november 2014 in Geel. Thema van het debat was: *“Diepe Geothermie & warmtenetten: welke mogelijkheden biedt dit voor de ondernemingswereld”*. Eerst presenteerden Geert De Meyer (VITO) en Hartwin Leen (Janssen Pharmaceutica) hun diepe-geothermie-project: historiek, actuele status en toekomstverwachting. Daarna volgde een brainstorm over de haalbaarheid van diepe geothermie en warmtenetten, waarbij technische, financiële en wettelijke issues op tafel kwamen. Ook bleek dat sommige deelnemende bedrijven al actief zijn op het vlak van diepe geothermie, als producent of leverancier.

De laatste bijeenkomst van de strategische reflectiegroep vond plaats op 29 juni 2015 bij IOK in Geel. Opzet van de bijeenkomst was de Kempense parlementsleden te informeren over de stand van zaken van de projecten in Mol (Balmatt) en Beerse (Janssen Pharmaceutica). Er werd aandacht besteed aan de rol die de politiek kan spelen om de uitrol van geothermie te faciliteren. Aspecten die besproken werden waren het vergunningenbeleid, financiële ondersteuning al dan niet vanuit de maatschappelijke baten, beperking van de investeringsrisico's en ruimtelijke ordening.

Doelstelling 2: Technologische uitdagingen

Geologische randvoorwaarden en exploratienoden

In het verleden werden in de Kempen 3.164 km 2D seismiek, twee 3D seismische campagnes en 232 diepboringen uitgevoerd. Het grootste deel van deze data werd verworven in het kader van steenkoolexploratie, de verkenning van delen van de Kempen met het oog op gas- en zoutwinning, en de ontwikkeling van de ondergrondse gasopslag in Loenhout. Grote delen van de Kempen die buiten de targetgebieden voor deze toepassingen lagen en bij uitbreiding alle lagen dieper dan 2.000 m zijn tot op heden niet of nauwelijks verkend.

Een constante waar veel projecten tegen aan lopen is de beperkte kennis van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Zeker voor toepassingen op een diepte van 2.000 m of meer zijn de beschikbare gegevens schaars en vaak ontoereikend. In bepaalde gebieden zoals het uiterste noordoosten van de provincie Limburg of de regio ten noorden van Turnhout ontbreekt de data zelfs bijna volledig.

De meest kostenefficiënte manier om zicht te krijgen op de opbouw van de diepe ondergrond van de Kempen is door middel van seismiek. De techniek is gebaseerd op de weerkaatsing van trillingen op contactvlakken tussen lagen met een verschillende dichtheid. De trilling worden opgewekt met een bron zoals een zware hamer, trilwagens of dynamiet. Vervolgens wordt de tijd gemeten die de trillingen nodig hebben om terug naar de oppervlakte te komen. Op basis van de registratietijd van de verschillende reflectiegolven en aannames omtrent de voortplantingssnelheid van de trillingen kan een beeld van de ondergrond gereconstrueerd worden.

Op basis van de inventaris van de bestaande gegevens werd een plan voor de exploratie van de diepe ondergrond van de Kempen via 2D seismiek opgesteld. In totaal werden 5 2D seismische campagnes met een gezamenlijke lengte van 690 km uitgetekend. De eerste 4 campagnes focussen op het uiterste noorden van de provincie Antwerpen en op het noorden en oosten van de provincie Limburg. Ze situeren zich in de regio's Bocholt - Peer, Kasterlee - Arendonk, Essen - Brecht, Nijlen - Geel en het gebied tussen Laakdal en Zonhoven. De kosten voor de veldmetingen worden op 6,65 miljoen euro geraamd.

Overzicht van het budget voor het veldwerk en het processen van de nieuwe seismische gegevens.

<i>Timing</i>	<i>Campagnes</i>	<i>km</i>	<i>Dagen</i>	<i>Acquisitie</i>	<i>Permitting</i>	<i>Vorbereiding & Oprovolging</i>	<i>Totaal</i>
2015/Q3	2D EB 2015 & 2D KA 2015	245	67	€ 2.079.075	€ 187.425	€ 77.121	€ 2.343.621
2016/Q2	2D BP 2016 & 2D NG 2016	255	69	€ 2.180.975	€ 195.075	€ 83.379	€ 2.459.429
2016/Q3	2D EDGE 2016	190	48	€ 1.632.650	€ 145.350	€ 64.040	€ 1.842.040
Totaal		690	184	€ 5.892.700	€ 527.850	€ 224.540	€ 6.645.090

Bij het lokaliseren van de trajecten voor de seismische lijnen werd in de mate van het mogelijke gestreefd naar een goede toegankelijkheid van de locaties en efficiënte uitvoering (maximaal gebruik van openbare wegen en publiek domein, toegankelijk terrein, minimale impact naar gebouwen). Met de nieuwe seismische data wordt een gebiedsdekkende dataset voor de diepe ondergrond van Vlaanderen opgesteld.

De nieuwe data dienen vervolgens geïnterpreteerd en doorvertaald te worden naar een logisch geologisch model. Dit model zal een belangrijk element zijn om toepassingen in de diepe ondergrond snel en efficiënt te screenen op hun haalbaarheid. Samen met de nieuwe seismiek zal het 3D model het beslissingstraject voor de nieuwe toepassingen versnellen. Het 3D model kan verspreid worden via de Databank Ondergrond Vlaanderen ¹³.

Technologische uitdagingen op het vlak van diepboringen

Een essentieel onderdeel van een geothermisch project is het uitvoeren van boringen van meerdere kilometers diep. De kosten hiervoor lopen in de miljoenen euro's. Voor geothermische projecten, en zeker voor EGS-projecten, maken de boorkosten een groot deel uit van de totale kost. Ze kunnen oplopen tot meer dan 50% van de totale projectkost ¹⁴, soms zelf tot 80% ¹⁵. Deze hoge kosten zijn vaak een "show-stopper" voor het opstarten van een project.

De kosten voor het boren liggen zo hoog omdat er geboord wordt naar grote diepte, in een omgeving waar een hoge temperatuur heerst, en waar meestal harde gesteenten aangetroffen worden. Harde gesteenten worden gekenmerkt door een hoge druksterkte en ze zijn erg abrasief. Dit resulteert doorgaans in een lage boorsnelheid. Bovendien kan er slechts een korte sectie met eenzelfde boorkop (bit) geboord worden alvorens deze aan vervanging toe is. Het boren in harde gesteenten gaat vaak gepaard met hoge vibraties, en er stellen zich meer problemen naar de stabiliteit van het boorgat en de controle over de boorricting.

De boorkosten lopen exponentieel op met toenemende diepte, zowel in de olie & gas industrie als voor geothermie. Toch liggen de kosten voor het boren van geothermische putten doorgaans nog hoger. Hiervoor worden diverse redenen aangehaald:

- Geothermische putten zijn vaak dieper dan olie- & gasputten;
- Ze worden geboord in harde formaties, die meestal niet in aanmerking komen als olie- of gasreservoir;

¹³ <https://dov.vlaanderen.be>

¹⁴ Randeberg E., Ford E., Nygaard G., Eriksson M., Gressgard L.J. & Hansen K., 2012. Potentials for cost reduction for geothermal well construction in view of various drilling technologies and automation opportunities. Proceedings Thirty-Sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, California

¹⁵ Eriksson M. & Bø Ø.L., 2012. NEXT-Drill Numerical/Experimental Technologies for cost effective hard rock Drilling. Hard Rock Drilling Workshop 2012, Stavanger

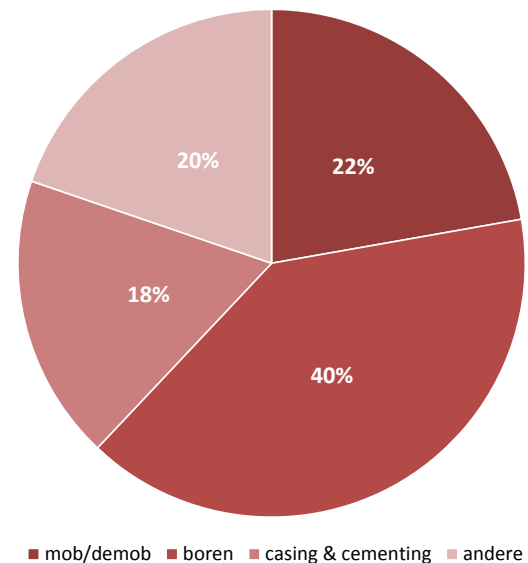
- De omgevingstemperatuur ligt hoger;
- De productie casing (en de put) heeft een grotere diameter;
- Ze geboord worden in een complexere ondergrond;
- Lokale reglementeringen.

Een bijkomend feit is dat het volledige boorproces geoptimaliseerd is voor de olie- & gasindustrie. Dezelfde optimalisatie is nodig voor het boren van geothermische putten om eenzelfde state-of-the-art te bereiken en kosten te drukken¹⁶. Die verlaging van kosten is van belang om geothermische projecten economisch interessanter te maken.

Verdeling van kosten en besparingsmogelijkheden

Teodoriu & Cheuffa¹⁶ vermelden dat in de olie- en gasindustrie ongeveer 50% van de tijd gaat naar het boren van het gat zelf. Trips nemen zo'n 25% van de tijd in beslag, en de laatste 25% van de tijd wordt gespendeerd aan het plaatsen van de casing en het cementeren. Volgens andere inschattingen wordt zelfs maar 30 - 40% van de tijd gespendeerd aan het effectief boren. De rest van de tijd gaat naar het opstellen en afbreken van de boortoren, het installeren en cementeren van de casing en het oplossen van allerlei problemen. Voor geothermische putten is de verdeling gelijkaardig.

Deze tijdsverdeling betekent dat er voor het terugdringen van de boorkosten niet enkel gekeken moet worden naar het boren zelf. Het geheel van de boring, dus ook alle processen en technologie daar rond moet geoptimaliseerd worden, zeker indien een verlaging met een factor 2 beoogd wordt. Over het algemeen lijkt het potentieel van kostenreductie door verbetering van de huidige technieken beperkt. Vroeg of laat moeten er nieuwe technologieën of principes komen die het proces helemaal veranderen en verbeteren: nieuwe boormethodes, nieuwe boortechnologieën, nieuwe boorinstallaties of een combinatie daarvan. Ook automatisering zou kunnen leiden tot merkelijk lager boorkosten.



Tijdsverdeling bij het boren en testen van een geothermische put naar 3.500 m diepte.

¹⁶ Teodoriu C. & Cheuffa C., 2011. A comprehensive review of past and present drilling methods with application to deep geothermal environment. Proceedings Thirty-Sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, California.

Bij het bepalen van mogelijke kostenreducties moeten we onderscheid maken tussen boormethodes of -technieken en het volledige boorproces. Een boormethode of boortechniek wordt gedefinieerd als het proces waarmee het gesteente afgebroken wordt en waarna het verpulverde gesteente, cuttings genaamd, naar het oppervlak worden getransporteerd. Het boorproces omvat alle aspecten die met het boren van de put gepaard gaan.

Verbetering van conventionele boormethodes

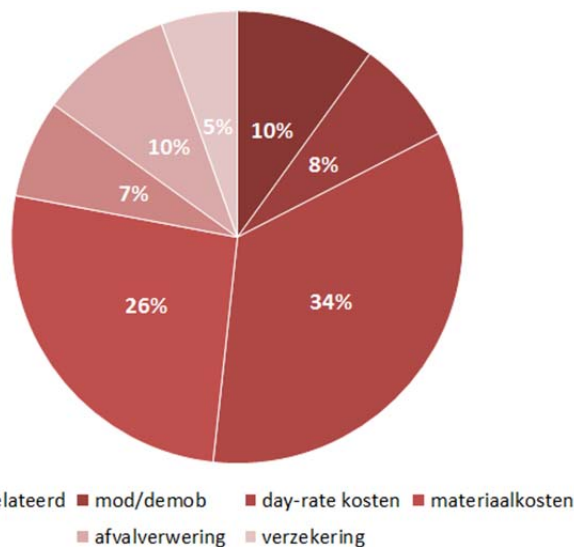
Een eerste mogelijkheid om het geheel van het boren (het construeren van een put) efficiënter, sneller en goedkoper te maken is het verbeteren van de bestaande boortechnieken. Er zijn verbeteringen mogelijk op 2 vlakken. Ten eerste kan het boren zelf efficiënter of sneller gemaakt worden. Over het algemeen geldt hoe korter de boortijd, hoe lager de kosten. Het verhogen van de efficiëntie kan ook een invloed hebben op de energie die er voor het boren nodig is. Een verbetering hiervan zou de energiekost kunnen beperken. Anderzijds kan door het beperken van de slijtage van het materieel vermeden worden dat trips moeten gedaan worden voor vervanging van bijvoorbeeld de boorkop. Ook dit spaart tijd, en dus kosten. Minder slijtage betekent natuurlijk ook dat het materieel langer in goede staat kan gebruikt worden, waardoor het materiaalverbruik daalt en er sneller geboord kan worden.

Belangrijk voor het boren in hardere gesteenten is het gebruik van een geschikte boorkop. Het probleem is niet enkel dat er door harde gesteenten moet geboord worden, maar wel dat er een afwisseling is van harde en zachtere gesteenten. De keuze voor de boorkop is dus niet altijd optimaal. Er moet vaak een compromis gevonden worden om de hele sectie bij voorkeur in één run te boren.

Niet-conventionele boormethodes

De kosten voor geothermische boringen zouden ook verlaagd kunnen worden door nieuwe boortechnieken toe te passen. Technieken die momenteel onderzocht of ontwikkeld worden zijn:

Percussie- of hamerboren: Bij het hamerboren wordt de boorkop loodrecht op het aan te boren gesteente bewogen en met kracht in het gesteenteoppervlak geduwd. De hamer kan zowel met lucht als met boormodder gecombineerd worden. De techniek is reeds gebruikelijk in de mijnindustrie. Ze zou boorsnelheden tot 30 m/h in hard gesteente toelaten.



Verdeling van de kosten voor het boren en testen van een geothermische put naar 3.500 m diepte.

Laserboren: Met een laser kan het gesteente opgewarmd (absorptie van de energie) en gebroken worden. Dit gaat efficiënter voor sommige gesteenten, bijvoorbeeld in het geval dat de thermische geleidbaarheid of de reflectiviteit laag is. Resultaten in het labo zijn veelbelovend, maar er zijn nog veel uitdagingen alvorens deze techniek kan toegepast worden op grote diepte.

Spallatieboren: Het thermisch spallatieproces bestaat uit het fragmenteren van het gesteente in kleine schilfers door middel van het zeer snel en plots opwarmen van een beperkt volume gesteente. De techniek biedt potentieel voor gebruik in diepe putten en hard gesteente, maar er zijn nog tal van uitdagingen om dit ook in de praktijk om te zetten in een boring

Plasmaboren: Het Slovaakse bedrijf Geothermal Anywhere (tegenwoordig GA Drilling) ontwikkelt een systeem van boren met plasma, PLASMABITTM¹⁷. Aan de hand van een elektrisch plasma wordt een intense warmteflux gecreëerd in het gesteente. Hierdoor gaat het gesteente sterk verhitten en ondergaat het een faseverandering. Vervolgens wordt het gesteente plots sterk afgekoeld door de injectie van water. Door de snelle afkoeling gaat het gesteente fragmenteren (98% van de deeltjes kleiner dan 1 mm). Deze deeltjes (in feite de cuttings) worden vanaf de bodem van het gat naar het oppervlak getransporteerd door water. GA Drilling claimt dat het boren met plasma 5 maal goedkoper is dan de huidige boormethodes, en dat het ook 4 maal sneller gaat. Bovendien zou onderaan een 3 maal grotere diameter van het boorgat kunnen bereikt worden.

