



Gemeente Hengelo

**Evaluatie van de mogelijkheden die de
ondergrond van de gemeente Hengelo biedt
voor warmtetoepassingen – een quickscan**





Gemeente Hengelo

**Evaluatie van de mogelijkheden die de
ondergrond van de gemeente Hengelo
biedt voor warmtetoepassingen – een
quicksan**

Opdrachtgever	Gemeente Hengelo Postbus 18 7550 AA Hengelo 074-245 9625
Adviseur	Ekwadraat BV Legedijk 4 8935 DG Leeuwarden 088-4000 500 088-4000 509 info@ekwadraat.com
Colofon	Contactpersoon: dhr. Euverink Auteurs: F. van Bergen Versie: 1.0 Status: Definitief Datum: 15 maart 2019 Projectnummer: 101833



Samenvatting

De gemeente Hengelo is bezig met de overgang van fossiele naar hernieuwbare energie en in dat kader wordt gewerkt aan een transitievisie warmte. In Hengelo wordt de levering van warmte via een warmtenet gezien als een oplossing die een belangrijke rol gaat spelen. Het bestaande warmtenet wordt momenteel gevoed door restwarmte van Nouryon wat een zeer kosteneffectieve oplossing biedt. Uitbreiding van het warmtenet zal in de toekomst echter ook hogere eisen stellen aan de leveringszekerheid, wat bereikt zal moeten worden door diversificatie van de opwekmogelijkheden. Opties voor opwek van warmte zijn geothermie, Hoog Temperatuur warmte/stoom (vanuit Twence), biomassa (via directe verbranding of via vergisting naar gas en vervolgens verbranding), Warmte-Koude opslag (WKO), al dan niet in combinatie met zonthermie of thermische energie uit oppervlaktewater of power-to-heat. De doelstelling van het onderzoek is om, gegeven de warmtevraag, op hoofdlijnen te kijken welke mogelijkheden de ondergrond biedt en om een indicatie te geven van de kosten die daarmee gepaard gaan. De focus ligt hierbij op de mogelijkheden voor geothermie in de omgeving van Hengelo.

De evaluatie laat zien dat de landelijk gezien meest geschikte gesteentelagen voor de winning van aardwarmte in Hengelo niet aanwezig zijn. Hierdoor zijn ook de mogelijkheden voor toepassing van geothermie beperkter en tegen hogere kosten. Er is een zeer grote kans is dat de kosten voor afname van de warmte die opgewekt is met de geëvalueerde systemen enkele malen hoger zullen liggen dan het gangbare tarief voor restwarmte. Voor deze kosten is al berekend met een terugverdientijd van 30 jaar, wat niet aantrekkelijk is voor marktpartijen en private investeerders. De kosten voor de opwek, oftewel de benodigde afnameprijs voor de warmte, lijken momenteel te hoog voor de energiebedrijven die de warmte aan de klanten zullen leveren omdat er waarschijnlijk te weinig marge zit tussen deze prijs die maximaal aan de klant gerekend mag worden en de kosten voor de opwek. Zolang er voldoende aanbod is van restwarmte in de omgeving lijkt geen van bovenstaande opties te kunnen concurreren.

Mogelijk is er nog wel belangstelling voor de geothermie als invulling van de basislast van het lage temperatuurnetwerk. De geothermiebron kan hiermee mogelijk de systeemstabiliteit en leveringszekerheid van het net vergroten, wat belangrijk kan zijn bij een opschaling van het huidige warmtenet. De hogere kosten per GJ zijn dan wellicht acceptabel en kunnen mogelijk worden verdisconteerd in de warmteprijs als het aandeel vanuit de geothermie klein blijft.



Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
2	De ondergrond van Hengelo	7
2.1	Geologische data in de omgeving van Hengelo.....	8
2.2	Korte omschrijving van de geologie in de omgeving van Hengelo.....	9
3	Mogelijkheden voor ondiepe en reguliere geothermie in de gemeente Hengelo.....	14
3.1	ThermoGIS.....	14
3.2	Keuze voor mogelijke locaties in de gemeente Hengelo.....	14
3.3	Belangrijke parameters ter bepaling van de geothermische potentie.....	14
3.3.1	Diepte van de lagen	14
3.3.2	Temperatuur.....	17
3.3.3	Porositeit	17
3.3.4	Permeabiliteit	17
3.3.5	Overzicht van de belangrijke parameters.....	17
3.4	Indicatie van de technische potentie van geothermie	18
3.4.1	Onder Detfurth Zandsteen Laagpakket	18
3.4.2	Tubbergen zandstenen.....	19
3.4.3	Evaluatie van de technische potentie.....	19
3.5	Verbinding geothermielocaties met het warmtenet in Hengelo	20
3.6	Indicatie van de kosten van het systeem	21
3.6.1	Onder Detfurth zandstenen	22
3.6.2	Tubbergen zandstenen	24
4	Mogelijkheden voor ultradiepe geothermie in de gemeente Hengelo.....	27
5	Overige mogelijkheden voor het gebruik van de ondergrond in Hengelo voor warmte	30
5.1	WKO-systeem	30
5.1.1	Indicatie van de technische potentie en terugverdiendtijd van WKO	31
5.1.2	Indicatie van de technische potentie en terugverdiendtijd van WKO met Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO).....	33
5.2	WKO systeem in combinatie met een zonthermisch systeem	35
5.2.1	Indicatie van de technische potentie en terugverdiendtijd van WKO in combinatie met zonthermie	35
5.3	Mogelijkheden voor warmtesystemen met opslag van warmte	37
6	Conclusies en aanbevelingen	39



1 Inleiding

De gemeente Hengelo is bezig met de overgang van fossiele naar hernieuwbare energie en in dat kader wordt gewerkt aan een transitievisie warmte, voorheen geheten warmteplan. Hierin wordt beschreven welke aardgasloze technieken de warmtevraag kan invullen voor de wijken in de gemeente en hoe de overgang gemaakt kan worden van fossiel naar hernieuwbare energie. In Hengelo wordt de levering van warmte via een warmtenet gezien als een oplossing die een belangrijke rol gaat spelen. De gemeente Hengelo heeft een pioniersrol gespeeld in de realisatie van een innovatief warmtenet dat als eerste gebruik maakt van lage temperatuur industriële restwarmte. Een showcase van landelijk, zo niet wereld-, formaat. Momenteel is de gemeente bezig met de uitvoering van het programma Nieuwe Energie Hengelo (NEH) 2017-2021 waar gewerkt wordt aan een gezond, groen en energieneutraal Hengelo. De gemeente zal in de nabije toekomst moeten kiezen voor een grootschalige uitbreiding van het warmtenet of zal in moeten zetten op collectieve of individuele alternatieven voor de warmtevoorziening. Als eerste stap is uitbreiding van het warmtenet voorzien naar de Wilderinkshoek. De Nijverheid is door het ministerie geselecteerd als voorbeeldlocatie voor Aardgasvrije Wijken, wat betekent dat de 100 jaar oude Hengelose wijk aardgasvrij gemaakt gaat worden en daar een forse bijdrage van het Rijk voor krijgt.

Het bestaande warmtenet wordt momenteel gevoed door restwarmte van Nouryon wat een zeer kosteneffectieve oplossing biedt. Uitbreiding van het warmtenet zal in de toekomst echter ook hogere eisen stellen aan de leveringszekerheid, wat bereikt zal moeten worden door diversificatie van de opwekmogelijkheden. Aangezien er naast Nouryon beperkte mogelijkheden zijn voor de invoering van restwarmte in de omgeving zullen de overige opwekmogelijkheden geëvalueerd moeten worden. Opties hiervoor zijn geothermie, Hoog Temperatuur warmte/stoom (vanuit Twence), biomassa (via directe verbranding of via vergisting naar gas en vervolgens verbranding), Warmte-Koude opslag (WKO), al dan niet in combinatie met zonthermie of thermische energie uit oppervlaktewater of power-to-heat. Hierbij is het essentieel om aan te geven dat de vier laatstgenoemde opties sterk afhankelijk zijn van de mogelijkheden voor seizoensopslag met een groot volume. Voor deze opslag kan gebruik worden gemaakt van bovengrondse opslagtanks, die echter wel een landschappelijke impact hebben, of van ondergrondse opslag. Hierbij moet gedacht worden aan ingegraven tanks of opslag in ondiepe lagen (dus WKO). De gemeente Hengelo heeft mogelijk nog een derde optie door de aanwezigheid van zoutcavernes. De conclusie uit het bovenstaande is echter dat, afgezien van de biomassaoptie, de (on)diepe ondergrond een belangrijke rol gaat spelen indien er voor een warmtenet wordt gekozen.

Op korte termijn moet daarom de vraag beantwoord worden of de ondergrond van Hengelo voldoende potentieel biedt om de toekomstige vraag naar warmte via het warmtenet te ondersteunen. Hierbij dienen in eerste instantie de mogelijkheden voor geothermie te worden verkend, maar moeten de overige toepassingsmogelijkheden worden meegenomen. Deze verkenning zal worden uitgevoerd als projectmodule onder de regionale samenwerking ondergrond, Onder Twente.



De doelstelling van het onderzoek is om, gegeven de warmtevraag, op hoofdlijnen te kijken welke mogelijkheden de ondergrond biedt en om een indicatie te geven van de kosten die daarmee gepaard gaan.



2 De ondergrond van Hengelo

De ondergrond van Nederland wordt veelvuldig gebruikt voor diverse toepassingen, zoals het onttrekken van delfstoffen, de opslag van diverse media of de aanleg van infrastructuur. De voornaamste focus van dit onderzoek richt zich op de mogelijkheden voor geothermie in de gemeente Hengelo. Aardwarmte kan binnen de Nederlandse regelgeving gewonnen worden uit gesteentelagen dieper dan 500m onder het maaiveld. Tot 500m geldt de verplichting dat er balans moet zijn tussen de onttrekking en opslag van warmte en de ondergrond leent zich dan met name voor seizoen gerelateerde toepassingen.

Binnen Nederland zijn er veel gegevens over de ondergrond bekend en zijn deze veelal terug te vinden in DINOloket¹, de onlinedatabase van TNO, Geologische Dienst Nederland. Deze gegevens komen uit de database van DINO én de BRO (Basisregistratie Ondergrond). Gegevens gerelateerd aan de Mijnbouwwet zijn te vinden op NLOG². Omdat de voornaamste focus van dit onderzoek zich richt op de mogelijkheden voor geothermie in de gemeente Hengelo is met name naar de laatstgenoemde bron gekeken voor de beschikbaarheid van data.