Elektropulsboren: Bij het elektropulsboren wordt gebruik gemaakt van een electrodenpaar om met elektrische pulsen (1 - 500 kV) het gesteente te breken. De techniek is zowel in het laboratorium als in het veld getest. De resultaten zijn veelbelovend: een hoge boorsnelheid en grote cuttings. De technologie lijkt vooral geschikt voor het doorboren van een hard, compact gesteente. In dergelijke gesteenten ligt de boorsnelheid tot 10 keer hoger en de energie nodig om het gesteente te breken tot 2 keer lager dan met conventionele boortechnieken.

Jetboren: Waterstralen worden al lang gebruikt voor schoonmaken van oppervlakken en snijden. Ze kunnen ook gebruikt worden voor boren door erosie of abrasie. De boorsnelheid zou tot 100 maal hoger kunnen liggen, maar dit is nog enkel getest in ondiepe omstandigheden. De toepassing zou beperkingen hebben bij gebruik op grote diepte (onder hoge druk).

Automatisering en nieuwe boorprocessen

Geautomatiseerde processen en procedures bij het boren zouden tot een aanzienlijke kostenbesparing kunnen leiden. Zo kunnen er systemen ingevoerd worden om alle booroperaties te monitoren. Een continue monitoring laat toe op elk moment te berekenen hoe de put zich gedraagt en hoe de boring zal evolueren. Vanaf het moment dat er afwijkingen zijn tussen de verwachte en de gemeten waarden, kan het personeel ingelicht worden, zodat ze tijdig in actie kunnen schieten

¹⁷ <http://www.gadrilling.com>

en problemen die anders tot onderbrekingen of schade zouden leiden, vermeden kunnen worden. De verschillende systemen kunnen geïntegreerd worden in een gecoördineerd controlesysteem. De boormeester definieert de sequentie en limieten, maar het gecoördineerd controlesysteem bestuurt de verschillende onderdelen (zoals pompen, top drive, afsluiters), en optimaliseert de werking van ieder onderdeel op zich.

Naast automatisering worden er ook nieuwe boorprocessen ontwikkeld. Een voorbeeld hiervan is **coiled tubing drilling**. De techniek wordt reeds vanaf de jaren 1990 toegepast, maar kent pas de laatste jaren een sterke ontwikkeling. Coiled tubing drilling maakt gebruik van een downhole motor aangedreven door de boorspoeling. Hierbij ligt de rotatiesnelheid hoger en rust er minder gewicht op de boorkop dan bij conventioneel boren. De techniek heeft zijn nut zeker al bewezen wanneer putten met kleine diameter moeten geboord worden, of bij het boren van sidetracks.

Een andere ontwikkeling is **casing drilling**. De techniek werd geïntroduceerd in het begin van het millennium. Ze maakt gebruik van zowel componenten in het boorgat als aan het oppervlak zodat standaard casing kan gebruikt worden in de plaats van boorstangen. De casing wordt geplaatst in de put terwijl die geboord wordt. Casing drilling biedt tijdswinst, verhoogt de veiligheid, de controle en verhoogt de stabiliteit van het boorgat en vermindert spoelingsverliezen.

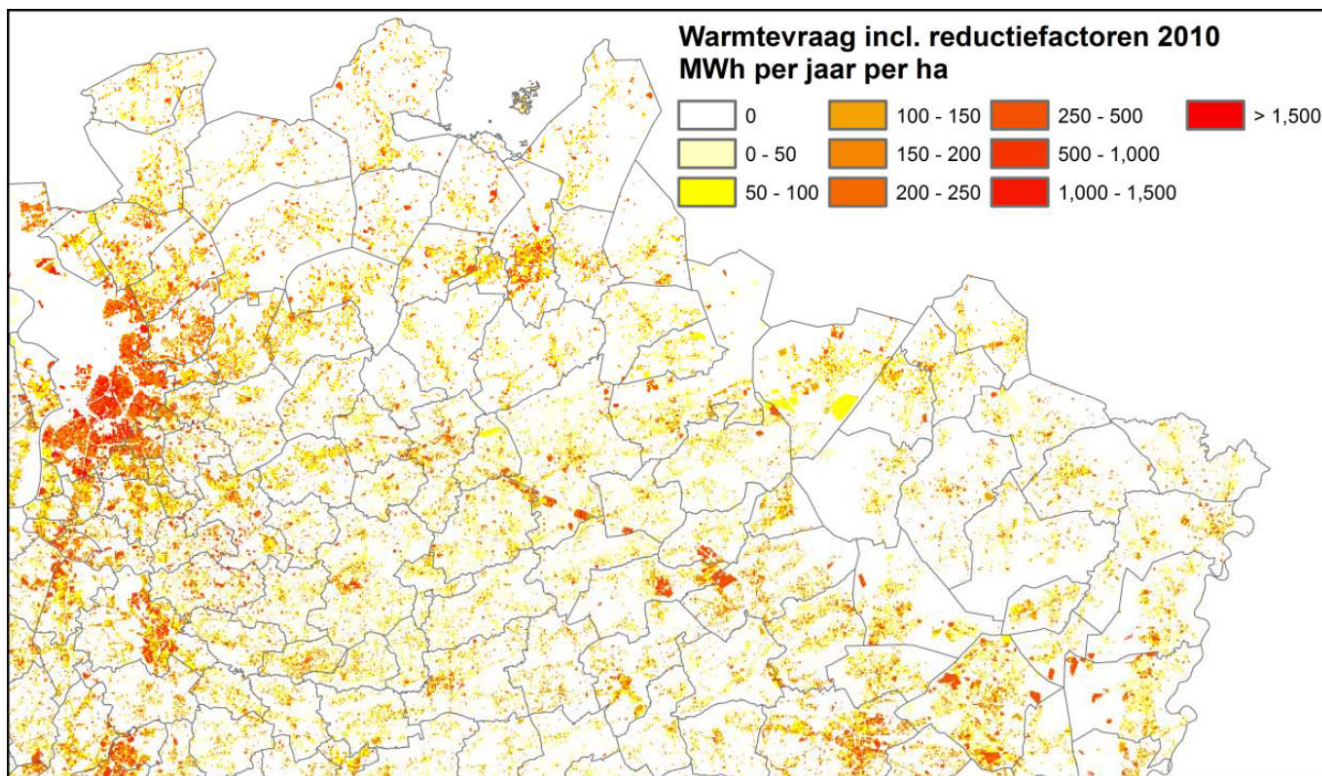
Warmtevraag en ruimtelijke analyse

De uitrol van geothermie is een ruimtelijk gegeven dat enerzijds gedictieerd wordt door de toestand van de ondergrond en anderzijds interfereert met het lokale landgebruik. Geologisch potentieel en afzet van warmte en in mindere mate elektriciteit moeten op elkaar afgestemd zijn om een project rendabel te maken. De vraag is in welke mate aanbod en vraag in de Kempen op elkaar afgestemd zijn. Om die vraag te beantwoorden ontwikkelde VITO een ruimtelijk optimalisatie model voor diepe geothermie. Het model laat ook toe om de impact van bijvoorbeeld het ruimtelijke beleid of keuzes op het vlak van gebouwisolatie op de ontwikkeling van diepe geothermie door te rekenen.

De eerste stap in het opstellen van het ruimtelijke optimalisatiemodel bestaat uit het verzamelen van alle relevante data betreffende de activiteiten (industrie, diensten, commercie, landbouw, wonen, recreatie, natuur, ...) die de Kempen typeren. Deze gegevens vormen de onderlagen voor de ruimtelijk optimalisatie. Het model zoekt vervolgens naar optimale locaties voor geothermische centrales rekening houdende met de geologische, fysische en ecologische randvoorwaarden, de aanwezige sociale en economische activiteiten, en het vigerende beleid. De randvoorwaarden werden besproken met een brede groep stakeholders. Dit participatieve proces hielp bij de totstandkoming van maatschappelijke consensus omtrent de inplanting van geothermische centrales in de Kempen. Het ruimtelijke optimalisatiemodel werd zo generiek mogelijk ontwikkeld zodat het overdraagbaar is naar andere regio's.

Opbouw van het model en ruimtelijke criteria

Het optimalisatiemodel bouwt voort op het RuimteModel Vlaanderen. Het model start met een set van invoerkaarten en (ruimtelijke) criteria. De kaartenset omvat het geologische potentieel, het landgebruik en de warmtevraag, de kosten, de



Warmtevraag per jaar onder de 100°C die 60% van de tijd wordt gevraagd (1 ha resolutie, MWh per jaar). Grijs lijnen tonen de gemeentegrenzen. De warmtevraag werd berekend op basis van het landgebruik in 2010.

Op basis van de gegevens en ruimtelijke criteria berekent het model voor elke locatie de totale kosten en de mogelijke opbrengst van een geothermiecentrale. Na een iteratie over alle locaties wordt de meest winstgevende centrale geplaatst. Vervolgens worden de invoerkaarten aangepast voor de aanwezigheid van deze centrale, waarna een tweede iteratie worden gestart om een tweede geothermiecentrale te plaatsen. Dit proces herhaalt zich zolang er winstgevende locaties beschikbaar zijn.

Van landgebruik naar warmtevraag

De omvang van de lokale warmtevraag bepaalt in sterke mate de haalbaarheid van diepe geothermie, ook in gebieden waar elektriciteitsproductie mogelijk is. Een kaart van de warmtevraag is dan ook een essentieel invoergegeven voor het model. Bij aanvang van het project was die kaart niet beschikbaar.

Startpunt voor het berekenen van de warmtevraag waren de huidige en toekomstige landgebruikskaarten voor Vlaanderen. Landgebruikskaarten voor de toekomst werden gesimuleerd aan de hand het RuimteModel Vlaanderen. Voor het berekenen van toekomstscenario's vertrekt het RuimteModel Vlaanderen van het principe dat toekomstig landgebruik afgeleid kan worden uit het bestaande landgebruik door rekening te houden met lokale, regionale en globale interacties, evenals randvoorwaarden die opgelegd worden door het fysieke milieu, het beleid en de ontsluiting door verkeersinfrastructuur. Een belangrijk element in de toekomstscenario's is de verwachte demografische ontwikkeling.

Via een dasymetrische kartering werd de totale warmtevraag per sector omgezet in warmtevraagkaarten. Hierbij werd de warmtevraag via 2 factoren gereduceerd:

- Ten eerste kan geothermie slechts het aandeel van de warmtevraag invullen bij lagere temperaturen. De drempel wordt bepaald door de temperatuur van het opgepompte water.
- Ten tweede wordt een geothermische centrale niet gedimensioneerd om de piekvraag in te vullen.

Beide factoren zijn uiteraard gebonden aan de toepassing: zware industrie heeft bijvoorbeeld een relatief constante warmtevraag, terwijl de residentiële vraag sterk fluctueert doorheen het jaar. De warmtevraag wordt zo per hectare bepaald en omgezet in vraagclusters. Dit geeft een duidelijke visuele weergave van locaties met een aanzienlijk warmtevraag in de omgeving.

Op basis van het geothermisch potentieel en de warmtevraag worden geschikte locaties gevonden door naar de gecombineerde geschiktheid (S) te kijken die berekend wordt aan de hand van de volgende formule

$$S = P^{w_1} \times V^{w_2}$$

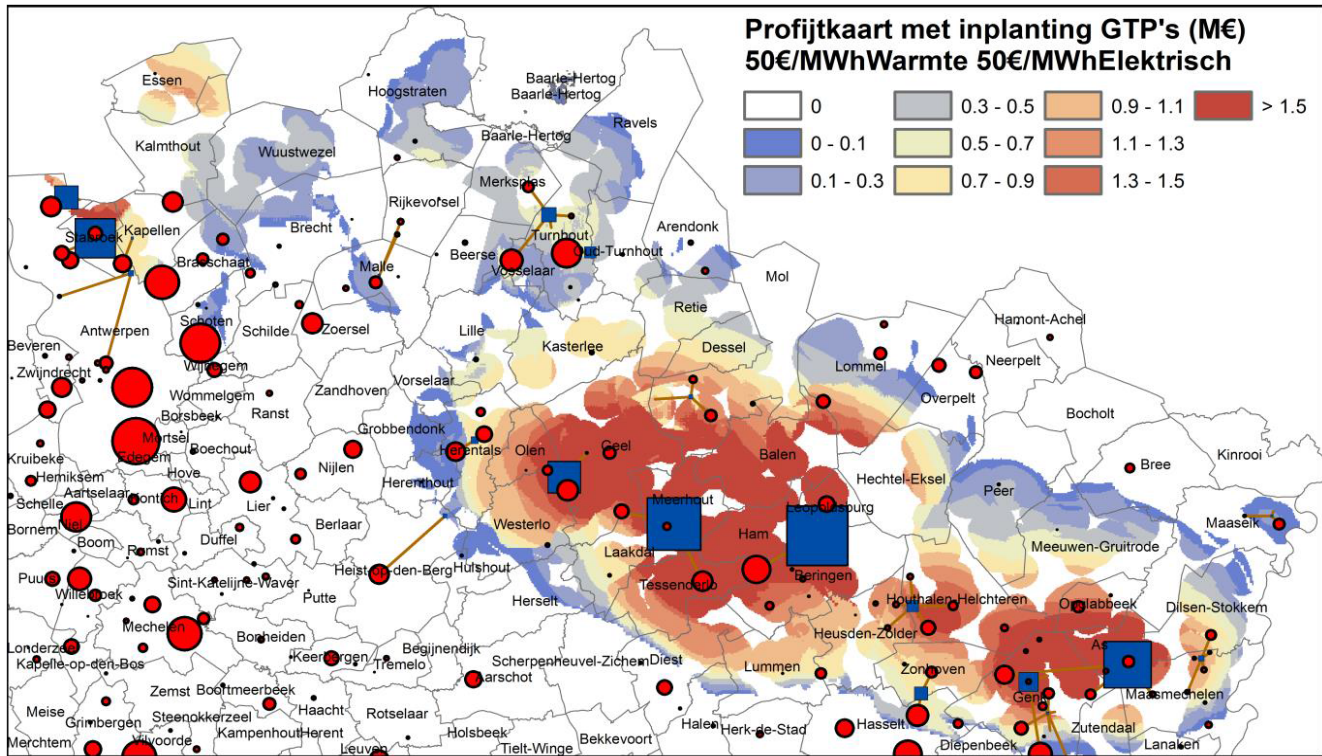
Met P de genormaliseerde potentie in MW en V de genormaliseerde warmtevraag in MWh per jaar. De machten w_1 en w_2 zijn parameters afkomstig van de optimiser. Ze zijn afhankelijk van het aantal te plaatsen geothermiecentrales.

Resultaten van de ruimtelijke inplantingsanalyse

Het ontwikkelde model is ingezet om locaties voor geothermische installaties te selecteren op basis van de huidige warmtevraag en omgevingscondities. In functie van het vooropgestelde scenario vindt het model verschillende locaties voor winstgevende geothermische warmte- en co-generatiecentrales. Vanaf een prijsniveau van € 57 per MWh voor elektriciteit worden er rendabele locaties gevonden met exclusief elektriciteitsproductie. Voor 4 verschillende prijsniveaus voor warmte en elektriciteit zijn geothermische centrales optimaal geplaatst. De profijtkaarten die hierbij zijn opgesteld brengen de zones in beeld waar de meest voordelige locaties zich bevinden.

De volledige resultaten zijn na te lezen in VITO-rapport RMA/1410166/2015-0001¹⁸.

¹⁸S. Vranckx, M. Van der Meulen, L. Poelmans, I. Uljee, G. Engelen, D. Lagrou & B. Laenen, 2015. Eindrapport EFRO-project GEOTHERMIE 2020: Ruimtelijke Inplantingsanalyse. VITO-rapport RMA/1410166/2015-0001.



Profijtk kaart 2010 voor € 50€ MWh warmte (inclusief warmtenet) en € 50 per MWh elektriciteit.

De rol van ontwerp onderzoek

Aanvullend op de ruimtelijke inplantingsanalyse werd de in mei 2014 aangekondigde samenwerking tussen VITO en de Vlaams Bouwmeester in het kader van het onderzoekstraject 'Atelier Diepe Geothermie' opgestart. De startvergadering van het atelier vond plaats op 22 oktober 2014 in Brussel. De keuze voor het inzetten van geothermiecentrales in Vlaanderen wordt bepaald door de potentie aanwezig in de ondergrond, maar hangt ook in grote mate samen met de ruimtelijke constellatie van functies bovengronds. Door middel van ontwerp onderzoek zal het atelier nagaan hoe de wisselwerking tussen diepe geothermie en landschap mee bepalend kan zijn voor de energietransitie en voor de ontwikkeling van een kwalitatieve en duurzame leefomgeving. Het ontwerp onderzoek voegt daarmee een belangrijk element toe om de mogelijkheden van diepe geothermie zichtbaar te maken voor de verschillende stakeholders.¹⁹

¹⁹ <http://www.vlaamsbouwmeester.be/nl/ontwerp-onderzoek/labo-ruimte/atelier-diepe-geothermie>

Inkoppelmogelijkheden van geothermische co-generatiecentrales

De geproduceerde elektriciteit die niet direct kan gebruikt worden, moet op het net gezet worden. In het kader van het EFRO-project 910 onderzochten we of dat technisch mogelijk is zonder aanpassingen van het huidige elektriciteitsnetwerk. Hierbij focusten we ons in eerste instantie op de locaties van de gevalstudies: Balmatt – Mol en Janssen – Beerse. Daarnaast werden ook de inkoppelingsmogelijkheden voor locaties die uit de ruimtelijke inplantingsanalyse kwamen, onderzocht.

Een tweede aspect dat we in het kader van het EFRO-project onderzochten is de redundantie van het hele systeem op het ogenblik dat er verschillende centrales in een netwerk worden geschakeld. De resultaten van de studie zijn na te lezen in VITO-rapport ETE/1410166/2015-0001.

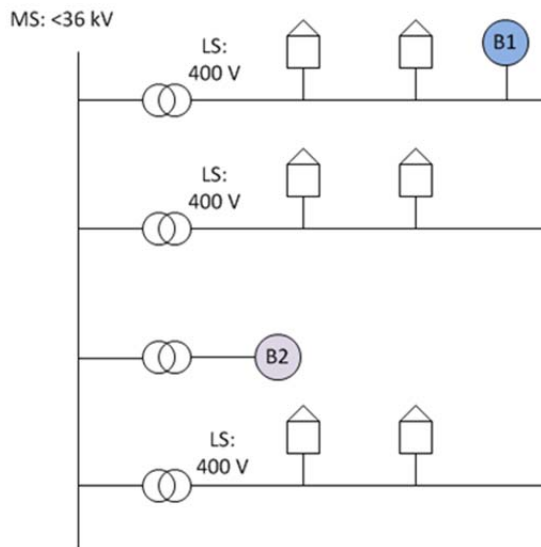
Inkoppelingsmogelijkheden

Elektriciteitsproductie met behulp van geothermische warmte wordt al decennia lang toegepast op diverse locaties in de wereld. Ook in België is er een interessant potentieel voor de toepassing van geothermische elektriciteitsproductie via binaire geothermische energiecentrales. Door het **combineren van elektriciteitsproductie met warmtelevering** kan van de voordelen van beide genoten worden. Elektriciteitsproductie zal ervoor zorgen dat al de geothermische energie steeds nuttig gebruikt kan worden. Warmtelevering zal zorgen voor een lokale verankering en een potentiële verhoging van de opbrengsten die gegenereerd kunnen worden.

De beperkingen naar inkoppelingsmogelijkheden worden voornamelijk bepaald door het geïnstalleerd vermogen en het elektriciteitsproductieprofiel. In principe maakt het niet uit via welke methode deze elektriciteit geproduceerd wordt. De studie *“Onthaalcapaciteit decentrale productie in Vlaanderen”* kan gebruikt worden om te bepalen welke de voornaamste obstakels zijn voor integratie van decentrale elektriciteitsproductie²⁰:

- **Aansluitbaarheid:** in eerste instantie moet onderzocht worden hoe een aansluiting op het net (distributienet, plaatselijk vervoernet of transmissienet) mogelijk is.
- **Transformatiecapaciteit van het distributienet naar het Elia-net:** wanneer zoveel productie-installaties aangesloten zijn op het distributienet dat de decentrale energieproductie de lokale nood voor consumptie overstijgt, moet deze elektriciteit afgevoerd worden naar andere locaties. Hiervoor moet de nodige transformatiecapaciteit beschikbaar zijn.
- **Capaciteit van het plaatselijk vervoernet of transmissienet:** om het overschot aan elektriciteitsproductie effectief naar een andere locatie te kunnen vervoeren moet het net tussen deze twee locaties over de nodige capaciteit beschikken (en voldoen aan enkele andere vereisten voor een veilig en betrouwbaar beheer van het net).

²⁰ VITO, Eandis, Infrac & Elia, 2012. Onthaalcapaciteit decentrale productie in Vlaanderen. 2011 – 2020.



De figuur hiernaast toont de verschillende manieren van aansluiting op het distributienet. B1 is een decentrale productiebron met een vermogen kleiner dan 250 kVA. Deze bron zal normaliter gekoppeld worden aan het laagspanningsnet indien de kabel over voldoende capaciteit beschikt. Indien de lokale productie de consumptie overstijgt zal het overschot aan elektriciteit via een middenspanning-/laagspanningstransformator op het middenspanningsnet gezet worden. B2 is een decentrale productiebron met een vermogen tussen 250 kVA en 15 MVA (cf. ORC's). Dit vermogen is te groot om te injecteren in het laagspanningsnet en deze bron wordt bijgevolg (al dan niet via een transformator) rechtstreeks op het middenspanningsnet gekoppeld.

Om een toelating tot parallelwerking op het openbaar distributienet te bekommen, moet een aanvraag worden gedaan bij de distributienetbeheerder. Op basis van het aansluitvermogen wordt het spanningsniveau bepaald waarop de installatie gekoppeld kan worden aan het elektriciteitsnet. Gezien het thermisch vermogen van de geothermische bronnen en de rendementen voor de elektriciteitsproductie zullen geothermiecentrales in de meeste gevallen een aansluitvermogen hebben tussen 250 kVA en 15 MVA. Ze zullen bijgevolg ingekoppeld worden op middenspanning (> 1 kV en < 36 kV).

De aansluiting van een netgebruiker gebeurt afhankelijk van het vermogen via één of meerdere aansluitingsvelden en aansluitingskabels. Gezien de aansluitingskabels meestal de grootste kost van de aansluiting vormen is nabijheid vaak het doorslaggevend criterium voor de keuze van de locatie van het onderstation. Bij een keuzemogelijkheid tussen aansluitspanningen worden de lagere verlieskosten en mogelijk het minder aantal kabels bij hogere spanning afgewogen tegen de duurdere installatiekosten. Alle elektriciteitsproductie van decentrale productie-eenheden die niet in de distributienetten lokaal wordt verbruikt, moet via de transformatoren in de koppelpunten tussen het distributienet en het Elia-net naar het plaatselijk vervoernet of transmissienet van Elia worden vervoerd. Deze transformatoren en de netten moeten daartoe over voldoende capaciteit beschikken. Elia onderzoekt dit effect aan de hand van loadflowanalyses.

De knelpuntzones voor aansluiting van decentrale productie en mogelijk nieuwe knelpuntzones worden op regelmatige basis gepubliceerd op de site van de VREG. In het vorig rapport werd de regio Noorderkempen als mogelijke knelpuntzone aangeduid. Dit kan zijn weerslag hebben op de aansluiting van geothermische co-generatiecentrales in het gebied. Een mogelijk nieuwe knelpuntzone is de TS Ravels.

Systeemdiensten

Een van de absolute noodzaken is het beheer van het **evenwicht tussen verbruik en productie**. De introductie van een groot aantal nieuwe decentrale productie-eenheden heeft een belangrijke impact op dit beheer. Bij de massale verhoging van het aandeel decentrale productie in het Belgische regelsysteem, zullen deze eenheden moeten deelnemen aan een zekere 'flexibiliteit' tot af- en opregelen. In geval van grote productie- of vraagafwijkingen die de regelmogelijkheden van de klassieke eenheden overstijgen zullen de decentrale eenheden in staat moeten zijn om systeemdiensten te leveren.

De inzet van geothermische centrales voor **primaire frequentieregeling** is technisch zeker haalbaar. De turbine en synchrone generator die veelal in deze installaties worden gebruikt zijn uitermate geschikt om het vermogen aan te passen aan de frequentie, zowel wat betreft het op- als afregelen van het vermogen. Dit staat in fel contrast met wind en fotonvoltaïsche centrales (PV) die niet geschikt zijn om opregelvermogen te leveren tenzij men deze constant 'curtailed' om opregelvermogen beschikbaar te hebben. Bovendien is een geothermische centrale de klok rond beschikbaar aangezien de productie geen intermitterend karakter heeft.

De geothermische centrale is technisch ook in staat om een deel van zijn vermogen te reserveren voor de levering van **secundaire reserves**, zoals bewezen in Hawaii. Deze reserves kunnen niet geboden worden door batterijen aangezien de secundaire reserves verscheidene uren enkel uit opregelvermogen of afregelvermogen kunnen bestaan. Dit vormt geen probleem voor de geothermische centrale.

Vermits alle centrales van de secundaire reserves in parallel werken, zal in de praktijk de afname/toename van de productie maar een fractie van de gereserveerde 15% bedragen. Dit houdt in dat de geothermische centrale in de praktijk redelijk dicht bij zijn 100% nominaal vermogen kan blijven produceren. De vergoeding voor de provisie van de secundaire reserves bedraagt ongeveer 32 euro per MW per uur. De prijs voor de levering van de reserve is gebaseerd op de brandstofkost (in het geval van geothermie de productiekost per eenheid onttrokken warmte) en de Belpex prijs van de dag voordien.

In België wordt er zo'n 400 MW aan **tertiaire productie reserve** voorzien. De vergoeding voor deze reserve bestaat uit een provisie van de tertiaire reserve en een activatie van de reserve. In tegenstelling tot de primaire en secundaire reserve wordt deze reserve haast nooit aangesproken, zodat de opbrengst voor deze reserve in de praktijk bijna volledig bestaat uit de provisie vergoeding. Deze bedraagt ongeveer 5 tot 6 euro per MW per uur. Gezien de hoge kapitaalkost van geothermische centrales lijkt het niet aangewezen om deze centrales voor dit type reserve te gebruiken.

Aangezien de geothermische centrales meestal uitgerust zijn met een synchrone generator met een power factor van 0,8, zou de centrale **reactieve energie** kunnen leveren aan het transmissienet. Deze case is wellicht het meest realistisch indien de centrale rechtstreeks verbonden is met het Elia onderstation via een directe/aparte kabel tussen de geothermische centrale en het onderstation. De synchrone generator is zowel geschikt voor primaire spanningsregeling (verplicht voor units van meer dan 25 MVA) als voor tertiaire spanningsregeling die via communicatie met de netbeheerder wordt geactiveerd.

Systeemredundantie en eilandwerking

Eilandwerking binnen de installatie van de netgebruiker is toegestaan. Eilandwerking waarbij het openbare distributienet betrokken is, is niet toegestaan. Overgang naar eilandbedrijf is slechts toegestaan als de spanningskwaliteit van het distributienet buiten de grenzen valt. Een decentrale productie-eenheid die in eilandbedrijf werkt mag opnieuw gekoppeld worden aan het openbaar distributienet indien voldaan is aan de voorwaarden om te synchroniseren: (1) de spanning moet dezelfde amplitude en fasevolgorde hebben als het net, (2) de frequentie moet hetzelfde zijn als het net (3) de fasehoek moet dezelfde zijn als het net. Minimale afwijkingen zijn toegestaan, maar de verschillen mogen geen bruuske spanningsvariatie groter dan 4% veroorzaken. Een synchrocheck-relais evalueert deze verschillen en laat toe om de installatie terug in parallel met het net te laten werken als aan alle voorwaarden is voldaan. Vooraleer de decentrale productie-eenheid in eilandbedrijf gaat, moet ze wel proberen om zo lang mogelijk gekoppeld te blijven aan het distributienet.

Om de betrouwbaarheid van elektriciteitslevering te beschrijven wordt vaak gebruik gemaakt van kengetallen zoals bv. SAIFI of SAIDI. SAIFI of *System Average Interruption Frequency Index* geeft het gemiddeld aantal onderbrekingen aan dat een consument kan verwachten per jaar. Het SAIFI getal voor België voor elektriciteitslevering in 2012 bedroeg 0,81. SAIDI of *System Average Interruption Duration Index* geeft de gemiddelde duurtijd aan dat een consument niet kan beschikken over elektriciteit. Het SAIDI getal voor België voor elektriciteitslevering in 2012 bedroeg 39,45 minuten²¹. Voor beide kengetallen is enkel het ongepland aantal onderbrekingen in rekening gebracht. Dit komt doordat er geen geplande onderbrekingen voor België gerapporteerd werden in 2012. Met de huidige problematiek rond **leveringszekerheid** en gebruik van het afschakelplan zouden beide kengetallen wel kunnen oplopen door de toevoegingen van geplande uitval.

Door de aanwezigheid van **geothermie in combinatie met ORC** die voorzien is op eilandwerking kunnen de **onderbrekingen opgevangen** worden. Een netgekoppelde ORC verhoogt bijgevolg de leveringszekerheid van elektriciteit voor een bepaalde cluster. De opgegeven beschikbaarheid van ORC in combinatie met geothermie opgegeven door de leveranciers bedraagt 95%. Deze data zijn gebaseerd op gerapporteerde vollasturen van operationele installaties. De 5% niet-beschikbaarheid is voornamelijk te wijten aan gepland onderhoud. Door een goede planning van het onderhoud, als het elektriciteitsnet niet zwaar belast is, kan de mogelijkheid op elektriciteitsuitval bijgevolg sterk gereduceerd worden.