Het is hierbij belangrijk om te beseffen dat de beschikbaarheid van data en daarmee de kennis over de ondergrond afneemt met de diepte. Oftewel, de onzekerheid over hoe de ondergrond er precies uit ziet neemt toe met de diepte. Dit komt onder andere doordat er veel meer ondiepe boringen zijn dan diepe boringen die in het algemeen technisch uitdagender zijn en meer geld kosten. Daarnaast neemt de complexiteit van de geologie van Nederland toe met de diepte, als gevolg van de geologische geschiedenis (zie bijvoorbeeld Figuur 3). Denk hierbij aan de aanwezigheid van breuken in de ondergrond waarlangs de aardlagen verschoven kunnen zijn. Tussen diepe boringen (>500 m) zit vaak een afstand van enkele kilometers waar via interpolatie een idee van de opbouw van de ondergrond moet worden geschetst. Dit kan soms lastig zijn als deze opbouw gecompliceerder is dan een gestapeld lagenpakket. Seismische informatie is meestal essentieel, maar deze informatie is niet overal beschikbaar. In het geval van 2D seismiek moet de opbouw van de ondergrond tussen de lijnen ook worden geschetst op basis van interpolatie. Naast de opbouw van de ondergrond zijn ook de eigenschappen van de gesteentelagen, zoals de doorlaatbaarheid, essentieel voor succesvolle toepassing van verschillende wintechnieken. Deze eigenschappen zijn niet of over een beperkt deel van de boortrajecten gemeten en moeten daarom worden afgeleid van andere data of worden geïnterpreteerd door een vergelijking te trekken met metingen die op andere locaties zijn gedaan. Het is vaak lastig of onmogelijk om dit soort informatie uit bestaande (oude) seismische informatie te halen.

Het gevolg van de onzekerheden in de opbouw van de ondergrond leidt er toe dat er ook onzekerheden zitten in de waardes van de parameters die in dit rapport gebruikt zijn. Dit is veelal opgevangen door uit te gaan van distributies van mogelijke parameter-waardes in plaats van een enkele unieke waarde.

¹ www.dinoloket.nl

² www.nlog.nl



2.1 Geologische data in de omgeving van Hengelo

Onderstaande kaart, Figuur 1, geeft een overzicht van de beschikbare seismische data (2D en 3D) en de geboorde diepe putten in de omgeving van Hengelo. Hierbij is duidelijk de locatie van de zoutwinning ten zuidoosten van de stad Hengelo te onderscheiden aan de hand van de vele putten die geboord zijn. De boorputten buiten het zoutwinningsgebied zijn veelal geboord voor de exploratie naar olie en gas. In 1997 is het Deurningen gasveld ontdekt door NAM door boring Deurningen-01 en gesitueerd op de grens tussen het zgn. Overijssel-Achterhoek Platform en het zgn. Lower Saxony Basin. Het gas is aangetroffen in de gesteentelagen van het Zechstein³. Het gasveld geldt als “gestrand”, d.w.z. dat het veld momenteel niet commercieel te ontwikkelen valt. Vanwege de exploratieactiviteiten naar olie en gas is er ten noorden en noordoosten van Hengelo 3D seismische informatie beschikbaar. Deze informatie ontbreekt ten zuiden van Hengelo waardoor de onzekerheid over de geologie hier groter is. Ten zuidwesten van Hengelo is er in de jaren tachtig nabij Hengevelde nog een boring geplaatst die het potentieel aan winbare kolenlagen in de regio heeft geëxploreerd. Hier is veel informatie over de gesteentelagen van het Carboon in de regio verkregen.

Bij zowel de exploratie naar olie en gas als naar zout is er in het algemeen weinig aandacht besteed aan de ondiepere lagen. Hoewel de putten hier logischerwijs altijd doorheen werden geboord is de beschikbare informatie over deze lagen in het algemeen beperkt.

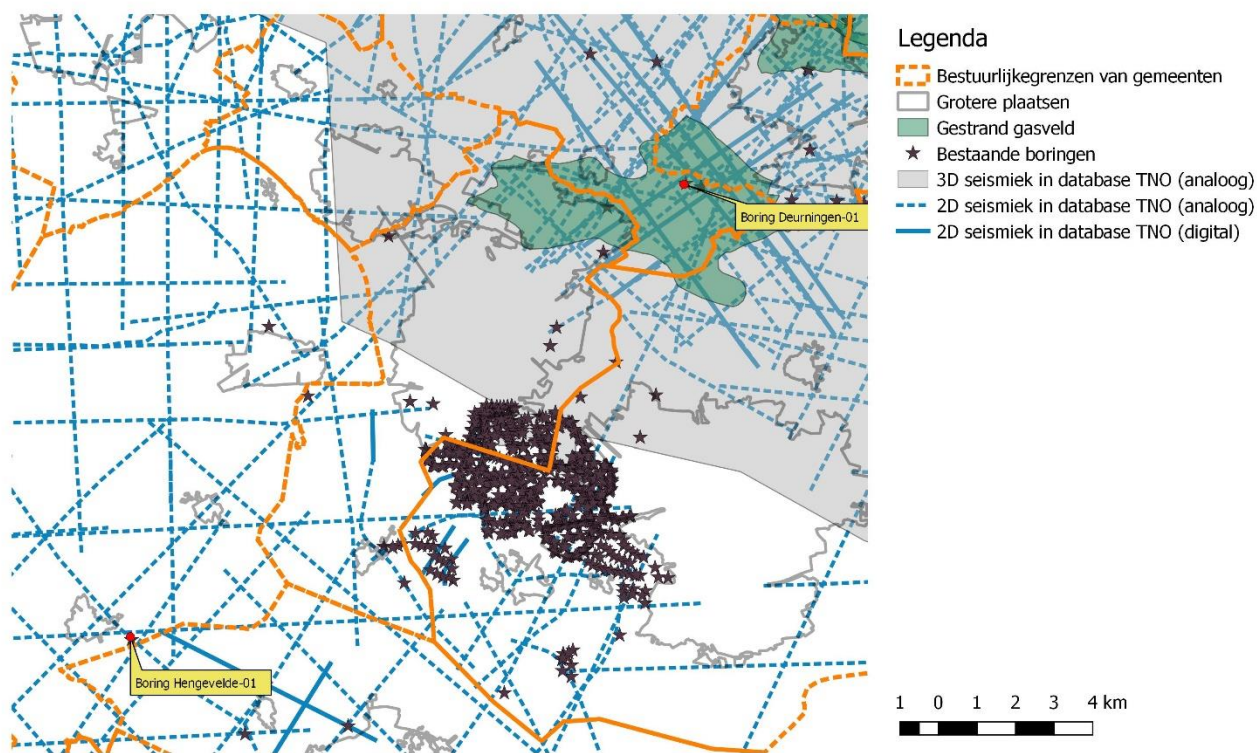
TNO heeft op basis van de beschikbare informatie de geologie in het gebied gekarteerd in het kader van het landelijk karterprogramma. Dit heeft in 1998 geresulteerd in de publicatie van dieptekaarten van verschillende gesteentelagen⁴ welke in 2003 zijn opgenomen in de publicatie van de landelijk dekkende Geologische Atlas van Nederland⁵. Sinds deze publicatie zijn verschillende updates uitgevoerd en kaarten van diepte en eigenschappen van meerdere gesteentelagen toegevoegd. De laatste toevoeging was de online publicatie van kaarten van diverse reservoirgesteentelagen op de ThermoGIS website⁶ (laatste update: november 2018) op regionale schaal. Reservoirs zijn belangrijk voor alle toepassingen omdat deze allemaal afhankelijk zijn van de ruimte die in de ondergrond aanwezig is. Dit gaat merendeels om de onderling verbonden poriën die in het gesteente aanwezig zijn of gecreëerd kunnen worden. In bijzondere situaties, zoals bij zoutcavernes, gaat het bij ruimte in de ondergrond ook daadwerkelijk om holtes in het gesteente die meestal gevuld zijn met (zout) water. Deze laatstgenoemde reservoirkaarten zijn gebruikt voor deze studie.

³ <https://www.nlog.nl/sites/default/files/fact%20sheet%20deurningen.pdf>

⁴ https://www.nlog.nl/sites/default/files/toelichting_kbx.pdf

⁵ <https://www.nlog.nl/geologische-atlas-van-de-diepe-ondergrond-van-nederland>

⁶ <https://www.thermogis.nl/>

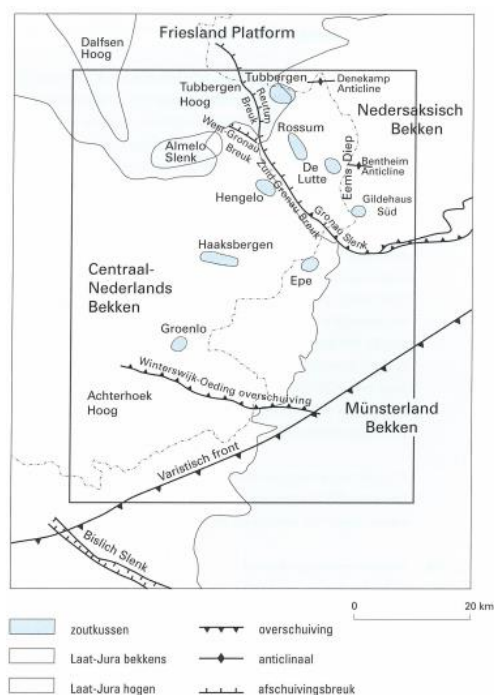


Figuur 1 Overzicht van de beschikbaarheid en locatie van seismische informatie en locatie van diepe boringen in de omgeving van Hengelo

2.2 Korte omschrijving van de geologie in de omgeving van Hengelo

Voor een uitgebreide beschrijving van de geologische geschiedenis en ontwikkeling wordt verwezen naar de publicatie van NITG-TNO (1998)⁷. Het gebied is in de loop van de geologische geschiedenis verschillende keren gedaald, waarbij sedimenten werden afgezet en weer opgeheven, waarbij grote delen van het gebied aan erosie onderhevig waren en als gevolg daarvan de eerder afgezette sedimenten weer verdwenen. Hierbij is het belangrijk om aan te geven dat er ook in de regio nog veel verschillen zitten, met name aan beide kanten van de Gronau Breukzone. Deze loopt ten noordoosten van de gemeente Hengelo in noordwest-zuidoostelijke richting (Figuur 2). Als gevolg hiervan ontbreken er in het gebied rond Hengelo veel gesteentelagen die elders in Nederland wel aanwezig zijn, waaronder de gesteentelagen waaruit momenteel aardwarmte wordt geproduceerd.