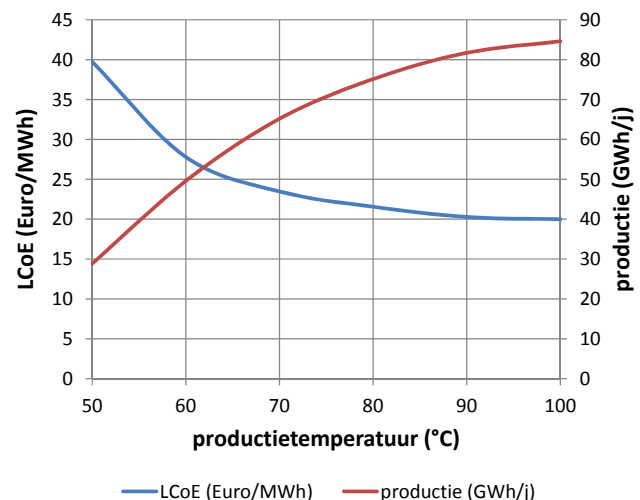
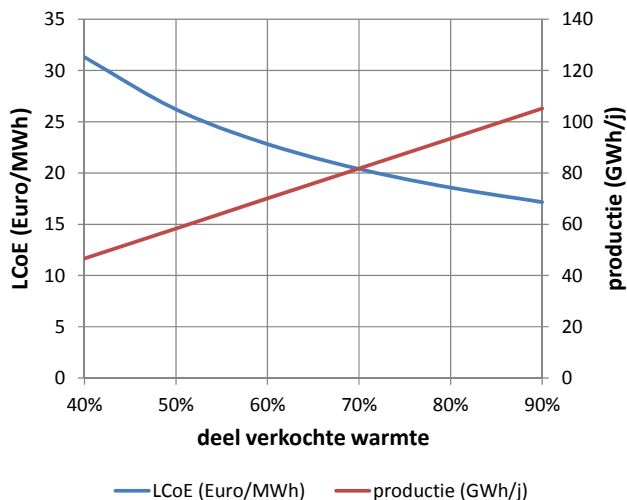
Doelstelling 3: Economische analyses en prognoses

De kosten voor de bouw van een geothermiecentrale lopen in de miljoenen euro's. Zoals eerder vermeld zijn de boringen goed voor het gros van de investeringen: voor projecten in Nederland en Duitsland varieert de kost voor de boringen tussen 500.000 en 2.000.000 Euro per MW productiecapaciteit. Het gemiddelde ligt rond 1.000.000 Euro per MW. Daar staat

²¹ CEER Benchmarking report 5.1 on the continuity of electricity supply, Revised version: 11 February 2014.

tegenover dat de productiekosten laag zijn: er zijn geen brandstofkosten en het elektrische vermogen dat nodig is om de pompen aan te drijven ligt typisch 20 tot 35 keer lager dan de thermische output. Dit maakt diepe geothermie uitermate geschikt voor het invullen van een basisenergievraag.

Verwarming is de meest voor de hand liggende toepassing van diepe geothermie. Vanaf een productietemperatuur van 25°C kan een bron in theorie ingezet worden voor rechtstreekse verwarming. Voor gebouwenverwarming ligt de drempel vandaag om en bij 40°C. Is het opgepompte water 60°C warm of heter, dan kan het ook gebruikt worden voor het aandrijven van een koelmachine. Diepe geothermie komt in de eerste plaats in aanmerking om de basisvraag aan warmte- en/of koude in te vullen. Parameters die de rendabiliteit van een project sterk beïnvloeden zijn het debiet, de productietemperatuur en de benuttingsgraad van de warmte. Bij een benuttingsgraad van 50% of meer is diepe geothermie een economisch interessant alternatief voor verwarming met aardgas.

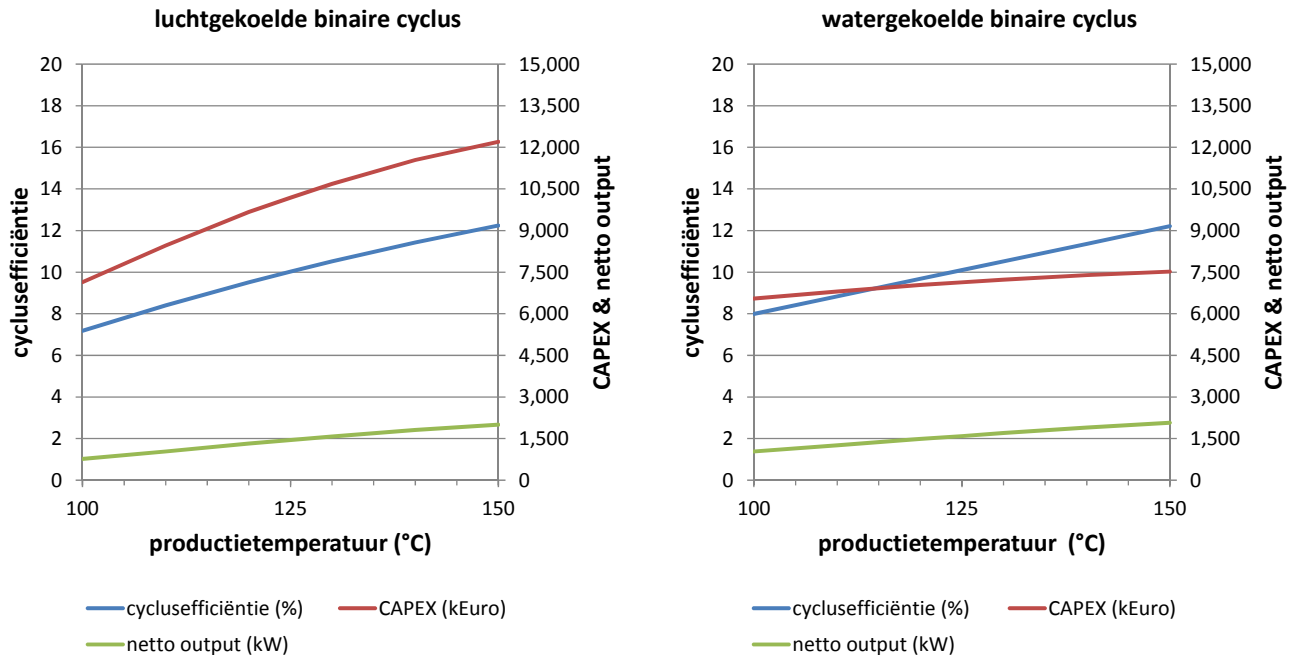


Warmteproductie en kostprijs voor de geleverde warmte in functie van de benuttingsgraad van een geothermisch doublet in de Kolenkalk met een productietemperatuur van 80°C (links) en in functie van de productietemperatuur bij een benuttingsgraad van 65% (rechts). Voor de berekening van de kostprijs werd uitgegaan van een levensduur van 30 jaar, een inflatiegraad van 1,5% en een discontovoet van 5%.

Indien de productietemperatuur hoog genoeg is, kan de warmte omgezet worden in elektriciteit. Vandaag de dag kan dit vanaf een productietemperatuur van een goede 80°C door middel van binaire conversiesystemen. Binaire cycli maken gebruik van een werkingsmedium met een laag kookpunt om de warmte om te zetten in stoomdruk. Door middel van een warmtewisselaar wordt het werkingsmedium opgewarmd en omgezet in stoom. De stoom wordt vervolgens gebruikt om een turbine aan te drijven. De efficiëntie van de omzetting is laag: binnen het temperatuurbereik van 100 tot 150°C ligt de

conversie-efficiëntie rond 10%. Dit wil zeggen dat 10 MWh warmte netto 1 MWh elektriciteit oplevert. Dit heeft 2 belangrijke consequenties: de toestellen om de elektriciteit te genereren zijn relatief groot en dus duur, en een groot deel van de toegeleverde warmte moet weggekoeld worden. Dit vraagt om een relatief grote en kostelijke koelinstallatie.

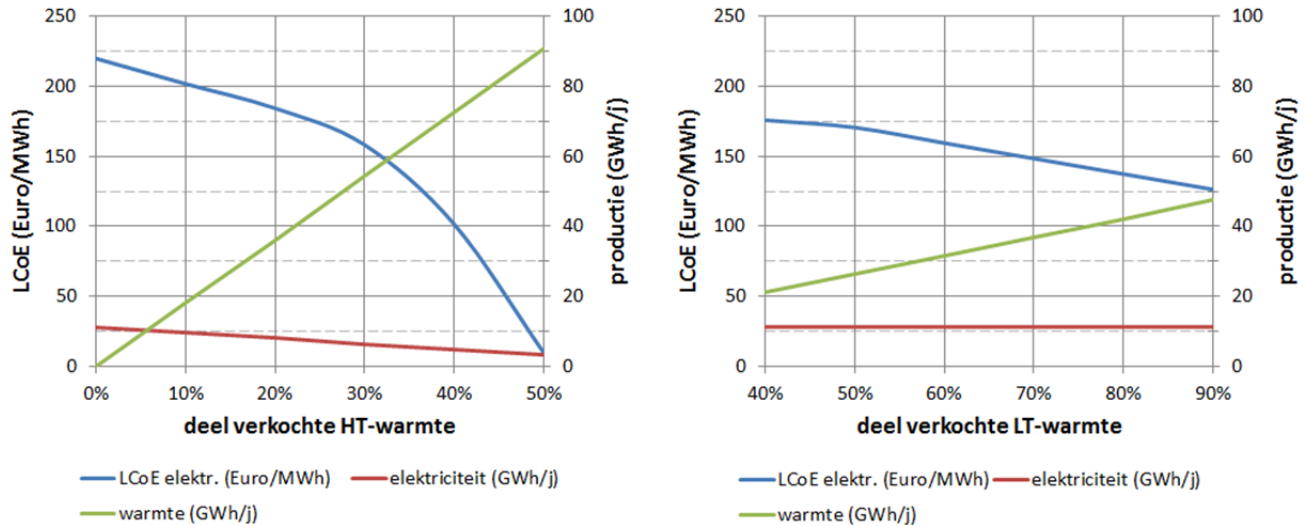
Elektriciteitsproductie heeft echter ook voordelen. Ten eerste kunnen de bronnen het jaar rond benut worden, ook op momenten dat er geen warmtevraag is. Dit verhoogt de benuttingsgraad. Ten tweede wordt de elektriciteit lokaal geproduceerd en staat de turbine-generatorset in de nabijheid van de geothermische boringen. Dit beperkt het grondbeslag en biedt mogelijkheden om de elektriciteit lokaal aan te wenden. Overschotten kunnen op het net geplaatst worden. Ten derde kan diepe geothermie een stabiele elektriciteitsproductie garanderen die welkom is in het wijzigende energielandschap. Bovendien creëert de koppeling van warmte- en elektriciteitsproductie extra flexibiliteit die kan aangewend worden om het elektriciteitsnet op momenten van onbalans te ondersteunen.



Efficiëntie, netto elektrisch vermogen en investeringskost voor een enkelvoudige, lucht- (links) en watergekoelde (rechts) binaire cyclus met isobutaan als werkingsmedium in functie van de temperatuur van het opgepompte water²².

²² Data uit: Walraven, D., Laenen, B. & D'haeseleer, W., 2015. Minimizing the levelized cost of electricity production from low-temperature geothermal heat sources with ORCs: Water or air cooled? Applied Energy, 142C, 144-153. En:

(footnote continued)



Elektriciteit- en warmteproductie, en kostprijs voor de elektriciteit in functie van de hoeveelheid verkochte warmte in het temperatuurbereik 125 – 65°C (links) en 65 – 40°C (rechts) voor een geothermische co-generatiecentrale met één productieput in de Kolenkalk, een productietemperatuur van 125°C en een enkelvoudige, luchtgekoelde binaire cyclus met isobutaan als werkingsmedium. Er werd uitgegaan van een levensduur van 30 jaar, een inflatiegraad van 1,5% en een discontovoet van 5%.

Met de huidige elektriciteitsprijzen is enkel elektriciteitsproductie op basis van diepe geothermie in de Kempen niet rendabel. Dit is vooral het gevolg van de hoge investering voor de bronnen en de koeling van de conversie-installatie. Een betere kennis van de lokale ondergrond en technologische innovaties kunnen daar op relatief korte termijn verbetering in brengen. Daarnaast is er ook ruimte om de efficiëntie van de elektriciteitsproductie te verhogen. Elke procent winst op dat vlak verlaagt, bij constante investeringen, de productiekost voor elektriciteit met goed 8%.

Schattingen van de productiekost voor elektriciteit op basis van diepe geothermie in combinatie met binaire cycli variëren van 60 tot 150 Euro/MWh tegen 2030 en minder dan 100 Euro/MWh tegen 2050^{23,24}. In combinatie met warmtelevering kan dit dalen naar 50 Euro/MWh en minder. Vandaag ligt de productiekost bij een aanvoertemperatuur onder 180°C tussen 120 en 180 Euro/MWh. Voor “Enhanced Geothermal Systems” bedraagt ze 250 tot 300 Euro/MWh⁸.

Walraven, D., Laenen, B., & D'haeseleer, W., 2015. Economic system optimization of air-cooled organic Rankine cycles powered by low-temperature geothermal heat sources. *Energy* 80: 104-113

²³ GEOELEC, 2013. A prospective study on the geothermal potential in the EU. <http://www.geoelec.eu/concep/library>

²⁴ EGEN, 2009. Geothermal Electricity And Combined Heat & Power. <http://www.egec.org>

De rol van warmtenetten

Diepe geothermie rekt zich dus rond op plaatsen met een grote, continue warmtevraag. Voorbeelden hiervan zijn warmtebehoefte toepassingen in de industrie en de glastuinbouw. Het aantal plaatsen waar geothermie zo kan ingezet worden in Vlaanderen is beperkt. Een alternatief is de koppeling van geothermie aan netwerken voor stadsverwarming. Warmtenetten laten toe de opgepompte warmte te verdelen over een groot aantal kleine afnemers. Doordat de klanten elk een eigen vraagprofiel hebben, wordt de totale warmtevraag uitgevlakt en ligt de piekvraag van het volledige warmtenet lager dan de som van de individuele toepassingen. Beide effecten nemen toe met het aantal aangesloten klanten. Ze hebben een positief effect op de benuttingsgraad van een geothermische bron.

Warmtenetten zijn dan ook een belangrijke randvoorwaarde voor de grootschalige uitrol van geothermie in Vlaanderen. Ze laten het immers toe de warmte op een efficiënte wijze tot bij de eindgebruikers te brengen. Dit vergroot ook het potentieel voor elektriciteitsproductie op basis van diepe geothermie: met de huidige stand van de techniek en ontwikkelingskosten is elektriciteitsproductie op basis van diepe geothermie in een temperatuurbereik tot ca. 150°C enkel rendabel als er voldoende warmte kan verkocht worden. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen warmtelevering op hoge en lage temperatuur. De laatste staat in serie met de elektriciteitsproductie. Achter de verdamer van de binaire cyclus is het opgepompte water typisch nog 60 tot 65°C warm. Deze warmte kan aangewend worden voor lage temperatuur verwarmingstoepassingen zonder verlies aan output van de binaire cyclus. Indien een hogere temperatuur vereist is, moet de waterlevering parallel aan binaire cyclus geplaatst worden. Dit gaat ten koste van de elektriciteitsproductie, maar resulteert wel in een hogere benuttingsgraad van de opgepompte thermische energie.

In theorie is het bij sommige binaire cycli ook mogelijk om een deel van de warmte die vrijkomt bij de koeling te gebruiken voor lage temperatuur verwarmingsdoeleinden. In dit geval spreken we van echte geothermische warmtekrachtkoppeling. Het kan de totale efficiëntie van een geothermische centrale met 20 tot 25% verhogen, maar de installaties die daarvoor nodig zijn bestaan nog niet.

Warmtenetten hebben nog een andere troef: ze bieden de mogelijkheid om op regionale schaal efficiënt om te gaan met energie. Op (sub)regionale schaal gaan grote hoeveelheden warmte verloren. Zo wijst een recent uitgevoerde inventaris in de haven van Antwerpen op een restwarmtepotentieel van ca. 1 GW. Deze warmte komt vrij bij temperaturen van 80°C of meer en kan in theorie perfect dienen voor traditionele ruimteverwarming. Voorwaarde is wel dat de restwarmte kan toegeleverd worden aan een leidingnet dat de warmte op efficiënte wijze tot bij de gebruikers kan brengen. Warmtenetten, veelal in combinatie met energieopslag, bieden hier de oplossing.

Impact op de lokale economie en tewerkstelling

De hoge investeringskosten en het lokale karakter geven aan dat de ontwikkeling van diepe geothermie een duidelijke impact zal hebben op de Vlaamse economie. In het kader van het EFRO-project 910 berekende IDEA Consult het effect dat de uitrol van geothermie kan hebben op de creatie van nieuwe bedrijfsactiviteiten en jobs. De eerste stap bestond uit het

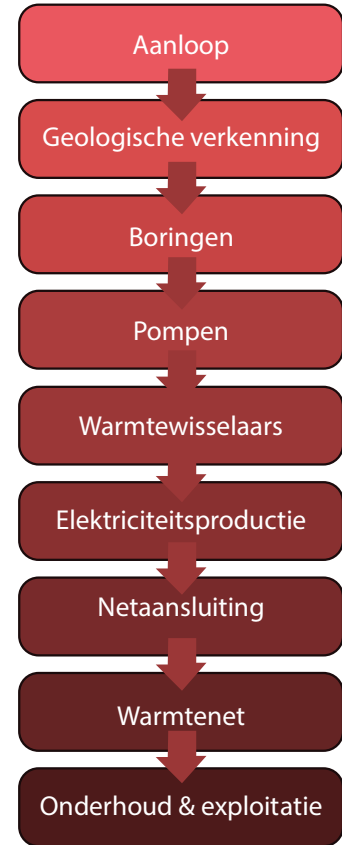
opstellen van een gestructureerde inventaris van de volledige waardeketen in relatie tot geothermie. Vervolgens werd een methodologie ontwikkeld om de potentiële economische impact, met beschouwing van zowel directe als indirecte en afgeleide effecten, te berekenen. Op basis van een inventaris van de belangrijkste binnen- en buitenlandse spelers in de waardeketen werd ook een inschatting gemaakt van de gegeneerd tewerkstelling binnen Vlaanderen ²⁵.

De studie berekende dat een warmtecentrale van 20 MW_{th} een tewerkstelling meebrengt van ongeveer 20 VTE's over de volledige leeftijd van de centrale (30 jaar). In een gemengde centrale (warmte en elektriciteit) van 30 MW_{th} en 3,1 MW_e loopt dat aantal op tot 40 VTE's. Wanneer geothermie op grote schaal uitgerold wordt in de Kempen en Limburg, kan dit gemiddeld per jaar 1.500 voltijdse jobs opleveren in de periode 2015 en 2050. Geschat wordt dat 75% van deze jobs zich situeert in Vlaamse bedrijven, 25% in buitenlandse bedrijven.

Dit tewerkstellingseffect is significant om verschillende redenen. Ten eerste is de waardeketen achter geothermie sterk lokaal verankerd. Een groot stuk van de tewerkstelling vindt dan ook plaats in de regio. Bovendien creëren de uitgebreide waardeketen, het vernieuwende karakter en de innovatienoden opportuniteiten voor lokale bedrijven om nieuwe diensten en producten te ontwikkelen die ook buiten Vlaanderen kunnen ingezet worden.

Elektriciteitsproductie op basis van geothermie is veel kleinschaliger dan die op basis van aardgas. Daardoor zijn er veel meer geothermiecentrales dan gascentrales nodig om eenzelfde hoeveelheid elektriciteit te produceren. Dit betekent dat er ook meer tewerkstelling gegeneerd wordt. Voor de productie van warmte is het verschil minder uitgesproken. In beide gevallen is er een distributienet nodig om de energiedrager (warmte of aardgas) te verdelen en zijn er bij de gebruikers een aantal voorzieningen nodig om de energiedrager te gebruiken (aftakingsstation of CV-ketel). Deze elementen tekenen voor het gros van de in investeringen en onderhoudskosten.

De ontwikkeling van geothermie omvat veel arbeidsintensieve activiteiten. De voorbereidende studies en het ontwerp van de installaties vraagt om gespecialiseerd, hoog opgeleid personeel. De bouw van de centrales en de aanleg van warmtenetten is zeer arbeidsintensief en creëert banen voor hoog- en laaggeschoolden.



Waardeketen voor diepe geothermie.

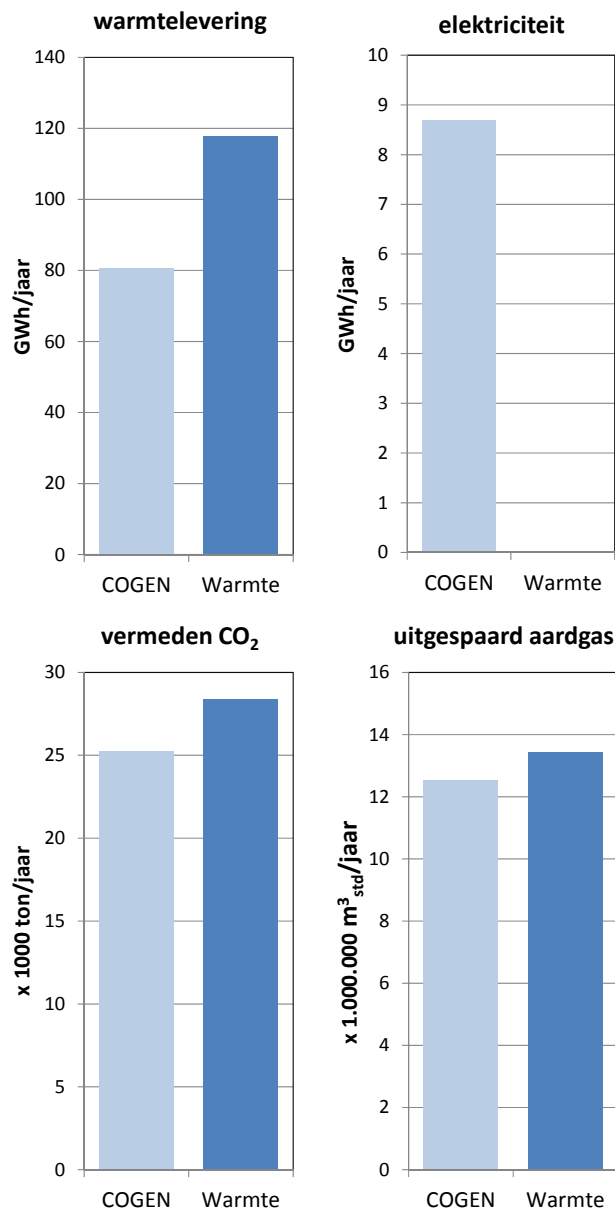
²⁵ IDEA Consult, 2015. De economische kansen van geothermie voor Vlaanderen. Deze uitgevoerd in het kader van EFRO-project 910: Geothermie 2020 met de steun vanuit het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling, de Vlaamse Regering en de Provincie Antwerpen.

Maatschappelijke baten

Diepe geothermie levert een reeks maatschappelijke baten die Vlaanderen kunnen helpen om zijn klimaat- en energiedoelstellingen te halen. De combinatie van diepe geothermie en warmtenetten kan de spil vormen van een vergaande hertekening van ons energielandschap: een nieuw energieparadigma op basis van collectieve energiesystemen en de beschikbaarheid van grote hoeveelheden (rest)warmte dringt zich op. Energie, en zeker warmte, hoeft niet langer een verhaal van schaarste te zijn. Dit betekent bijvoorbeeld dat we anders kunnen aankijken tegen de energieprestatie van gebouwen: energiezuinig ja, maar geen onnodige eisen naar isolatie. Tegelijk vraagt het om een aangepast ruimtelijk beleid en een mentaliteitswijziging bij de individualistisch ingestelde Vlaming.

De omslag naar een koolstofarme energievoorziening stoelt op twee pijlers: het verminderen van onze energiebehoefte en het verhogen van het aandeel hernieuwbare energie. De eerste pijler zet in op energiebesparing en het verhogen van de efficiëntie van conversietechnologieën. Het debat rond hernieuwbare energie focust sterk op elektriciteitsproductie. Duurzame warmtebronnen krijgen heel wat minder aandacht, ook al tekenen verwarming en koeling voor de helft van ons totaal energiegebruik. Experts wijzen dan ook al langer op de belangrijke rol die groene warmte kan gaan spelen in de energiebevoorrading van de toekomst.

De rol die groene warmte kan spelen in het energielandschap van de toekomst neemt veel vormen aan. De invulling zal in sterke mate bepaald worden door de warmtebronnen die lokaal beschikbaar zijn. Voor de Kempen is geothermie een belangrijke bron van warmte én elektriciteit. Een goed functionerend geothermisch doublet kan per jaar tot 200 GWh aan warmte of 20 GWh aan elektriciteit leveren. Voor een co-generatiecentrale spreken we over een warmteproductie van om en bij 100 GWh per jaar. Dit komt overeen met de warmtebehoefte van een 5.000 woningen. Daarnaast levert de centrale 8 tot



Geschatte productie, uitgespaarde hoeveelheid aardgas en vermeden CO₂-uitstoot van een geothermisch doublet dat warmte onttrekt aan de Kolenkalk op 3.000 m diepte.

9 GWh elektriciteit. Om dezelfde hoeveelheid warmte en elektriciteit te produceren met gasboilers en een gascentrale zou 12,5 miljoen m³ aardgas nodig zijn. De import van dat aardgas kost Vlaanderen vandaag 2,8 miljoen Euro. Daarnaast daalt onze CO₂-uitstoot met 25.000 ton per jaar. Indien de centrale enkel warmte zou leveren is het effect nog groter: een besparing van 13,5 miljoen m³ aardgas en een reductie van de CO₂-uitstoot met ruim 28.000 ton per jaar.

Doelstelling 4: Gevalstudies

Zoals elke grote ontwikkeling moet de uitrol diepe geothermie in de Kempen starten met een eerste boring, de bouw van een eerste geothermiecentrale en de opstart van de eerste warmtelevering en stroomproductie. De uitdagingen zijn groot en de risico's voor de eerste projecten zijn hoog. Hoewel de boortechnologie en diepe geothermie in het buitenland al langer worden toegepast en hoewel de recente seismische metingen de verwachting op succes bevestigen, zal slechts een eerste boring uitsluitsel kunnen geven of er voldoende water met een voldoende hoge temperatuur kan worden rondgepompt. In het kader van EFRO-project 910 hebben de projectpartners de twee eerste pilootprojecten in Vlaanderen begeleid op hun traject naar de eerste boring: het Balmatt-project in Mol, en het project van Janssen Pharmaceutica in Beerse.

Het **Balmatt-project in Mol - Donk** beoogt de bouw van een diepe geothermiecentrale voor warmtelevering en elektriciteitsproductie. VITO startte het project in 2010. Met het project wil VITO de technologische en niet-technologische uitdagingen voor de ontwikkeling van diepe geothermie in kaart brengen en de economische haalbaarheid aantonen. Dit moet toelaten de rol die diepe geothermie in het toekomstige Vlaamse energielandschap kan spelen beter te bepalen.

De bron voor het warme water is de Kolenkalk op een diepte van om en bij de 3.000 m. In de eerste fase van het project heeft VITO het geologische potentieel rond de Balmatt-site in kaart gebracht. Een belangrijke stap hierin was het seismisch onderzoek dat VITO heeft uitgevoerd in de regio Mol - Retie - Herentals. Het resultaat was een nieuw model van de diepe ondergrond in het gebied. Het model vormde de basis voor de berekening van de temperatuur in de Kolenkalk en het verwachte thermische vermogen van de productieputten. VITO heeft de resultaten vervolgens gebruikt om de boringen en installaties te ontwerpen en de kosten en baten van het project te berekenen.

De volgende fase is het boren van de putten. In eerste instantie wordt een proefboring uitgevoerd tot op een diepte van een kleine 4 km. Deze boring zal nieuwe informatie opleveren over de diepe ondergrond rond de Balmatt-site. Op basis daarvan zullen de bestaande modellen verfijnd worden en zal het mogelijk zijn het thermische vermogen van de geplande geothermiecentrale nauwkeuriger te berekenen.

Indien de resultaten van de proefboring voldoen aan de verwachtingen zal overgegaan worden tot de verdere ontwikkeling van de site. Dit omvat het boren van bijkomende putten voor de productie en injectie van water. De geproduceerde aardwarmte zal in eerste instantie aangewend worden als warmtebron voor het bestaande warmtenet op de onderzoeksite van VITO – SCK. Daarnaast hoort ook verdeling van warmte naar locaties in Mol en Dessel tot de mogelijkheden. Hiervoor dient een nieuw warmtenet aangelegd worden.

Naast warmtelevering hoopt VITO met het project ook de haalbaarheid van elektriciteitsproductie op basis van diepe geothermie aan te tonen. Indien de productietemperatuur hoger ligt dan 120°C en de putten voldoende debiet leveren, zal een binaire conversie-installatie gebouwd worden. Bij het verlaten van de binaire cyclus heeft het opgepompte water nog een temperatuur van een 65°C. Dit is voldoende om als warmtebron te fungeren voor de nieuwe onderzoekscampus die VITO wil bouwen op de Balmatt-site of voor andere lage temperatuur verwarmingstoepassingen.



Om onze patiënten
een duurzame zorg te garanderen.

janssen

Het project van **Janssen Pharmaceutica in Beerse** richt zicht op het gebruik van diepe geothermie binnen een industriële omgeving. Aanleiding van het project is het feit dat de stookinstallatie en het interne warmtenet van Beerse 1 aan vervanging toe zijn. Het nieuwe warmtenet wordt er één van de 4^e generatie. Voor de nieuwe energiecentrale heeft Janssen de keuze tussen warmtekrachtkoppeling op basis van aardgas of diepe geothermie. Onderzoek heeft aangetoond dat het grondwater onder de Beerse-site op een diepte van 2,4 kilometer 90°C warm is. Op 3,6 kilometer loopt dit op tot goed 120°C. In het eerste geval kan de aardwarmte gebruikt worden als energiebron voor het nieuwe warmtenet. In het tweede geval behoort een combinatie van warmtelevering en elektriciteitsproductie tot de mogelijkheden. Janssen zal de warmte in de eerste plaats intern gebruiken. Maar het project levert ook een grote hoeveelheid restwarmte op. Het zou jammer zijn om deze energie zomaar opnieuw in de grond te pompen. Daarom onderzoekt Janssen samen met partners of en hoe de restwarmte ter beschikking gesteld kan worden van de maatschappij.