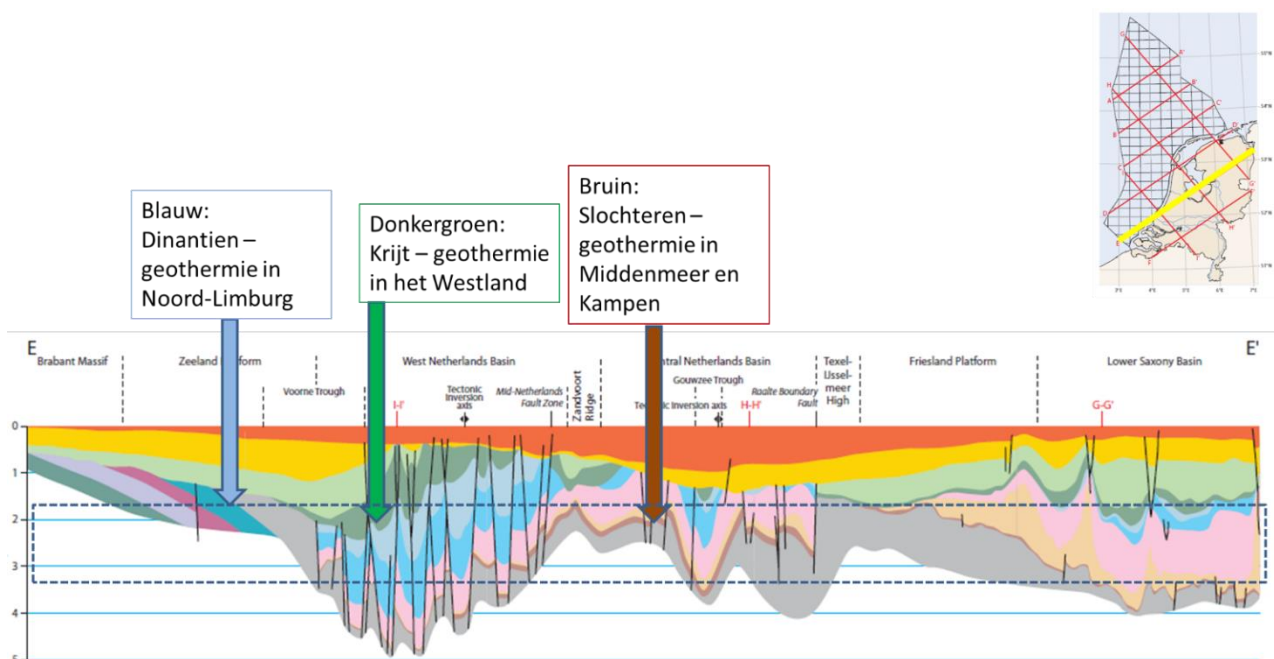
⁷ https://www.nlog.nl/sites/default/files/toelichting_kbx.pdf



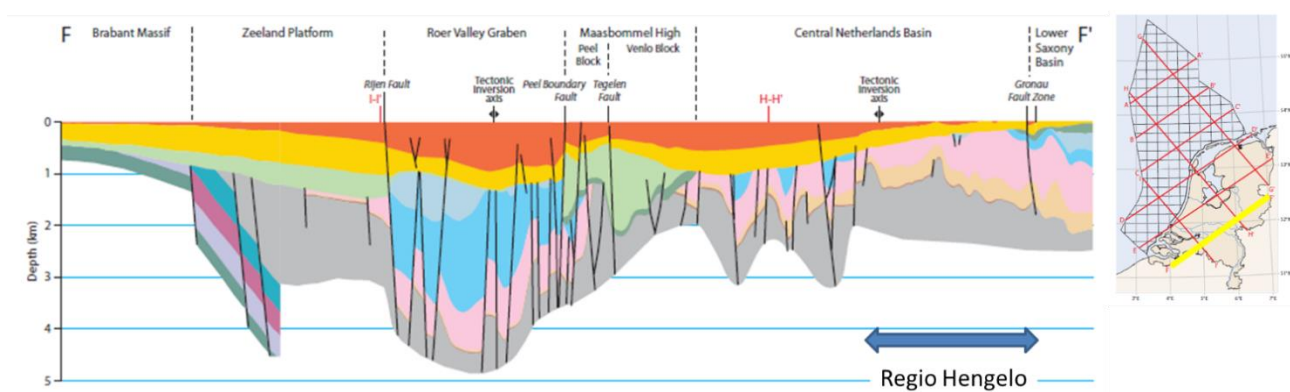
Figuur 2 Locatiekaart met een overzicht van de ligging van de voor de geologische ontwikkeling van het gebied van belang zijnde structurele eenheden, breukzones en zoutkussens (uit NITG-TNO, 1998)

Om dit te illustreren zijn enkele dwarsdoorsnedes door Nederland getoond in Figuur 3 en Figuur 4. De geothermie doubletten in het Westland winnen tot nu toe allen warmte uit zandsteenreservoirs uit het Krijt. Zoals uit de doorsnedes blijkt zijn deze gesteentes nauwelijks aanwezig en de vergelijking tussen het geothermie-potentieel rondom Hengelo met de geothermieresultaten uit het Westland zijn daarom moeilijk te maken. Hetzelfde geldt voor de resultaten uit het gebied rond Middenmeer en Kampen, waar aardwarmte wordt gewonnen uit de Slochteren Formatie. Ook deze formatie is niet of nauwelijks aanwezig in het gebied rond Hengelo. In Noord-Limburg zijn de geothermiedoubletten geboord naar het Dinantien, een gesteentelaag van Carboon ouderdom. Gesteentelagen van deze ouderdom liggen in het gebied rond Hengelo dusdanig diep dat ze in 2006 nog niet gekarteerd werden en nog niet op de dwarsdoorsnedes zijn ingetekend. Gezien de grotere diepte in vergelijking met Limburg zijn de resultaten van de doubletten rond Californië (L) moeilijk te extrapoleren. In recente jaren heeft TNO voor het Dinantien wel een dieptekaart uitgebracht. Mits de geschiktheid van deze lagen op diepte kan worden aangetoond zou uit deze lagen aardwarmte kunnen worden gewonnen. Gezien de diepte zou het dan om Ultra Diepe Geothermie gaan, waarover later meer. In Zevenbergen zijn de mogelijkheden onderzocht naar winning van aardwarmte uit relatief ondiepe (500-1250m) lagen uit het Tertiair⁸. Deze lagen zijn in het gebied rond Hengelo niet of met geringe dikte aanwezig en liggen allen ondieper dan 500m.

⁸ <https://www.vshanab.nl/nl/activiteiten/lage-temperatuur-aardwarmte>



Figuur 3 Dwarsdoorsnede door Nederland, oorspronkelijke figuur uit Duin et al. (2006)⁹



Figuur 4 Dwarsdoorsnede door Nederland, oorspronkelijke figuur uit Duin et al. (2006)

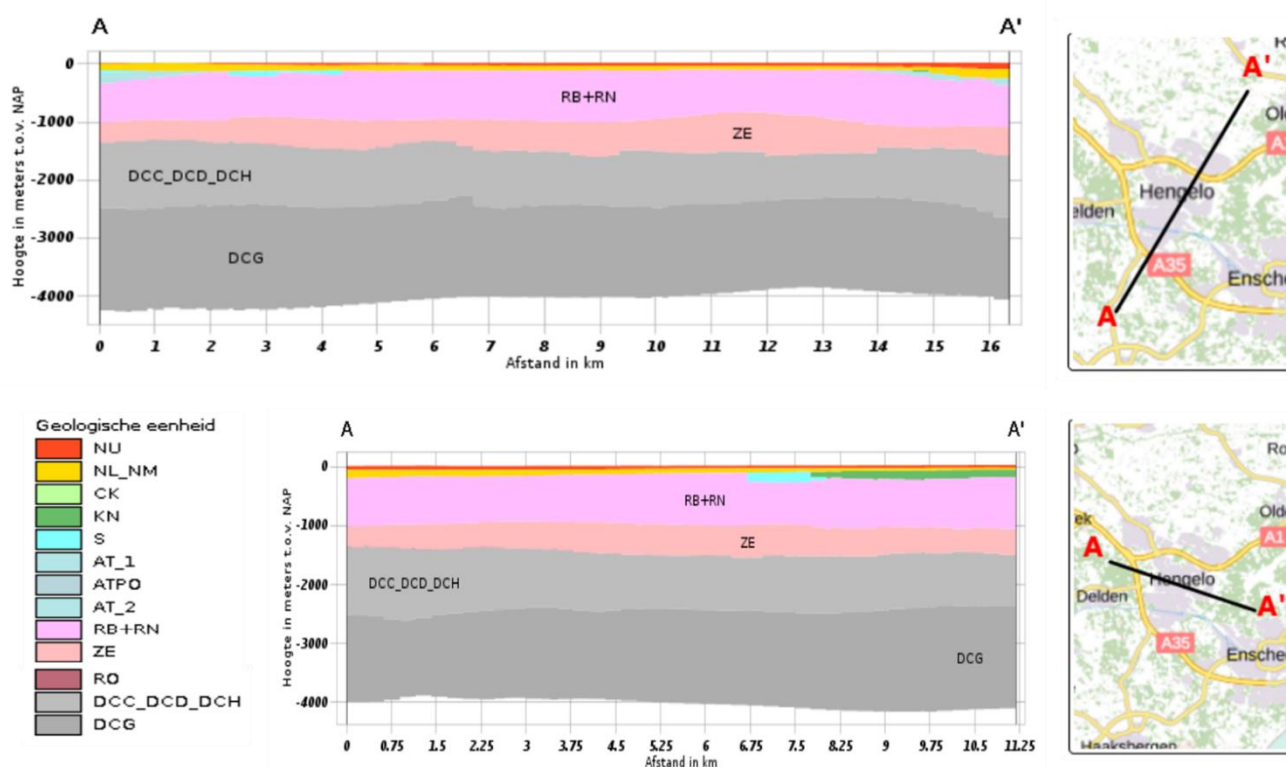
Via Dinoloket zijn er ook specifieke dwarsdoorsnedes gemaakt door het grondgebied van de gemeente Hengelo (Figuur 5). Hierin wordt ook zichtbaar dat de haalbaarheid van de toepassing van geothermie rondom Hengelo dus bepaald wordt door de geschiktheid van gesteentelagen waar nog nauwelijks ervaring mee is: lagen uit het Trias en het Carboon. In vergelijking met de eerdergenoemde gesteentelagen zijn deze lagen over het algemeen minder geschikt door onder andere (meestal) een geringere dikte, lagere permeabiliteit (bijv. door cementatie) en minder connectiviteit door meer heterogeniteit. Indien er in een gebied betere kandidaten aanwezig zijn, wat in Hengelo dus niet het geval is, zal de voorkeur daarom niet naar deze lagen uitgaan. In 2018 is er geboord naar het Trias in het Westland maar daar bleken de Trias-

⁹ https://www.nlog.nl/sites/default/files/njg-85-4_duin.pdf



zanden op 4 kilometer diepte op deze locatie niet geschikt voor rendabele warmtewinning¹⁰. Vergelijking met de Triaszanden in Twente is opnieuw lastig vanwege het verschil in diepte en de verschillen in het gesteente gezien de afstand tot het Westland.

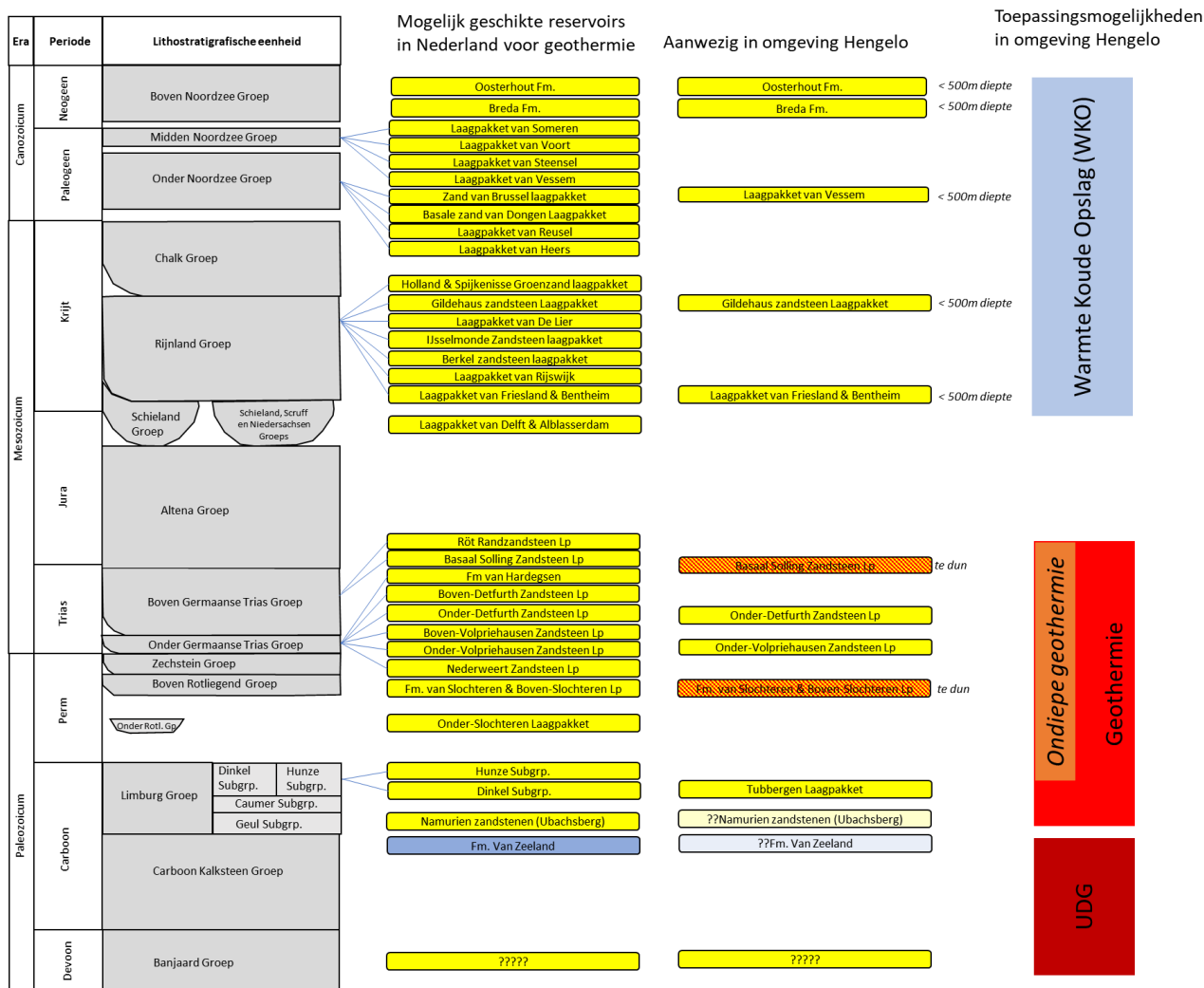
Aangezien de meest geschikte gesteentelagen van Nederland voor de winning van aardwarmte in de omgeving van Hengelo niet aanwezig zijn, is de onderzoeksvraag in dit rapport of er in de gesteentelagen die wél aanwezig zijn toch nog iets met geothermie te doen is.



Figuur 5 Dwarsdoorsneden door het grondgebied van de gemeente Hengelo

Hierbij is in eerste instantie gekeken naar de inschattingen van het potentieel via ThermoGIS. Hierbij moet worden opgemerkt dat deze informatie veelal regionaal is en daarmee indicatief. Op lokaal niveau dienen deze altijd geverifieerd te worden. Op basis van deze informatie is er een overzicht gegeven van de reservoirs die in Hengelo aanwezig zijn (Figuur 6). Deze informatie is getoetst aan de hand van de (stratigrafische) informatie uit de boringen in de omgeving van Hengelo (via www.nlog.nl). De indicatie voor mogelijke toepassingen in de omgeving van Hengelo is bepaald door de diepteligging van de lagen. Geothermie mag alleen worden toegepast in gesteentelagen die dieper dan 500 m liggen.

¹⁰ <https://www.triaswestland.nl/nieuws/trias-westland-wordt-onder-krijtproject-schat-aan-bodemdata-opgehaald>



Figuur 6 Overzicht van reservoirs in Nederland en in de omgeving van Hengelo. De lithostratigrafische eenheden zijn gebaseerd op Duin et al. 2006



3 Mogelijkheden voor ondiepe en reguliere geothermie in de gemeente Hengelo

3.1 ThermoGIS

In de ThermoGIS mapviewer is het potentieel bekeken van het Onder Detfurth Zandsteen laagpakket, het Onder Volprieausen Zandsteen Laagpakket en van de Dinkel Subgroep. Geen van deze reservoirs worden in ThermoGIS aangemerkt als reservoir met enige potentie in het gebied rond Hengelo. Voordat deze conclusie kan worden getrokken is het belangrijk om deze inschattingen te verifiëren, onder andere wegens het regionale karakter van ThermoGIS. Er is daarom specifiek onderzoek gedaan naar de mogelijkheden op drie verschillende locaties.

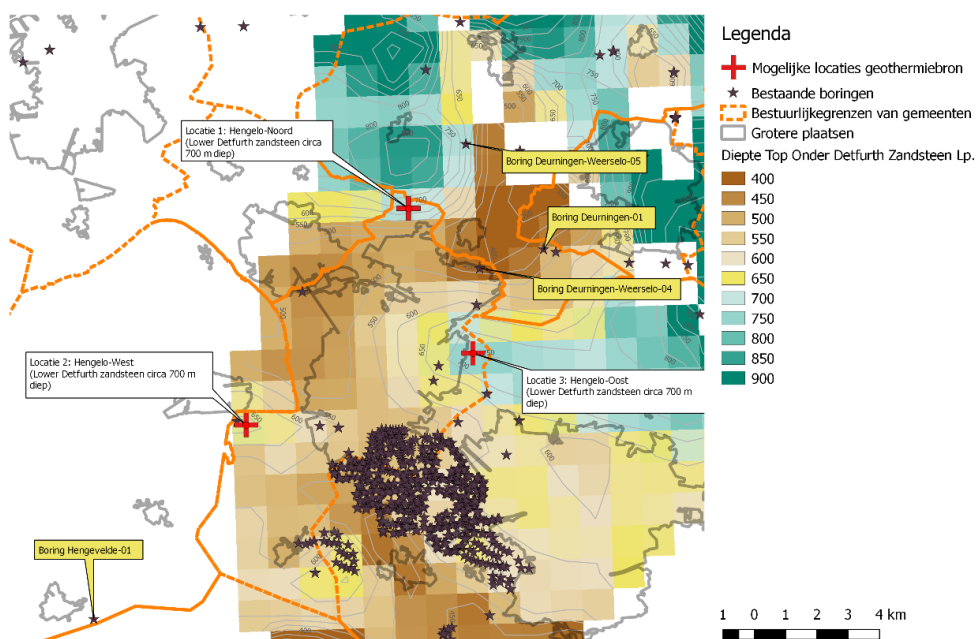
3.2 Keuze voor mogelijke locaties in de gemeente Hengelo

Voor geothermie geldt er dat er voor een aantal cruciale parameters voor succesvolle exploitatie een afhankelijkheid is van de diepte. De belangrijkste parameters die een diepteafhankelijkheid hebben zijn temperatuur, die toeneemt met de diepte wat gunstig is, en porositeit (en daarmee in het algemeen ook permeabiliteit), die afneemt met de diepte wat ongunstig is. Daarnaast is het belangrijk om te realiseren dat boorkosten en onzekerheden exponentieel toenemen met de diepte. In het bereik waarin de voornaamste reservoirgesteentes in de gemeente Hengelo liggen (circa 500-2000m) is de temperatuurafhankelijkheid het belangrijkste. In dit dieptebereik geldt in algemene zin: des te dieper, des te groter de potentie.

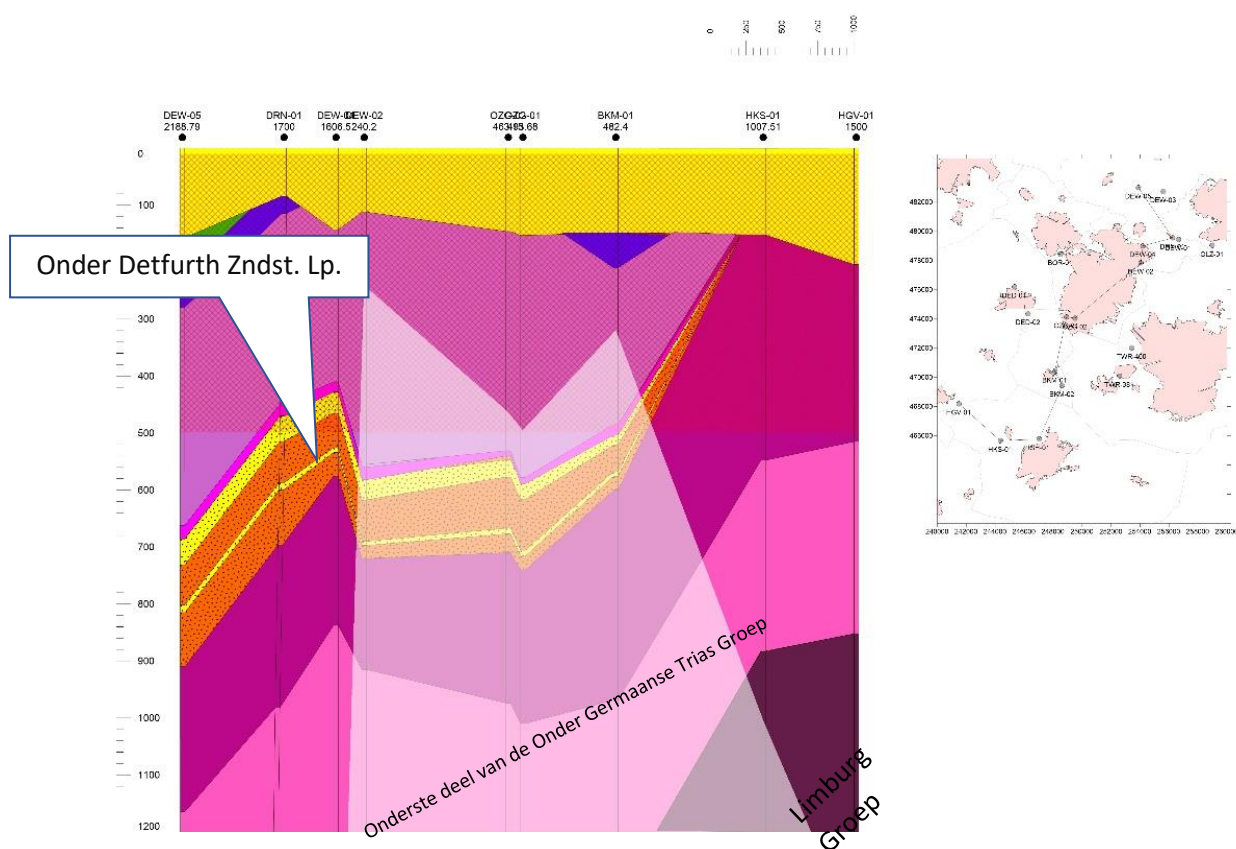
3.3 Belangrijke parameters ter bepaling van de geothermische potentie