De verdeling van de warmte naar de gebouwen zal gebeuren via een nieuw aan te leggen warmtenet van de 4^e generatie. Innovatief is het feit dat het warmtenet niet langer gebruik maakt van alleen maar water op hoge temperatuur. Bij de 4^e generatie is de temperatuur van het aangevoerde water aangepast aan de behoefte. Hierbij wordt de restwarmte van de ene toepassing gebruikt als warmtebron voor een andere toepassing. De sturing van een dergelijk warmtenet is een hele uitdaging.

Een andere uitdaging is de aansluiting van de gebouwen. Hierbij moet rekening gehouden worden met de karakteristieken van de verschillende gebouwen op de onderzoekscampus, die vaak zeer gevoelige processen herbergen. Bij aansluiting op het warmtenet moet de technische infrastructuur volledig aangepast worden, en dat zonder gebouwen te ontruimen of activiteiten stil te leggen. Een dergelijke omschakeling is ongezien in Vlaanderen en ver daarbuiten.

De keuze voor diepe geothermie past niet alleen binnen de duurzame bedrijfsvoering van Janssen, ook de internationale concurrentiepositie profiteert ervan. De Europese industrie moet volop inzetten op het verlagen van de energiefactuur. Via geothermie kan Janssen zijn energiekosten met bijna 20% drukken. Op die manier helpt aardwarmte de Janssen-site in Beerse bij de interne competitie binnen de Johnson & Johnson-groep en draagt het bij tot de verankering van het bedrijf in Vlaanderen. Kortom, geothermie kan een win-winverhaal worden voor iedereen: Janssen, maatschappij en milieu.

Doelstelling 5: Vergunningenbeleid en regelgeving

Zoals aangehaald in de resolutie van 23 april 2014 van het Vlaams Parlement staat het huidige regelgevende kader een efficiënte exploratie en exploitatie van diepe geothermie in de weg. Enerzijds kan geen rechtszekerheid geboden worden omdat de diepe geothermie niet opgenomen is in het Decreet Diepe Ondergrond. Anderzijds is de activiteit niet eenduidig ingedeeld in de Vlaamse milieuwetgeving en zijn de bijhorende sectorale voorwaarden niet op maat van diepe geothermie. Dat creëert onduidelijkheid en noopt tot overleg en het aanvragen van uitzonderingen.

In het kader van de twee cases werd een analyse uitgevoerd van de vigerende regelgeving. Zowel milieuregelgeving (DABM met besluiten Vlarem I en II en MER-besluit) als stedenbouwkundige regelgeving (CVRO) zijn van toepassing. Volgende stappen waren noodzakelijk:

- Procedure tot het bekomen van een ontheffing van de MER-plicht voor een geothermische boring bij de dienst Milieueffectrapportagebeheer van LNE;
- Aanvraag van een milieuvergunning voor het uitvoeren van een geothermische boring bij de dienst milieuvergunningen van de provincie Antwerpen;
- Procedures bij dienst milieuvergunningen van de provincie Antwerpen als vergunningverlenende overheid in functie van de wijziging van de vergunningsvoorwaarden conform artikel 45 VLAREM I;
- Procedures bij de Vlaamse Milieumaatschappij, de afdeling operationeel waterbeheer, in functie van de afwijking van de code van de goede praktijk voor boringen;
- Procedure bij de Minister van Leefmilieu in het kader van artikel 1.2.2 VLAREM II voor een individuele afwijking van de sectorale voorwaarde vermeld in artikel 5.53.4 van VLAREM II, waarbij voor grondwaterwinning ten minste één peilput dient te worden aangelegd;
- Aanvraag van een stedenbouwkundige vergunning voor technische werken of terreinaanlegwerken op gemeentelijk niveau.

Al deze stappen werden in constructief overleg met de betrokken administraties en diensten genomen. Tijdens het afgelopen jaar werden verschillende initiatieven genomen om de regelgeving en het beleid bij te sturen om ontwikkeling van diepe geothermie te faciliteren. Een aantal wijzigingen zitten momenteel in de pijplijn. Met de invoering van de omgevingsvergunning zullen niet langer de stappen voor het verkrijgen van een stedenbouwkundige vergunning en een milieuvergunning moeten doorlopen worden. Eén procedure zal volstaan. Op 17 juli 2015 keurde de Vlaamse Regering principieel een ontwerp van decreet tot wijziging van het decreet van 8 mei 2009 betreffende de diepe ondergrond (DDO), met het oog op het invoeren van een vergunningstelsel voor het opsporen en het winnen van aardwarmte in de diepe ondergrond, goed. Dit is een belangrijke stap in het creëren van rechtszekerheid voor diepe geothermieprojecten. Na het goedkeuren van het ontwerp van decreet dient nog een uitvoeringsbesluit opgesteld te worden vooraleer de nieuwe wetgeving van kracht wordt. Daarnaast dient de milieuregelgeving nog aangepast te worden met sectorale voorwaarden op maat van diepe geothermie.

ROADMAP VOOR DE ONTWIKKELING VAN GEOTHERMIE IN VLAANDEREN

Bij ontwikkelingen die diepe geothermie kunnen vooruithelpen denken mensen spontaan aan boringen en allerlei technologische uitdagingen die gepaard gaan met het oppompen, aanwenden en verdelen van de warmte. Op al deze vlakken zijn inderdaad verbeteringen mogelijk die de kosten en de performantie van de installaties kunnen verbeteren. Deze technologische innovaties zijn essentieel om het potentieel dat diepe geothermie biedt op termijn volwaardig te kunnen benutten. Op korte termijn is er echter vooral nood aan een aantal niet-technologische ontwikkelingen. De uitrol van diepe geothermie vraagt immers om een gerichte visie op het vlak van energie en ruimtelijke ordening. Dit zal helpen om een markt te creëren voor diepe geothermie. Daarnaast is er nood aan een beleid dat afgestemd is op de uitdagingen die met de realisatie van concrete projecten gepaard gaan. Deze zijn technisch, financieel en maatschappelijk van aard, en variëren van project tot project. Idealiter houdt het beleid rekening met deze verschillen. Kortom, markt en beleid moeten zodanig op elkaar afgestemd worden dat ze een optimale benutting van het geothermische potentieel mogelijk maken.

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de ontwikkelingen die nodig zijn om diepe geothermie in Vlaanderen tot zijn volle potentie te benutten. De ontwikkelingsnoden zijn ondergebracht in 4 categorieën. De eerste categorie omvat de gewenste innovaties op het vlak van kennis en technologie. Daarna volgen meer beleidsmatige aspecten zoals ruimtelijke ordening, financiering en zekerheid, en beleid.

Het overzicht maakt onderscheid tussen ontwikkelingen die op korte termijn nodig zijn om geothermie in Vlaanderen op de kaart te zetten, en ontwikkelingen op middellange (5 – 10 jaar) en lange termijn (10 – 15 jaar). Dit is weergegeven in de tabellen door middel van kleurcodes: wit voor korte termijn, lichtgrijs voor middellange termijn en beige voor lange termijn. De korte- en middellangetermijntwikkelingen zijn er in de eerste plaats op gericht om het potentieel in diepe watervoerende lagen te ontsluiten. De innovatie op lange termijn beogen de ontwikkeling van *'Enhanced Geothermal Systems'*. De tabellen geven ook aan wat de einddoelstellingen zijn: het verlagen van de kosten, het verbeteren van de efficiëntie van de toepassingen, het beperken van allerhande risico's (financieel, technisch, milieu en veiligheid), een doelgericht beleid of maatschappelijke spill-overs (o.a. basisonderzoek, opleiding, economische ontwikkeling, betaalbare en duurzame energie, ...).

Ontwikkelingen op het vlak van kennis en technologie

Evaluatie van het geothermische potentieel en kennisopbouw

Op basis van de beschikbare data en de stand van de techniek schatten we de winbare hoeveelheid aardwarmte in de 4 gekarteerde diepe watervoerende lagen op 19 exajoule. Deze schatting is echter onvolledig. Ze houdt bijvoorbeeld geen rekening met de warmte die opgeslagen is in compacte, niet-watervoerende grondlagen. Het is ook niet duidelijk welk deel van de warmte op een economische verantwoorde wijze te winnen is. De eerste projecten zullen hier uitsluitsel over geven.

De kennis die in het kader van de eerste projecten zal verzameld worden is ook essentieel om de modellen over de warmteverdeling in de ondergrond en het gedrag van de geothermische reservoirs beter te begrijpen. Om de blinde vlekken in onze kennis over de diepe ondergrond weg te nemen, zou ook een gebiedsdekkende seismische dataset opgebouwd moeten worden. De nieuwe inzichten zullen helpen om een doelgericht beleid voor het beheer van de diepe ondergrond op te zetten, en zullen er toe leiden dat toekomstige projecten sneller, goedkoper en met minder risico's ontwikkeld kunnen worden. Zo dalen de boorkosten naarmate de ondergrond van een gebied betere gekend is: verkenningsboringen zijn gemiddeld dubbel zo duur dan boringen uitgevoerd in het kader van commerciële projecten in goed gekende grondlagen.

Om die doelstellingen te bereiken is het essentieel dat de nieuwe data op een transparante, gebruiksvriendelijke manier bewaard en ontsloten worden. Dit kan gerealiseerd worden via de [Databank Ondergrond Vlaanderen](#) en het 3D-lagenmodel van Vlaanderen. Het opstellen van een gestructureerde dataset en databank beoogt meerdere doelstellingen: het promoten van basisonderzoek naar de toestand van de diepe ondergrond teneinde een solide kennisbasis aan te reiken voor ontwikkelingsprojecten, en het aanreiken van kwalitatieve informatie ter voorbereiding van boorwerkzaamheden en voor de ontwikkeling van een gepast beleid. Bij het ontsluiten van data die met private middelen werd verkregen, moet wel rekening gehouden worden met belangen de eigenaars.

	<i>kosten</i>	<i>efficiëntie</i>	<i>risico's</i>	<i>beleid</i>	<i>maatschappij</i>
<i>Gebiedsdekkende seismische dataset</i>	√	√	√	√	√
<i>Databank diepe geologie & geothermie</i>		√	√	√	√
<i>3D-model diepe ondergrond</i>		√		√	√
<i>Verbeterde exploratietechnieken (seismiek, MT/CSEM, gravimetrie, combinatie)</i>	√	√	√	√	
<i>Modellen voor het inschatten van reserves en reservoirgedrag (energie-inhoud, debiet, temperatuur)</i>		√	√	√	
<i>Modellen voor het inschatten en beheersen van risico's (boortecnisch, productie, aardbevingen, ...)</i>	√	√	√	√	√
<i>Nieuwe exploratietechnieken en modellen voor zeer diepe grondlagen (> 4 km)</i>		√	√	√	

Op middellange termijn moet er werk gemaakt worden van verbeterde exploratietechnieken om de toestand van de diepe ondergrond te visualiseren. Seismiek en magnetotellurische metingen (MT en CSEM) zijn momenteel de meest gebruikte exploratietechnieken. Verbeteringen zijn mogelijk door de acquisitieparameters aan te passen aan de lokale situatie en aan het beoogde resultaat. Om een beeld te krijgen van de verdeling van essentiële gesteentekennmerken zoals porositeit

en densiteit of de aanwezigheid van water kan ook gezocht worden naar manieren om twee of meer geofysische methodes te combineren of aan het combineren van geofysische data met observaties in diepe boringen.

Naast meer betrouwbare gegevens over de diepe ondergrond is er ook nood aan modellen die toelaten een inschatting te maken van de fysische en chemische condities in de ondergrond. De nieuwe exploratietechnieken en modellen moeten leiden tot een beter inzicht in de temperatuurverdeling, de stroming van water en spanningscondities in de diepe ondergrond. Een statistisch onderbouwde driedimensionale afbakening van de geothermische systemen zal helpen om de ontwikkelingsrisico's beter in te schatten en de targets voor de boringen nauwkeuriger te bepalen. Een strikte afbakening van het reservoir en van de invloedssfeer van het geothermisch systeem zal ook zijn nut bewijzen bij het uitreiken van vergunningen en bij het beheer van de diepe ondergrond.

Tijdens de exploratiefase komt het er op aan de verschillende risico's die gepaard gaan met de ontwikkeling van een geothermisch systeem in te schatten en maatregelen uit te werken om die te beheersen. Dit moet typisch gebeuren aan de hand van een onvolledige dataset: zolang je niet geboord hebt blijven de risico-inschatting gebaseerd op aannames. Er is nood aan eenduidige modellen en richtlijnen om deze aannames scherp te stellen.

Op lange termijn is er nood aan exploratietechnieken en modellen die toelaten om op een kostenefficiënte manier betrouwbare schattingen te maken van de geofysische en hydraulische karakteristieken van zeer diepe grondlagen. De bestaande technieken schieten hier te kort. Verschillende geofysische technieken en observaties in diepe boringen zullen moeten gecombineerd worden met modellen om een beeld te krijgen van de gesteente-eigenschappen en van de temperatuur- en spanningscondities in ultradiepe grondlagen.

Ontwikkelingen op het vlak boortecnologie

Een essentieel onderdeel van een geothermisch project is het uitvoeren van boringen van meerdere kilometers diep. De kosten hiervoor lopen in de miljoenen euro's en de werken zijn niet zonder risico's. Er zijn een aantal manieren om de kosten en risico's die met het boren en onderhouden van de putten gepaard gaan terug te dringen:

- Het sneller doorboren van (harde) grondlagen;
- Het verkorten van de tijd die nodig is voor het stabiliseren en afwerken van de putten;
- Het verminderen van de materiaal- en energiekosten;
- Het gebruik van materialen die bestand zijn tegen hoge temperaturen en corrosie.

De snelheid waarmee het gesteente kan gebroken worden heeft een rechtstreekse impact op de tijd die nodig is om de putten te boren. Ongeveer de helft van het budget van een diepe boring is terug te voeren op lonen en andere tijdgerelateerde posten. Het spreekt dan ook voor zich dat een snellere boorvoortgang leidt tot lagere boorkosten. Op korte termijn kunnen de bestaande boorkoppen aangepast worden. Naast boorvoortgang is slijtage een belangrijk aandachtspunt: hoe meer meters er met een boorkop kunnen gemaakt worden, hoe minder tijd gependend wordt aan het in- en uitbouwen van boorkoppen en hoe minder materialen er nodig zijn. Op middellange tot lange termijn kunnen nieu-

we technieken ontwikkeld worden om (hard) gesteente te breken. Voorbeelden hiervan zijn elektropulsboren, percussieboren, laserboren, plasmaboren, spallatieboren en jetboren. Naast de boorvoortgang moet bij de ontwikkeling van deze technieken rekening gehouden worden met het energiegebruik, de evacuatie van het uitgebroken gesteente (cuttings), de impact op de stabiliteit van het boorgat, de milieu-impact, enz... In veel gevallen zal het boorproces aangepast moeten worden aan de vereisten van de nieuwe boortechniek.