3.3.1 Diepte van de lagen

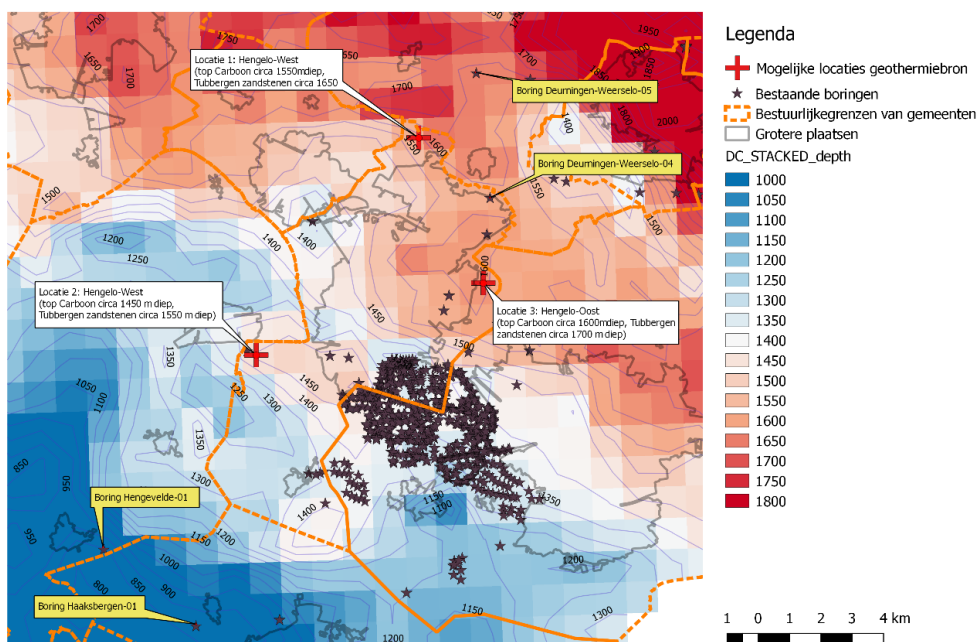
De dieptekaart uit ThermoGIS van de Onder Detfurth Zandsteen laat zien dat de stad Hengelo op een geologisch structureel hoog ligt en dat de diepteligging van deze laag toeneemt naar de gemeentegrenzen toe (Figuur 7). Op basis hiervan zijn indicatief drie locaties gekozen: ten noorden, westen en oosten van Hengelo. Deze locaties zijn aangegeven op de kaart, samen met de verwachte diepteligging van de reservoirlagen. Deze dieptes zijn geverifieerd aan de hand van een dwarsdoorsnede die gemaakt is op basis van de boorgegevens. Hierin is meer detail zichtbaar dan de doorsneden uit het Dinoloket (Figuur 5), doordat de lagen er op formatieniveau worden getoond (Figuur 8). Op deze zelfde locatie is een inschatting gemaakt van de diepte van de reservoirlagen van de Dinkel Subgroep. De dieptekaart uit ThermoGIS (Figuur 9) geeft de diepte van de top van de gesteentelaag weer. De diepte van deze lagen is ook zichtbaar in de dwarsdoorsnede op basis van de putdata (Figuur 10) De reservoirgesteentelagen liggen circa 100m dieper zoals blijkt uit de boorlogs van boringen Deurningen-Weerselo-05 en Hengevelde-01 (zie appendix).



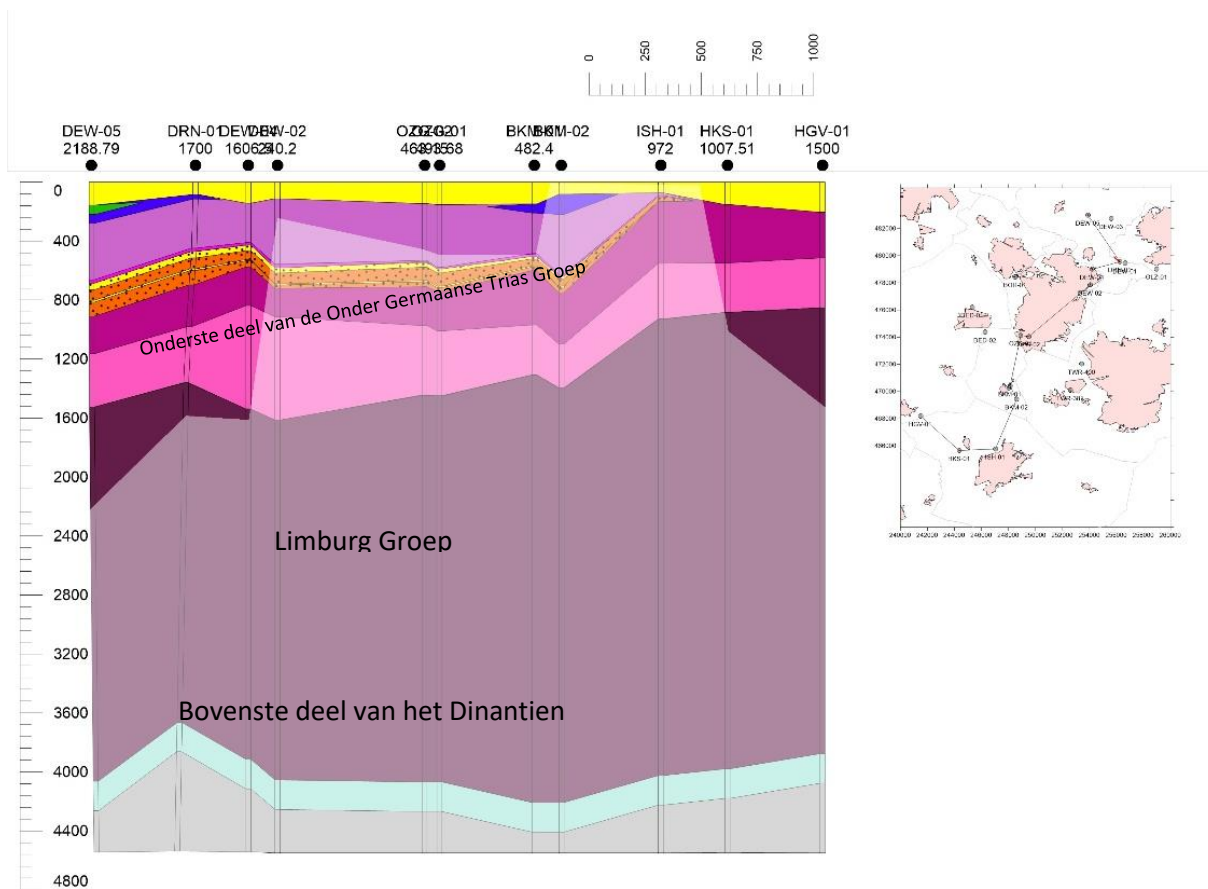
Figuur 7 Diepteligging (top) van het Onder Detfurth Zandsteen Laagpakket. Data uit ThermoGIS



Figuur 8 Dwarsdoorsnede van Noord naar Zuid op basis van putdata. In het midden van de dwarsdoorsnede hebben de boringen het Trias niet bereikt en is de diepteligging van het Trias ingeschat op basis van de dieptekaarten. De doorsnede laat zien dat de Trias zanden dunner worden en ten slotte verdwijnen richting het zuiden



Figuur 9 Diepteligging (top) van de Carboonafzettingen. Data uit ThermoGIS



Figuur 10 Dwarsdoornede van Noord naar Zuid op basis van putdata. Het transparante witte vlak geeft aan waar de lagen niet zijn bereikt door de boringen en waar de informatie ingeschat is op basis van de dieptekaarten.



3.3.2 Temperatuur

De temperatuur die verwacht wordt op deze locaties is berekend door de generieke temperatuurgradiënt van Nederland te hanteren. Een motivatie hiervoor is terug te vinden in de Appendix.

3.3.3 Porositeit

De porositeit van de Trias zandstenen is bepaald aan de hand van een eenvoudige petrofysische analyse van de logs in de put DRN-01 (zie Appendix), in combinatie met de landelijke dieptetrend. De porositeit van de Tubbergen zandstenen is bepaald aan de hand van de gemeten porositeiten in de gesteentelagen in combinatie met de landelijke dieptetrend.

3.3.4 Permeabiliteit

De technische potentie van een geothermiebron hangt af van de mogelijkheid om voldoende water te produceren met een zekere temperatuur, waaruit warmte kan worden onttrokken door afkoeling en het vermogen om dit afgekoelde water weer te herinjecteren. De hoeveelheid water die per tijdseenheid kon worden onttrokken, het zgn. debiet van de put, wordt grotendeels bepaald door de doorlaatbaarheid (permeabiliteit) van het ondergrondse reservoirgesteente. De inschatting van de permeabiliteit op een specifieke locatie is meestal niet eenduidig. De permeabiliteit is ingeschat met behulp van de landelijke porositeit-permeabiliteit relatie voor de specifieke gesteentelagen (zie Appendix). De aangenomen waarden voor de locaties zijn vergeleken met de inschattingen van ThermoGIS. Hoewel hier één aangenomen waarde wordt gepresenteerd voor de verdere beschouwingen is er in werkelijkheid, zoals uit de appendix blijkt, een grote spreiding in mogelijke waarden mogelijk.

3.3.5 Overzicht van de belangrijke parameters

Op basis van de bovenstaande evaluatie is een overzicht gegeven van de waarden van de voornaamste parameters op de verschillende locaties (Tabel 1).

Locatie	Reservoir	Diepte	Temp.	Porositeit	Perm.	P50 perm. ThermoGIS	Dikte	N/G
		m	°C	%	mD	mD	m	-
1 Hengelo-Noord	Lower Detfurth en Lower Volprieausen zandsteen	700	32	25	500	238	40	0,9
	Tubbergen zandstenen	1.650	61	15	20	5	125	0,8
2 Hengelo-West	Lower Detfurth en Lower Volprieausen zandsteen	700	32	25	500	169	40	0,9
	Tubbergen zandstenen	1.550	58	15	20	15	125	0,8
3 Hengelo-Oost	Lower Detfurth en Lower Volprieausen zandsteen	700	32	25	500	184	40	0,9
	Tubbergen zandstenen	1.700	63	15	20	2	125	0,8

Tabel 1 overzicht van de waarden van de belangrijkste parameters op de geselecteerde locaties



3.4 Indicatie van de technische potentie van geothermie

3.4.1 Onder Detfurth Zandsteen Laagpakket

Op de ThermoGIS website is een inschatting gemaakt van het debiet en het vermogen voor een generieke casus voor het Onder Detfurth Zandsteen Laagpakket, waarin een aantal parameters zijn aangepast ten opzichte van de basissituatie in ThermoGIS. Deze aanpassingen zijn weergegeven in Tabel 2. In een vervolgfase kan een meer gedetailleerde berekening worden gemaakt in de DoubletCalc software¹¹ waarbij ook een distributie van waarschijnlijke uitkomsten gegenereerd kan worden. Hiervoor moet echter meer diepgaand onderzoek verricht worden naar diverse inputparameters. Voor deze quickscan volstaat het om een idee te krijgen van het mogelijke debiet en vermogen. Hierbij moet nadrukkelijk vermeld worden dat er grote onzekerheden zitten aan deze uitkomsten. Bij de standaard ThermoGIS berekening valt op dat de retourtemperatuur hoger is dan de aanvoertemperatuur. Hiermee kan derhalve geen vermogen worden uitgerekend. Door de inzet van de warmtepomp wordt aangenomen dat er tot 15 °C kan worden uitgeoeld waarmee de zgn. ΔT 17 °C is. Op basis van de porositeitsanalyse is het mogelijk dat de porositeit en daarmee de permeabiliteit hoger is dan nu in ThermoGIS voor de P50 wordt ingeschat. Hiermee neemt het mogelijk te realiseren debiet ook flink toe. Het berekende vermogen is 1.2 MW, relatief laag voor een geothermiedoublet. Daarbij moet echter worden opgemerkt dat de diepte aanmerkelijk minder is dan voor andere doubletten. Het outputvermogen wordt nog vergroot door de inzet van de warmtepomp, dit uiteraard wel tegen een toename in het elektriciteitsverbruik. Het vermogen kan hierbij, bij een aangenomen COP van 6 (zie appendix) toenemen tot 1,4 MW.

Parameter	P50 waarde in ThermoGIS	Aangepaste waarde	Eenheid
Top diepte	494	700	M
Dikte (P50)	37	40	M
Permeabiliteit (P50)	251	500	mD
Netto-bruto	0,9		-
Temperatuur	29	32	
Putafstand	0	800	
Pompdruk	0	25	
Retourtemperatuur	30	15	
Skin injectieput	-1		
Skin productieput	-1		
Put buitendiameter	8,5		Inch
Put binnendiameter	8,5		Inch
Transmissiviteit	8,4	18	Dm
Debiet	0	63	m ³ /h
Vermogen	0	1,2	MW

Tabel 2 overzicht van de input voor een berekening van het vermogen op de ThermoGIS website voor het Onder Detfurth Zandsteen Lp.

¹¹ Te downloaden via <https://www.nlog.nl/tools>



3.4.2 Tubbergen zandstenen

Op de ThermoGIS website is ook voor de Tubbergen zandstenen een inschatting gemaakt van het debiet en het vermogen door een aantal parameters aan te passen ten opzichte van de basissituatie in ThermoGIS. Deze aanpassingen zijn weergegeven in Tabel 3. Het berekende vermogen is zeer laag, mede gezien de diepte van het geothermiedoublet. Kritieke parameter is de permeabiliteit, die met een aangenomen waarde van 20 mD al aan de hoge kant is voor de Tubbergen zandstenen (zie appendix).

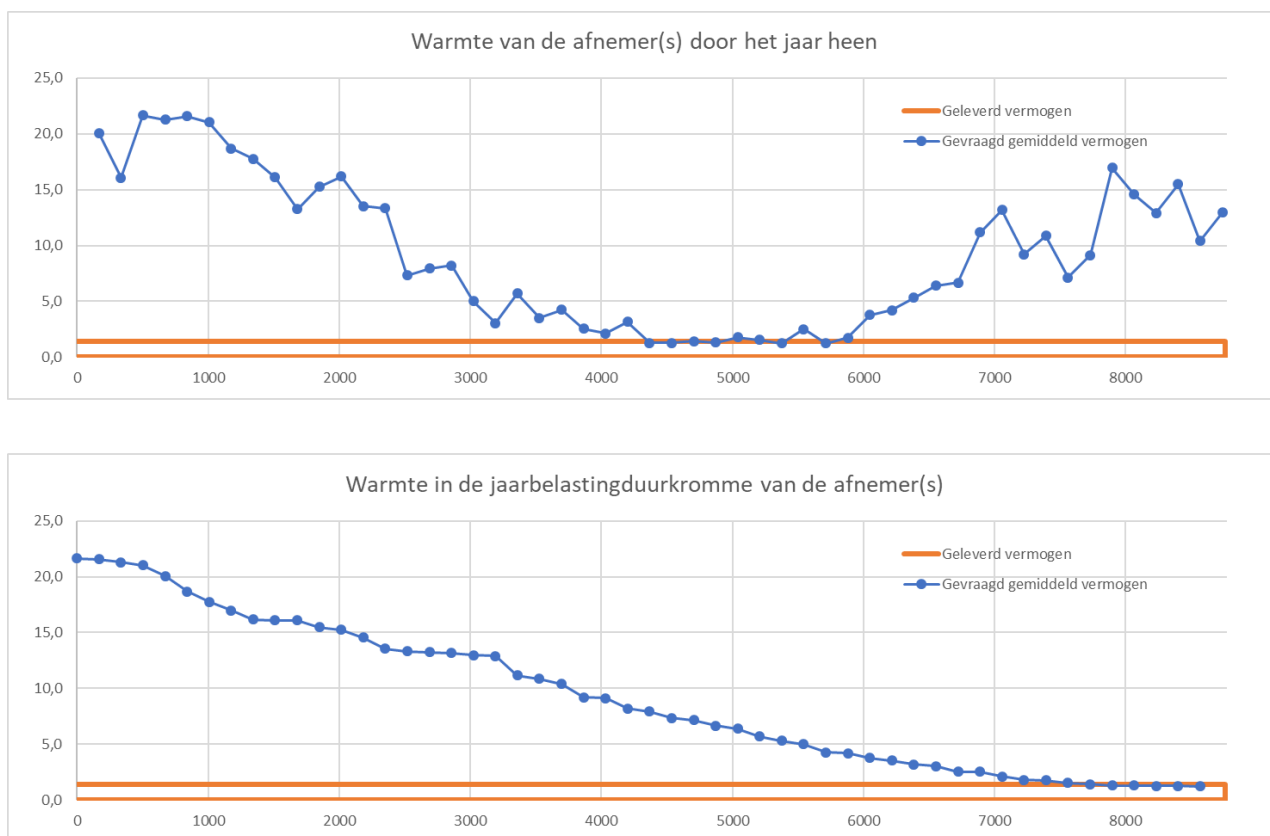
Parameter	P50 waarde in ThermoGIS	Aangepaste waarde	Eenheid
Top diepte	1.587	1.550	M
Dikte (P50)	518	125	M
Permeabiliteit (P50)	3	50	mD
Netto-bruto	0,3	0,8	-
Temperatuur	62		
Putafstand	0	1000	
Pompdruk	0	40	
Retourtemperatuur	30	20	
Skin injectieput	-1		
Skin productieput	-1		
Put buitendiameter	8,5		Inch
Put binnendiameter	8,5		Inch
Transmissiviteit	0,4	2,4	Dm
Debiet	0	17	m ³ /h
Vermogen	0	0,6	MW

Tabel 3 overzicht van de input voor een berekening van het vermogen op de ThermoGIS website voor de Tubbergen zandstenen

3.4.3 Evaluatie van de technische potentie

Gezien de bovenstaande inschattingen van het vermogen lijken de kansen op een commercieel opererend geothermiedoublet in de omgeving van Hengelo op het eerste gezicht klein, omdat het onwaarschijnlijk lijkt dat de investeringen opwegen tegen het geleverde vermogen. Dit geldt met name voor de mogelijkheid voor het winnen van aardwarmte uit de Tubbergen zandstenen. Dit zal in de volgende paragrafen verder worden toegelicht. Echter, in Hengelo zijn al lage temperatuur warmtenetten aanwezig welke in de nabije toekomst waarschijnlijk worden uitgebreid. De doubletten zouden nog steeds waarde kunnen hebben als baseload voor de voeding van deze netten, aangezien het distributienet naar de huishoudens al aangelegd is en de investeringen beperkt kunnen blijven tot het doublet en de leiding naar het net. Dit is het uitgangspunt dat verder wordt onderzocht.

Bij een aangenomen jaarlijks verbruik van 29 GJ per huishouden na isolatie kan een doublet met een vermogen van 1,4 MW de basisvraag invullen van circa 10.000 huishoudens (Figuur 11). Dit komt overeen met 15% van de totale jaarlijkse warmtevraag van deze 10.000 huishoudens.

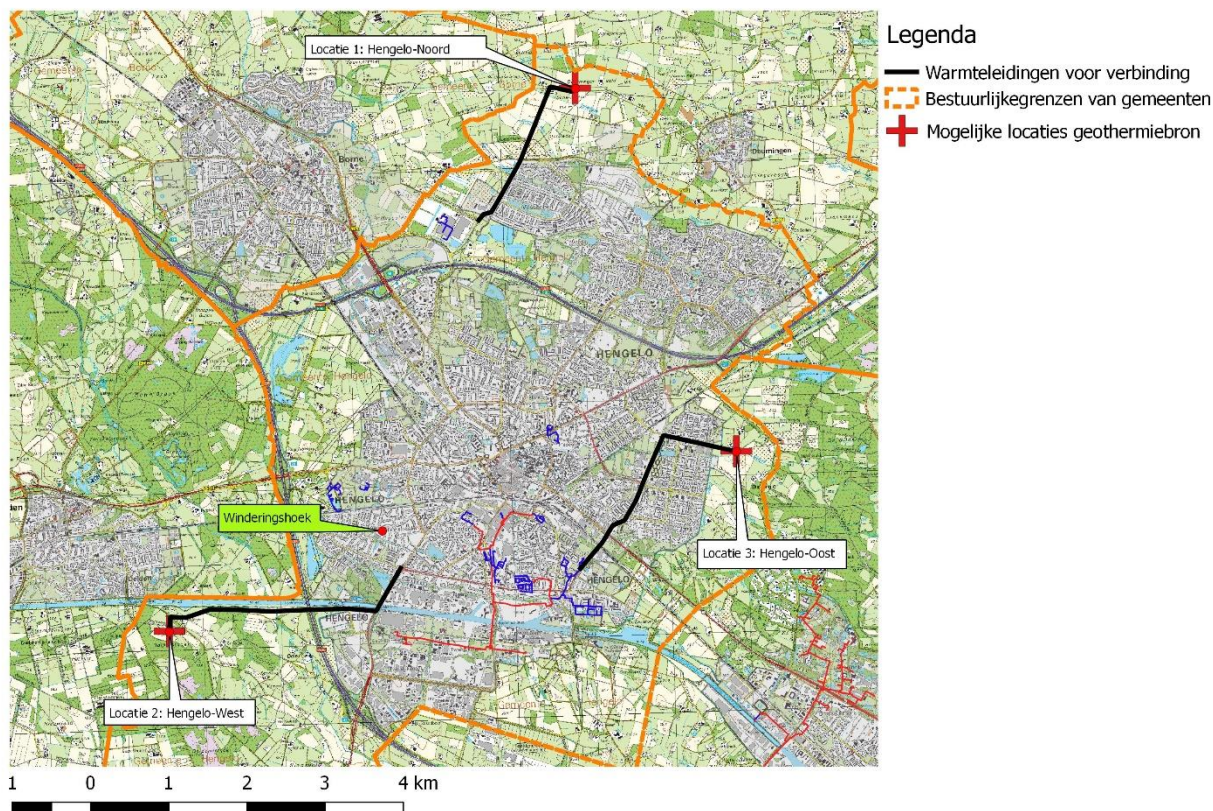


Figuur 11 Gevraagd vermogen voor 10.000 huishoudens, door het jaar heen (boven) en als jaarbelastingduurkromme. Voor de berekening van de geleverde warmte is uitgegaan van een vermogen van 1,4 MW en 8000 vollasturen