De parameters waarmee de boring wordt uitgevoerd hebben een impact op de snelheid van het boren en op de slijtage van de boorkop. Het laatste bepaalt hoe lang de boorkop gebruikt kan worden om efficiënt te boren, niet alleen in tijd maar ook in het aantal geboorde meters. Door de boorparameters af te stemmen op de condities in diepe, warme grondlagen kan dan ook een belangrijke tijds winst geboekt worden. Dit vertaalt zich in lagere boorkosten.

	<i>kosten</i>	<i>efficiëntie</i>	<i>risico's</i>	<i>beleid</i>	<i>maatschappij</i>
<i>Verdere automatisatie van de boorwerkzaamheden</i>	√	√	√		
<i>Verbetering van conventionele boormethodes</i>	√	√			
<i>Optimaliseren van boorparameters</i>	√	√	√		
<i>Ontwikkeling van corrosie- en slijtagebestendige materialen voor boorkoppen</i>	√	√	√		
<i>Nieuwe technieken voor de evacuatie van cuttings (terugdringen energiegebruik)</i>	√	√			
<i>Sensoren en meetinstrumenten die bestand zijn tegen hoge temperaturen (> 175°C)</i>		√	√		
<i>Aangepaste cementformuleringen die bestand zijn tegen corrosie en hoge temperaturen (> 175°C)</i>		√	√		
<i>Corrosie- en warmtebestendige (>175°C) (lichtgewicht)casing</i>	√	√	√		
<i>Ontwikkeling van nieuwe boorprocessen (o.a. casing drilling en casing while drilling)</i>	√	√	√		

Een groot deel van de tijd die nodig is om een diepe put te boren gaat op aan andere activiteiten dan het boren zelf. De boorkoppen moeten in- en uitgebouwd worden. Het boorgat moet gestabiliseerd worden door het aanbrengen en cementeren van verbuizingen (casings). Er moeten allerhande metingen uitgevoerd worden om de samenstelling van de grondlagen en de kwaliteit van de put te bepalen. De productiviteit van de put moet bepaald worden, enz... Om de boorkosten met meer dan 40% te laten dalen, moet de tijd die nodig is voor elk van deze activiteiten verkort worden. Dit vraagt voor

de ontwikkeling van nieuwe boorprocessen zoals casing-drilling, logging-while-drilling en coiled tubing drilling. Op korte termijn kan verder ingezet worden op een doorgedreven automatisering van het boorproces.

Ook de gebruikte materialen bepalen het prijskaartje van de putten. Diepe geothermie stelt hoge eisen door de combinatie van hoge temperaturen, zout water en hoge drukken. Nieuwe, corrosiebestendige materialen (casings en cementen) die bestand zijn tegen temperaturen van 175°C of meer en drukken van meerdere honderden bars kunnen de kosten voor het onderhoud en de levensduur van de putten gevoelig verbeteren.

Ontwikkelingen op het vlak van productietechnologie

Eens de putten geboord zijn, komt het er op aan de productie en injectie met zo weinig mogelijk onderbrekingen gaande te houden. Een belangrijke oorzaak van productieonderbrekingen is het uitvallen van de pompen. Er is nood aan de ontwikkeling van bedrijfszekere pompen die bestand zijn tegen hoge temperaturen (> 125°C) en corrosie. Dit geldt ook voor de putafwerking: de productietubing, kleppen en afsluiters, ...

Naast corrosie kan ook de afzetting van kalk en andere mineralen leiden tot productieverlies en downtime. Technieken om de vorming van neerslagen te vermijden of de neerslagen efficiënt te verwijderen kunnen helpen om deze verliezen tot een minimum te beperken. Daarnaast is er nood aan sensoren om de vorming van neerslagen en corrosie op te volgen zodat onderhoudswerkzaamheden tijdig kunnen ingepland worden en onverwachte downtime vermeden kan worden.

Op middellange termijn moeten concepten en technieken ontwikkeld worden om de productiviteit en injectiviteit van de putten te verbeteren. In veel gevallen loopt de injectie van water moeilijker dan de onttrekking. Aangepaste concepten om de drukcommunicatie tussen productie- en injectieputten te verbeteren kunnen helpen om de injectie efficiënter te laten verlopen. Dit resulteert in een lagere specifieke boorkost (minder euro per eenheid thermisch vermogen) en lagere pompkosten. Bij de ontwikkeling van simulatietechnieken komt het er op aan de impact voor de omgeving tot een minimum te beperken.

Op lange termijn moet werk gemaakt worden van de ontwikkeling van 'hot-dry-rock' technieken. Dit kan op twee manieren: via de ontwikkeling van technieken die toelaten om op een diepte van 5 km of meer een groot, driedimensionaal netwerk van spleten te creëren, of via de ontwikkeling van volledig gesloten systemen. De target voor commerciële projecten is het halen van een stabiele productietemperatuur van meer dan 200°C over minimaal 20 jaar bij een debiet van 75 l/s of meer per put²⁶. Om dit doel te bereiken is er nood aan boortechnieken voor harde, hete gesteenten, aangepaste technieken en materialen om de putten af te werken, modellen om breuken en spanningscondities in de diepe ondergrond in kaart te brengen, en nieuwe inzichten in de interactie tussen het rondgepompte water en het gesteente en in de thermische eigenschappen van diepe, compacte grondlagen.

²⁶ Renewable Heating and Cooling Platform, 2012. Strategic Research Priorities for Geothermal Technology. www.rhc-platform.org

	<i>kosten</i>	<i>efficiëntie</i>	<i>risico's</i>	<i>beleid</i>	<i>maatschappij</i>
<i>Aangepast putontwerp en -afwerking</i>	√	√	√		
<i>Technieken voor het voorkomen of verwijderen van neerslagen</i>	√	√	√		
<i>Pomptechnologie die bestand is tegen zout (> 100 g/l TDS) water en hoge temperaturen (>125°C)</i>	√	√	√		
<i>Technieken voor het stimuleren van putten</i>	√	√	√	√	√
<i>Modellen voor het voorspellen en sturen van de productie</i>		√	√	√	
<i>Modellen voor het voorspellen van het thermische en chemische gedrag van geothermische systemen</i>		√	√	√	√
<i>Nieuwe technieken voor het creëren van een groot spletennetwerk op een diepte van 5000 m of meer</i>	√	√	√		
<i>Gesloten systemen voor het onttrekken van warmte vanop een diepte van 5000 m of meer</i>	√	√	√		
<i>Modellen en technieken voor het karteren van breuken en spanningscondities op grote diepte</i>		√	√	√	√

Ontwikkelingen op het niveau van de toepassingen

De laatste 10 jaar zien we een groeiende interesse voor het gebruik van diepe geothermie als energiebron voor elektriciteitsproductie door middel van binaire cycli of in cascadesystemen. Binnen de cascadetoepassingen neemt de rol van koeling stelselmatig toe. De haalbaarheid van dit soort systemen neemt toe naarmate de kosten lager liggen, de efficiëntie van de toepassing of de volledige keten verbetert en de ontwikkelingsrisico's beperkt worden. Het verlagen van de kosten kan bereikt worden door de specifieke investeringskost (Euro/kW geïnstalleerd vermogen) en de onderhoudskosten (Euro/kWh geleverde energie) te verlagen. Het verhogen van de efficiëntie speelt op het niveau van individuele toepassingen en de volledige cascade. Risico's hebben vooral te maken met de evolutie van de energieafname en de impact naar de omgeving.

Op het vlak van elektriciteitsproductie is er ruimte voor het verbeteren van de efficiëntie van binaire systemen. Een belangrijk aandachtspunt in dat opzicht is koeling: in vergelijking met een gascentrale is de koelinstallatie voor een binair systeem dat gekoppeld is aan een bron van om en bij 150°C groot. Ze tekent voor een belangrijk deel van de investeringen en bepaalt in sterke mate de netto output van de installatie. Aangepaste of nieuwe manieren van koelen kunnen leiden tot een betekenisvolle verhoging van de netto output van de installatie of tot een reductie van de kosten voor koeling.

Verdere optimalisatie is mogelijk door binaire cycli op een doordachte manier te integreren met de levering van warmte- of koude. Dit vraagt om binaire installaties waarvan de productie flexibel aan te passen is in functie van de warmte- of koudevraag. Aangepaste vormen van thermische energieopslag kunnen helpen om schommelingen in vraag om te vangen. Er kan gezocht worden naar manieren om technieken zoals aquifer thermische opslag en boorgat thermische opslag, opslagvaten en opslag in de gebouwmassa in te passen in de cascades. Op termijn zou ook het geothermische reservoir kunnen ingeschakeld worden voor grootschalige opslag op hoge temperatuur.

	<i>kosten</i>	<i>efficiëntie</i>	<i>risico's</i>	<i>beleid</i>	<i>maatschappij</i>
<i>Tools voor het ontwerpen van cascadesystemen met inbegrip van elektriciteitsproductie</i>		√			
<i>Integratie van thermische energieopslag</i>		√	√		
<i>Verbeterde koeling voor binaire cycli</i>	√	√	√		
<i>Flexibel te bedrijven binaire cycli</i>		√			
<i>Verbeterde technieken voor adsorptiekoeling</i>	√	√			
<i>Hoge temperatuur thermische opslag in diepe grondlagen</i>		√	√	√	

Ruimtelijke aspecten

De keuze voor het inzetten van geothermiecentrales en warmtenetnetten hangt in grote mate samen met de ruimtelijke constellatie van functies bovengronds. De geothermische centrales hebben op zich wel een veel kleinere ruimtelijke impact dan biomassa, wind- of zonne-energie, toch zal de grootschalig uitrol van geothermie een duidelijke impact hebben op ons energielandschap. Dit heeft alles te maken met de aanwending en de distributie van warmte: de warmtenetwerken bepalen immers in sterke mate de bovengrondse verdichtingspatronen. Om de warmteverliezen te beperken en de winsten te maximaliseren geldt voor geothermie een principe van nabijheid, waardoor het warmtenetwerk, hoewel bovengronds fysiek afwezig, zichtbaar af te lezen is in de ruimte.

De impact van diepe geothermie op ons energielandschap en ruimtelijke ordening maakte het onderwerp uit van het 'Atelier Diepe Geothermie' dat opgezet werd door de Vlaamse Bouwmeester. Aan de hand van ontwerpend onderzoek zochten de partners naar een antwoord op de vraag 'Kan het potentieel voor geothermie in Vlaanderen de versnipperde verstedelijking optimaal benutten en een onderlegger vormen voor een nieuwe vorm van stedenbouw, waarbij men actief

op zoek gaat naar een noodzakelijke kritische massa en densiteit voor de energievoorziening binnen een bepaalde regio, en de energievoorziening een hogere graad van nabijheid stimuleert'.

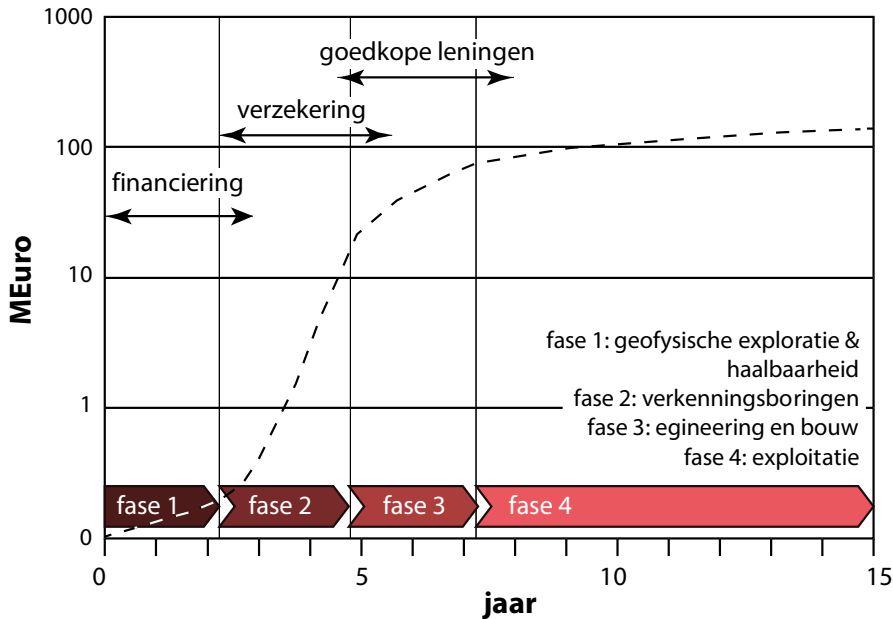
Uit de studie blijkt duidelijk de noodzaak om tot een verdichting van ons ruimtegebruik te komen. Hierbij moeten we streven naar een aangename, efficiënt ingerichte en duurzame leefomgeving die maatschappelijk gedragen wordt. Door energie, en meer nog het aspect warmte, mee op te nemen in het ruimtelijke beleid ontstaan nieuwe mogelijkheden voor het uitwerken van energiecascades en het realiseren van een duurzame verdichting. Indien geothermie en warmtenetten op grote schaal ontwikkeld worden ontstaat immers een nieuwe situatie waarbij stedenbouwkundigen en ontwerpers kunnen uitgaan van de alomtegenwoordigheid van duurzame en betaalbare warmte.

Dit betekent niet dat we de bestaande verspreide bebouwing zomaar moeten verontschuldigen door ze aan te sluiten op een warmtenet. Integendeel, de cascadesystemen vragen dat er nagedacht wordt over een efficiënte inplanting van de verschillende maatschappelijke functies en hoe die in de toekomst kunnen verschuiven. Een verzuchting die meermaals geopperd werd tijdens gesprekken met stakeholders is dat geothermie niet mag leiden tot een verdere aanslag op de open ruimte. Het beperkte ruimtegebruik laat dat toe. Tegelijk kan het geheel van geothermiecentrales en warmtenetten de grondslag leggen voor een herstructurering van onze ruimtelijke ordening die toelaat nieuwe open ruimte te creëren. Dit vraagt dan wel om de moed om ingeburgerde praktijken in vraag te stellen en maatregelen te nemen om de klok op termijn terug te draaien.

Financiering en zekerheid

De ontwikkeling van diepe geothermie is kapitaalintensief en niet zonder risico's. Zolang de putten niet geboord zijn, is de opbrengst onzeker. Daarbij komt de onzekerheid op het vlak van de inkomsten: hoeveel warmte en elektriciteit ga je kunnen verkopen, op welke termijn, tegen welke prijs,? De risico's verschuiven naar mate het project zich verder ontwikkelt. Door op de juiste momenten aangepaste financiële instrumenten aan te bieden, kunnen de risico's voor investeerders sterk gereduceerd worden.