3.5 Verbinding geothermielocaties met het warmtenet in Hengelo

Uitgaande van een aansluiting op bestaande netwerken zijn de kosten van de verbindingleiding de enige kosten die worden meegenomen voor het warmtenet in de businesscase. Er is een grove inschatting gedaan van de afstand tussen de mogelijke geothermielocaties en een mogelijke aansluiting op een bestaand warmtenet. De locatie van de bestaande warmtenetten is weergegeven in Figuur 12¹². Het tracé is geschetst om een idee te krijgen van de afstand. Er is geen tracéverkenning o.i.d. uitgevoerd en dus is er geen inschatting gedaan voor de realisatiemogelijkheden op de aangegeven locatie van het traject. De geschetste trajecten zijn weergegeven in Figuur 12.

¹² Locatie warmtenetten van Ennatuurlijk verkregen via <https://pico.geodan.nl/pico/layers.html>

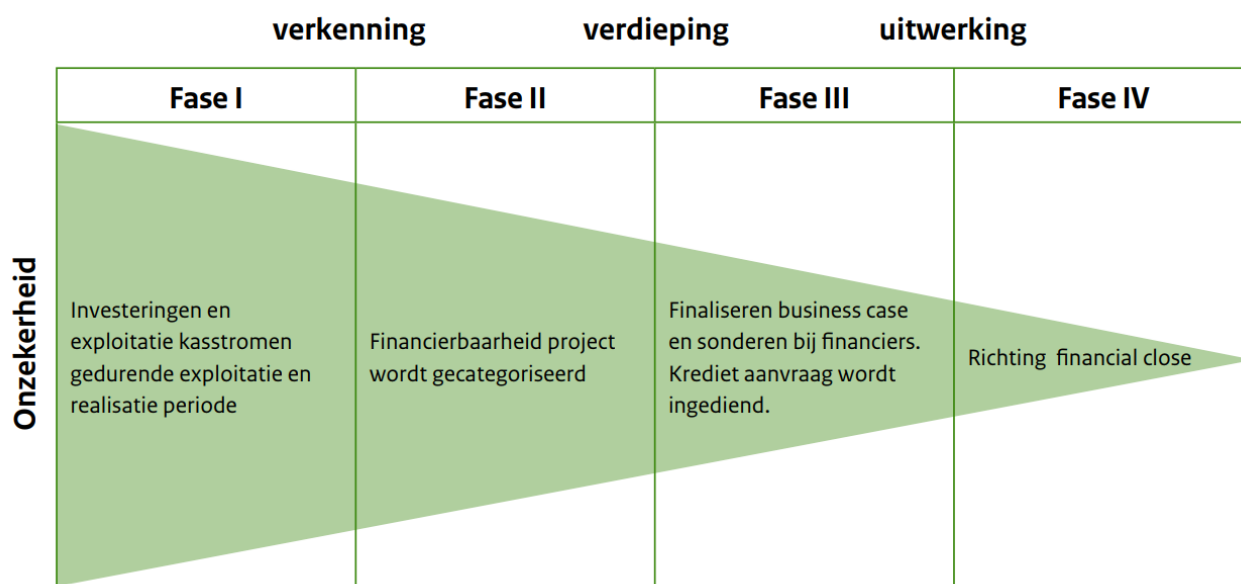


Figuur 12 Indicatieve trajecten voor de verbindingsleiding van de bron naar bestaande warmtenetten

3.6 Indicatie van de kosten van het systeem

Er is voor beide geothermiesystemen een indicatie gemaakt van de investeringskosten. Hierbij moet benadrukt worden dat deze kosten zeer indicatief zijn en in een eventuele vervolgstudie moet deze inschatting verder worden onderzocht en onderbouwd. Op basis van de inschatting is een businesscase opgezet conform de richtlijnen voor Fase I (verkenning) van het Toetsingskader van RVO¹³, dit betekent dat er wel operationele maar geen financieringskosten of afschrijvingen worden meegenomen. Tijdens deze verkenningsfase worden de prijzen ook niet geïndexeerd.

¹³ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2015/06/Toetsingskader%20financiële%20business%20case%20Warmte-uitwisselingsprojecten.pdf>



Figuur 13 Opzet businesscases. Bron: RVO-toetsingskader financiële businesscase warmtenet¹⁴

3.6.1 Onder Detfurth zandstenen

Het mogelijke geothermiedoublet dat aardwarmte wint uit de Onder Detfurth zandstenen combineert geothermie met de inzet van een industriële warmtepomp. Middels een warmtepomp wordt de temperatuur van het water verhoogd naar ongeveer 40 °C. Voor deze temperatuursprong is uitgegaan van een warmtepomp met een COP van 6,0 (zie appendix). De aangenomen COP van de geothermiebron is 14. De aangenomen soortelijke warmte van het water is 3,8 KJ/kg/K.

De inschatting is dat er in totaal voor 40.000 GJ aan warmte kan worden geleverd middels dit systeem. Hiervan is circa 5.600 GJ toegevoegd door inzet van de warmtepomp. Ter vergelijking, 40.000 GJ staat gelijk aan het jaarverbruik (na isolatie, zie appendix) van circa 1.400 huishoudens.

De investeringskosten voor het geothermiesysteem met warmtepomp zijn weergegeven in Tabel 4. Voor de het boren van een 700 m diepe put is uitgegaan van een investering van M€ 0,8. Voor de warmtepomp is uitgegaan van een investering van € 250/kW, waarbij uit is gegaan van een 1.5 MW-pomp. Voor de warmteleiding is een trajectlengte van 3 km genomen. De totale investeringskosten zullen ongeveer M€ 6,4 bedragen.

¹⁴ www.rvo.nl/toetsingskader-financiële-businesscase-warmte-uitwisselingsprojecten



Investeringskosten		[€ x 1.000]	
Leiding	Leiding	750	
	Divers (warmtewisselaars, boosterpompen, afleverset, etc.)	400	
Installatie	Vorbereiding en ontwikkeling	300	
	Vaste kosten boringen	1.600	
	Boringen	1.600	
	Bovengrondse installaties	850	
	Warmtepomp	350	
	Verzekeringen etc.	500	
Totaal		6.350	

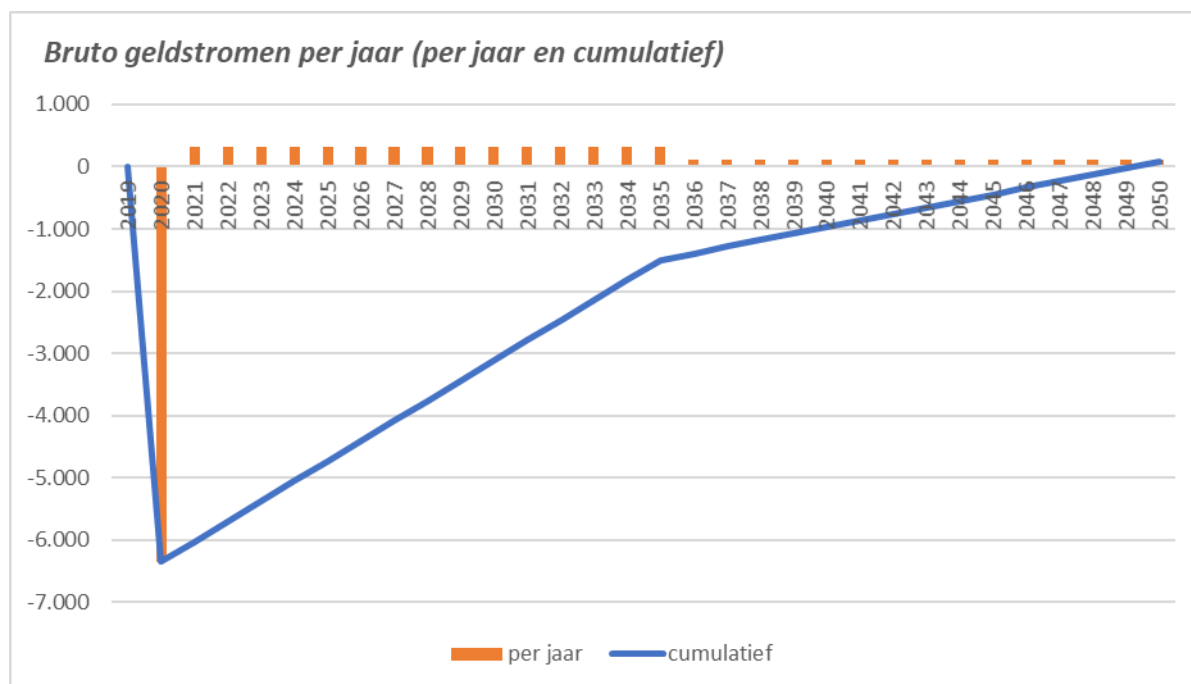
Tabel 4 Investeringskosten ondiepe geothermie uit het Onder Detfurth Zandsteen Lp., incl. warmtepomp

Er is ook een inschatting gemaakt van de operationele kosten. Hierbij is uitgegaan van de volgende operationele kosten voor dit systeem:

- Elektriciteit van de warmtepomp en geothermische installatie (tegen € 0,08/kWh)
- 1 FTE-management, à € 80k per jaar
- 2% van de CAPEX (installatie en leiding), à € 127k per jaar
- € 30k/jaar voor divers/overig (inclusief verzekeringen en precario)

Businesscase ondiepe geothermie en warmtepomp

De verwachte kosten zijn afgezet tegen de verwachte inkomsten uit de verkoop van warmte (Figuur 14). Voor een geothermie-systeem is SDE+ subsidie mogelijk voor een periode van 15 jaar. Na deze periode houdt de SDE op. Mogelijk wordt deze tegen die tijd door een andere regeling vervangen maar dat is niet meegenomen in deze evaluatie. Hiervoor is uitgegaan van een basisbedrag van € 0,050/kWh en een correctiebedrag van € 0,024/kWh. Eventuele andere subsidies zijn niet meegenomen. Het stroomverbruik van de geothermie installatie is geschat op jaarlijks 667 MWh (2.400 GJ) geschat en voor de warmtepomp 1.528 MWh. Voor deze berekening is uitgegaan van een eerste evaluatie van kosten vs. opbrengsten, zonder rekening te houden met afschrijving, financiering, inflatie of overige indexeringen conform de RVO-toetsingskader richtlijn. Uitgaande van een terugverdientijd van 30 jaar, wat waarschijnlijk te lang is voor private investeerders maar mogelijk acceptabel voor overheidspartijen, zijn de minimale verkoopkosten voor de warmte ingeschat op € 13,00/GJ. Dit is circa 3-maal hoger dan het gangbare tarief voor restwarmte (€ 4,00 - 4,50/GJ). De verwachte kosten voor elektriciteit voor de warmtepomp zijn de grootste factor in de operationele kosten. Een warmtepomp met een hogere COP (coëfficiënt of performance) dan aangenomen kan de businesscase verbeteren.



Figuur 14 Geldstromen per jaar en cumulatief voor het geëvalueerde ondiepe geothermie systeem. De terugverdientijd van 30 jaar wordt bereikt door een verkoopprijs van € 13,00/GJ aan te nemen. De knik in de curve geeft het moment aan waarop de SDE+ subsidie stopt (na 15 jaar)

3.6.2 Tubbergen zandstenen

Het verwachte vermogen uit de Tubbergen zandstenen is (te) laag, lager dan dat van de Trias zandstenen terwijl de kosten hoger zullen zijn. Desondanks is er een businesscase opgezet gelijk aan die van de Onder Detfurth zandsteen. In het geval van de Tubbergen zandstenen is er geen warmtepomp nodig, voor de businesscase wordt ervan uitgegaan dat de warmte na menging gebruikt kan worden op het 40/20 netwerk. De aangenomen COP van de geothermiebron is 14. Aangezien de verwachting is dat het zoutgehalte van het water in het Carboon hoger is, is de aangenomen soortelijke warmte van het water 3,6 KJ/kg/K.

De inschatting is dat er in totaal voor 17.000 GJ aan warmte kan worden geleverd middels dit systeem (gelijk aan het jaarverbruik (na isolatie, zie appendix) van circa 600 huishoudens).

De investeringskosten voor het geothermiesysteem zijn weergegeven in Tabel 5. Voor het boren van een 1.550m diepe put is uitgegaan van een investering van M€ 2,5. Voor de warmteleiding is een trajectlengte van 3 km genomen. De totale investeringskosten zullen ongeveer M€ 10 bedragen.



Investering		[€ x 1.000]
Leiding	Leiding	750
	Divers (warmtewisselaars, boosterpompen, afleverset, etc.)	400
Installatie	Vorbereiding en ontwikkeling	300
	Vaste kosten boringen	1.600
	Boringen	5.000
	Bovengrondse installaties	850
	Warmtepomp	350
	Verzekeringen etc.	700
Totaal		9.950

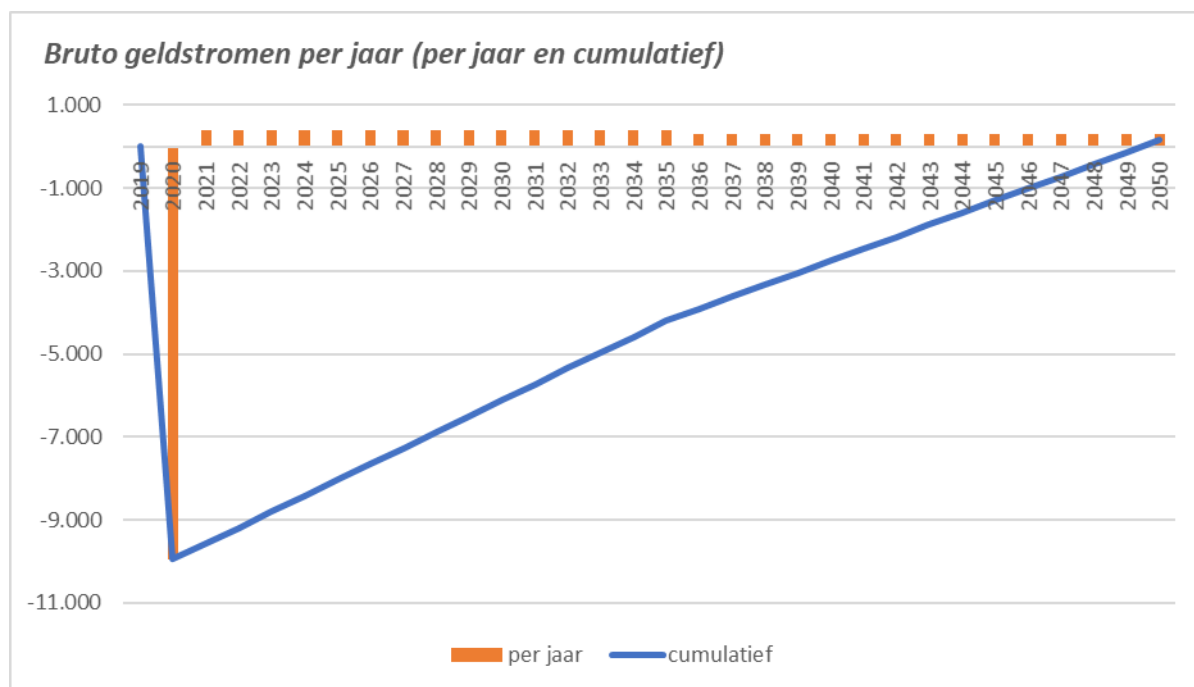
Tabel 5 Investeringskosten geothermie uit de Tubbergen zandstenen

Er is ook een inschatting gemaakt van de operationele kosten. Hierbij is uitgegaan van de volgende operationele kosten voor dit systeem:

- Elektriciteit van de geothermische installatie (tegen € 0,08/kWh)
- 1 FTE-management, à € 80k per jaar
- 2% van de CAPEX (installatie en leiding), à € 127k per jaar
- € 30k/jaar voor divers/overig (inclusief verzekeringen en precario)

Businesscase ondiepe geothermie en warmtepomp

De verwachte kosten zijn afgezet tegen de verwachte inkomsten uit de verkoop van warmte. Voor een geothermiesysteem is SDE+ subsidie mogelijk. Hiervoor is uitgegaan van een basisbedrag van € 0,050/kWh en een correctiebedrag van € 0,024/kWh. Eventuele andere subsidies zijn niet meegenomen. Het stroomverbruik van de geothermie installatie is geschat op jaarlijks 376 MWh (1.350GJ). Eenzelfde berekening is uitgevoerd voor een eerste evaluatie van kosten vs. opbrengsten (Figuur 15), gelijk aan die voor de Trias zandstenen. Uitgaande van een terugverdientijd van 30 jaar, zijn de minimale verkoopkosten voor de warmte ingeschat op € 36,50/GJ. Dit is circa 8-maal hoger dan het gangbare tarief voor restwarmte (€ 4,00-4,50/GJ) en 1,5 keer hoger dan het maximale (ACM) tarief dat het energiebedrijf mag rekenen aan haar klanten. Hiermee is dit systeem niet levensvatbaar.



Figuur 15 Geldstromen per jaar en cumulatief voor het geëvalueerde geothermie systeem. De terugverdientijd van 30 jaar wordt bereikt door een verkoopprijs van € 36,50/GJ aan te nemen. De knik in de curve geeft het moment aan waarop de SDE+ subsidie stopt (na 15 jaar)



4 Mogelijkheden voor ultradiepe geothermie in de gemeente Hengelo

Op de langere termijn zou geothermie uit diepere lagen (van Carboon of Devoon ouderdom) ook mogelijk kunnen zijn. TNO heeft de mogelijkheden hiervoor uitgebreid in een rapport beschreven¹⁵. Het grote voordeel van deze Ultra Diepe Geothermie (UDG) is de hoge temperatuur van het water (of stoom) dat van deze dieptes (4000m of dieper) zou kunnen worden opgepompt. In het algemeen is dit echter te diep voor zandstenen in Nederland om nog voldoende porositeit te hebben. Zoals in het vorige hoofdstuk is besproken is bijvoorbeeld in het gebied rond Hengelo de porositeit van zandstenen op circa 1500-1600m diepte al te laag voor geothermietoepassingen.

Voor de productie uit lagen dieper dan 4000m is er een ander gesteente nodig dat de capaciteit heeft om gevormde porositeit langer te behouden bij begraving. Een voorbeeld van een dergelijk gesteente is kalkgesteente, zoals dat is aangetroffen in de gesteentelagen van Dinantien ouderdom. De gemeente Hengelo valt in het gebied waarin het zgn. Dinantien goed op de seismiek is te herkennen, zie Figuur 16¹⁶. Op basis van deze informatie is de diepte van de top van het Dinantien gesteentepakket gekarteerd (Figuur 16). In de gemeente Hengelo ligt deze op circa 4000m diepte.

De kansen op toekomstige succesvolle winning van aardwarmte uit de diepere lagen zijn hoger indien er een carbonaatplatform in de ondergrond aanwezig is. Indien deze geologische structuur (in feite een kalkopbouw in een destijds ondiepe zee) met kalksteen aanwezig is, wordt de kans op porositeit ook hoger ingeschat. Dit heeft te maken met de kans op zgn. karstvoorkomens (dit zijn erosielittekens door oplossing) in de kalksteen aan de top van de structuur. Zie voor meer informatie over de ontwikkeling van platforms en karst bijvoorbeeld de publicatie van Van Hulten (2012)¹⁷. Belangrijk om te weten is echter dat de kans op het voorkomen van een Dinantien Platform in Twente relatief hoog wordt geacht (zie Figuur 17).

Als er op diepte porositeit in dit gesteente zit wordt dit veelal gevormd door breuken en breukjes in het gesteente in plaats van door poriën tussen de korrels van de zandsteen. De aanwezigheid van deze breuken en breukjes is echter geen zekerheid, dit komt voor in bijzondere gevallen waarbij het gesteente heeft blootgestaan aan tektonische krachten, al dan niet in combinatie met oplossingsprocessen die de porositeit vergroten. In veel gevallen is er echter ook nauwelijks porositeit (meer) aanwezig op diepte. De mogelijkheid om het reservoir kunstmatig te stimuleren kan worden overwogen maar mogelijk wordt dit niet geaccepteerd in het sociaal-maatschappelijk domein.

Het vooraf voorspellen van de aanwezigheid van de porositeit en andere eigenschappen die bepalend zijn voor het succesvol exploiteren van ultradiepe aardwarmte is lastig. In Nederland is daarom in een Green