In de eerste fase zijn de risico's het grootst, maar blijven de kosten beperkt. Ondersteuning via subsidies of participatie in exploratiewerkzaamheden kunnen de opstart van projecten vergemakkelijken. De grootste kosten gaan gepaard met het boren van de putten. De financiële risico's die hiermee gepaard gaan kunnen verlicht worden via investeringssteun in de exploratieboringen of via een verzekering van het exploratierisico. Beide ondersteuningsmaatregelen worden al met succes toegepast in onze buurlanden. Een verzekeringssysteem voor geothermische boringen kan zowel door de overheid (bv. Nederland en Frankrijk) als via de privémarkt (bv. Duitsland) opgezet worden. Eens de resultaten van de exploratieboringen bekend zijn, kan de energieopbrengst van de centrale met grote zekerheid berekend worden. Samen met contractuele afspraken omtrent de verkoop van warmte en elektriciteit wordt het project hierdoor bankwaardig. Voor het boren van extra putten, de bouw van de centrale en de aanleg van het warmtenet kan beroep gedaan worden op bankleningen (o.a. via de Europese Investeringsbank en de Wereldbank) of investeringsfondsen.



Evolutie van de investeringen en kosten voor de ontwikkeling en de exploitatie van een geothermische centrale en timing van financiële instrumenten die de uitrol van diepe geothermie in Vlaanderen kunnen vergemakkelijken.

Naast deze financiële instrumenten kunnen ook een systematische verkenning van de diepe ondergrond en strategisch basisonderzoek naar de geologische geschiedenis van Vlaanderen helpen om de risico's te verkleinen. Een betere kennis van de opbouw van diepe grondlagen is trouwens niet alleen essentieel voor de ontwikkeling van geothermie. Ook het vergunningenbeleid dat uitgewerkt is in het kader van het nieuwe decreet 'Diepe Ondergrond' is gebaat bij deze kennis.

Beleid en regelgeving

Wanneer het over warmte in de ondergrond gaat, heeft het geen zin om van eigendom te spreken. Warmte is immers geen tastbare zaak. Het is een toestand van de ondergrond die bovendien veranderlijk is. Net als de warmte van de zon, de wind of het klimaat is aardwarmte een eigenschap van onze leefomgeving die ons allen aangaat.

De memorie van toelichting bij het ontwerp tot wijziging van het decreet van 8 mei 2009 betreffende de diepe ondergrond, met het oog op het invoeren van een vergunningenstelsel voor het opsporen en het winnen van aardwarmte in de diepe ondergrond, geeft aan dat het geen zin heeft om de eigendom van aardwarmte te regelen²⁷. Men kan immers enkel

²⁷ Memorie van toelichting bij het ontwerp van decreet tot wijziging van het decreet van 8 mei 2009 betreffende de diepe ondergrond. VR 2015 1007 DOC.0730/3

over eigendomsrecht spreken als het over zaken gaat. Dit doet echter geen enkele afbreuk aan de bevoegdheid van het Vlaamse Gewest om het opsporen en het winnen van aardwarmte te regelen via een vergunningenstelsel.

In de toekomst zal het winnen van aardwarmte in de diepe ondergrond alleen mogelijk zijn met een vergunning van de Vlaamse Regering. Vergunningsaanvragen zullen geëvalueerd worden op basis van de manier waarop de aanvrager zich voorneemt de activiteiten te verrichten en te financieren, de efficiëntie en verantwoordelijkheidszin waarvan de aanvrager, de eventuele interferentie met andere al vergunde activiteiten in de ondergrond, de milieu-impact, het planmatige beheer van aardwarmte en van andere toepassingen in de diepe ondergrond en de mate waarin de gewonnen aardwarmte efficiënt en duurzaam zal worden aangewend.

Naast de vergunning in het kader van het DDO zal ook een omgevingsvergunning in het kader van het decreet van 25 april 2014 betreffende de omgevingsvergunning nodig zijn om de boringen uit te voeren en de aardwarmte te winnen. Deze vergunning regelt zowel de milieuhygiënische als de stedenbouwkundige aspecten van het diepe geothermieproject.

Het wetgevend kader dat momenteel voorbereid wordt, biedt partijen die projecten wensen te ontwikkelen de juridische zekerheid dat hun investeringen kunnen renderen. Tegelijk is het een kapstok waarmee het beleid aan de slag kan gaan om het potentieel op een planmatige, veilige en milieutechnisch en maatschappelijk verantwoorde manier te ontwikkelen. Hierbij moet rekening gehouden worden met het gemeenschappelijk karakter van aardwarmte.

Diepe geothermie is in de eerste plaats een lokale bron van energie. De ontwikkeling van het potentieel moet dan ook gekaderd worden in het Vlaamse energiebeleid. Diepe geothermie voegt hier een nieuw element aan toe dat kan helpen om versneld de omslag te maken naar een koolstofarme energievoorziening. Die omslag is gebaseerd op twee pijlers: enerzijds het verminderen van onze energiebehoefte en anderzijds het verhogen van het aandeel hernieuwbare energie. De rol die groene warmte kan spelen in ons toekomstige energielandschap neemt veel vormen aan. De invulling zal in sterke mate bepaald worden door de warmtebronnen die lokaal beschikbaar zijn. Zeker in de Kempen is diepe geothermie een belangrijke, onderbelichte bron van hernieuwbare warmte. Om het potentieel op een maatschappelijk verantwoorde wijze te kunnen ontsluiten moet de warmte aan een groot aantal gebruikers geleverd kunnen worden. De uitrol van diepe geothermie zal dan ook hand in hand moeten gaan met de uitbouw van warmtenetten.

Het bestaande beleidskader op het vlak van energie is niet afgestemd op de uitdagingen die gepaard gaan met de ontwikkeling van warmtenetten en diepe geothermie. De ondersteuning voor groene warmte is minimaal, collectieve systemen voor verwarming en koeling scoren ondermaats binnen de EPB-regelgeving en er is onduidelijkheid over de rol van de verschillende spelers op de energiemarkt. Zonder een duidelijke beleidsvisie bestaat het gevaar dat een beperkt aantal projecten die vandaag economisch interessant zijn, de toekomstige ontwikkeling van het potentieel hypothekeren.

Om het potentieel van diepe geothermie optimaal te ontsluiten zouden de beleidsdomeinen energie, ruimtelijke ordening en diepe ondergrond verder op elkaar afgestemd moeten worden. Het ruimtelijke beleid moet gericht zijn op het concentreren van de warmtevraag en het creëren van energiecascades, het energiebeleid op een efficiënte benutting van hernieuwbare warmte en de exploitatie van aardwarmte op een maatschappelijk verantwoorde en respectvolle ontsluiting van het geologische potentieel.

BESLUITEN

Binnen het kader van FRO-project 910 hebben de partners zich gebogen over de vraag wat diepe geothermie voor Vlaanderen zou kunnen betekenen. Hierbij kwamen zowel maatschappelijke, technische, economische als wetgevende aspecten aan bod. Op basis van de analyses en gesprekken met verschillende stakeholders kunnen we een antwoord geven op de vragen die we ons aan het begin van het project stelden. De antwoorden zijn **voorwaardelijke positief**. De analyse maakt immers ook duidelijk dat de ontwikkeling van diepe geothermie niet op zich kan staan. Een belangrijke randvoorwaarde is dat er werk gemaakt wordt van de **uitrol van warmtenetten**. De ontwikkelingen moeten bovendien gekaderd en ondersteund worden door een **energiebeleid** dat stoelt op efficiëntie en groene warmte en door een **aangepaste ruimtelijke ordening**. Indien aan die voorwaarden wordt voldaan kan geothermie in loop van de komende decennia uitgroeien tot een belangrijke bron van duurzame warmte en elektriciteit.

Geothermie kan leiden tot een constante energieprijis, zowel voor warmte als voor elektriciteit, voor industrieel en huishoudelijk gebruik in de Kempen, Limburg en bij uitbreiding Vlaanderen. De technische analyse uitgevoerd onder EFRO-project 910 leert dat diepe geothermie een economisch interessant alternatief kan zijn voor **grote en collectieve verwarmingssystemen** op basis van gas. Data verzameld door EGEC bevestigt dat de warmteprijis voor eindgebruikers die aangesloten zijn op een warmtenet dat gevoed wordt met geothermie competitief is met verwarming op basis van aardgas²⁸. De prijs is bovendien stabiel. Indien voldoende warmte kan verkocht worden, is ook elektriciteitsproductie op basis van diepe bronnen economisch haalbaar: een recente studie acht een productiekost van minder dan 100 Euro/MWh haalbaar voor grote delen van Europa²³. Gekoppeld aan warmtelevering is 50 Euro/MWh of minder haalbaar.

Geothermie kan zorgen voor een betekenisvolle vermindering van de import van energie (elektriciteit en koolwaterstoffen). Een goed functionerend geothermisch doublet kan jaarlijks tot 200 GWh aan warmte of 20 GWh aan elektriciteit leveren. Deze warmteproductie volstaat om ruim 10.000 Vlaamse woningen te verwarmen. Om dezelfde hoeveelheid warmte te produceren met gasboilers zou ruim 22 miljoen m³ aardgas nodig zijn. Bij volledige ontwikkeling van het geothermische potentieel in de Antwerpse en Limburgse Kempen kan die besparing oplopen tot boven 1 miljard m³. De import van dat aardgas kost Vlaanderen vandaag ruim 220 miljoen Euro. In combinatie met elektriciteitsproductie kunnen de baten nog hoger oplopen. We kunnen dan ook stellen dat diepe geothermie Vlaanderen een stuk minder afhankelijk kan maken van de import van energie. Dit zal een positieve weerslag hebben op onze handelsbalans en op de leveringszekerheid van warmte en elektriciteit.

Geothermie is een alternatief voor het duurzaam verwarmen van bestaande woningen en historische gebouwen. In combinatie met warmtenetten maakt geothermie het immers mogelijk om de warmtevraag van bestaande gebouwen te verduurzamen en de uitstoot van CO₂, NO_x en fijn stof gevoelig te verminderen. In vergelijking met individuele verwarming

²⁸ EGEC, 2012. Geothermal Market Report 2012. <http://www.egec.org>

op basis van aardgas stoot stadsverwarming op basis van een goed presterend geothermische doublet jaarlijks 45.000 ton minder CO₂ uit. Bij grootschalig uitrol van de technologie over hele Kempen kan de Vlaamse CO₂-uitstoot met 2.000.000 ton per jaar dalen. Deze verduurzamingsslag stelt de noodzaak van extreme eisen op het vlak van isolatie en de energieprestatie van gebouwen in vraag. Een aangepast beleid dat rekening houdt met de mogelijkheden van collectieve vormen van hernieuwbare energieproductie en warmtenetten kan er toe bijdragen dat het opgebouwde maatschappelijk kapitaal in bestaande woningen en gebouwen behouden blijft.

Geothermie kan leiden tot het versterken van de Vlaamse economie door de realisatie van aanzienlijke bouw- en energieprojecten. Binnen de juiste projectopzet is geothermie nu reeds rendabel. In de toekomst kan die rendabiliteit enkel stijgen. Er is dus ruimte voor investeringen door zowel publieke als private partijen. Die investeringen zullen gepaard gaan met jobcreatie: er zouden tegen 2050 een 1.500 jobs kunnen bijkomen.

Om dit potentieel te realiseren is er nood aan een reeks **technologische en niet-technologische ontwikkelingen**. De technologische ontwikkelingen zijn gericht op het verminderen van de ontwikkelingsrisico's, het verlagen van de investerings- en werkingskosten en het efficiënter benutten van de gewonnen warmte. Via deze technologische ontwikkelingen zouden op een termijn van 10 tot 15 jaar de kosten voor warmteproductie met minimaal 20% en die voor elektriciteitsproductie met 45% kunnen dalen. De niet-technologische ontwikkelingen moeten helpen een kader te creëren dat toelaat om het potentieel op een maatschappelijk verantwoorde manier te ontwikkelen. Aardwarmte is een eigenschap van onze leefomgeving die iedereen aanbelangt. De ontwikkeling er van vraagt dan ook om een actieve betrokkenheid van alle maatschappelijke actoren en moet rekening houden met de zwaksten in onze samenleving. Daarnaast moet werk gemaakt worden van een **geïntegreerd beleid** op het vlak van energie, ruimtelijke ordening en ondergrond.

AANVULLENDE INFORMATIE

- CEER Benchmarking report 5.1 on the continuity of electricity supply, Revised version: 11 February 2014, ref. C13-EQS-57-03: http://ceer.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Electricity/Tab3/C13-EQS-57-03_BR5.1_19-Dec-2013_updated-Feb-2014.pdf
- D. Vos, F. De Ridder, S. De Breucker, 2014. Eindrapport EFRO project GEOTHERMIE 2020: netintegratie. VITO-rapport ETE/1410166/2015-0001. <https://www.diepegeothermie.be>
- D. Walraven, 2014. Optimization of the Energy Conversion Starting from Low-Temperature Heat. Application to Geothermal Binary Cycles. Dissertation presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor in Engineering, KU Leuven: <http://www.mech.kuleuven.be>
- ECN, 2011. Geothermische energie en de SDE: Inventarisatie van de kosten van geothermische energie bij opname in de SDE. Rapport ECN-E--11-022. <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/e11022.pdf>
- EGEC, 2014. Market report 2013/2014. <http://www.egec.org>
- GEODH, 2014. Developing geothermal district heating in Europe. <http://www.geodh.eu>
- GEOELEC, 2013. A prospective study on the geothermal potential in the EU. <http://www.geoelec.eu/concep/library>
- GEOHEAT-APP. 2013-2014, Economische haalbaarheid van intermediaire en diepe geothermie voor het verduurzamen van de warmtevraag bij bouw- en renovatieprojecten. VITO, Grontmij-Nederland en TNO, Interreg Vlaanderen-Nederland. <http://www.vito.be/geoheatapp>
- IDEA Consult, 2015. De economische kansen van geothermie voor Vlaanderen. <http://www.diepegeothermie.be>
- IF Tech, 2011. Diepe geothermie 2050: Een visie voor 20% duurzame energie voor Nederland. Rapport 23.822/109143/GW. http://geothermie.nl/fileadmin/user_upload/documents/reports/IF_Ecofys_TNO_-_Visie_diepe_geothermie.pdf
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. <http://mitigation2014.org>
- MIT, 2006. The future of geothermal energy. MIT-report INL/EXT-06-11746; ISBN 0-615-13438-6 <http://mitei.mit.edu/publications/reports-studies/future-geothermal-energy>
- Renewable Heating and Cooling Platform, 2012. Strategic Research Priorities for Geothermal Technology. <http://www.rhc-platform.org>
- S. Vranckx, M. Van der Meulen, L. Poelmans, I. Uljee, G. Engelen, D. Lagrou en B. Laenen, 2015. Eindrapport EFRO project GEOTHERMIE 2020: Ruimtelijke Inplantingsanalyse. VITO-rapport RMA/1410166/2015-0001. <https://www.diepegeothermie.be>
- VITO, Eandis, Infrac, Elia, 2012. Onthaalcapaciteit decentrale productie in Vlaanderen. 2011 – 2020: http://www.elia.be/~media/files/Elia/publications-2/investment-plans/8343_studie_onthaalcapaciteit_v9.pdf



Contactpersonen:

Ben Laenen (VITO) ☎ +32 14 33 56 38

Stijn Sneyers (IOK) ☎ +32 14 56 27 86

Jan Hendrickx (Voka KvK Kempen) ☎ +32 14 56 30 30

GEOOTHERMIE 2020



Met de financiële steun van:

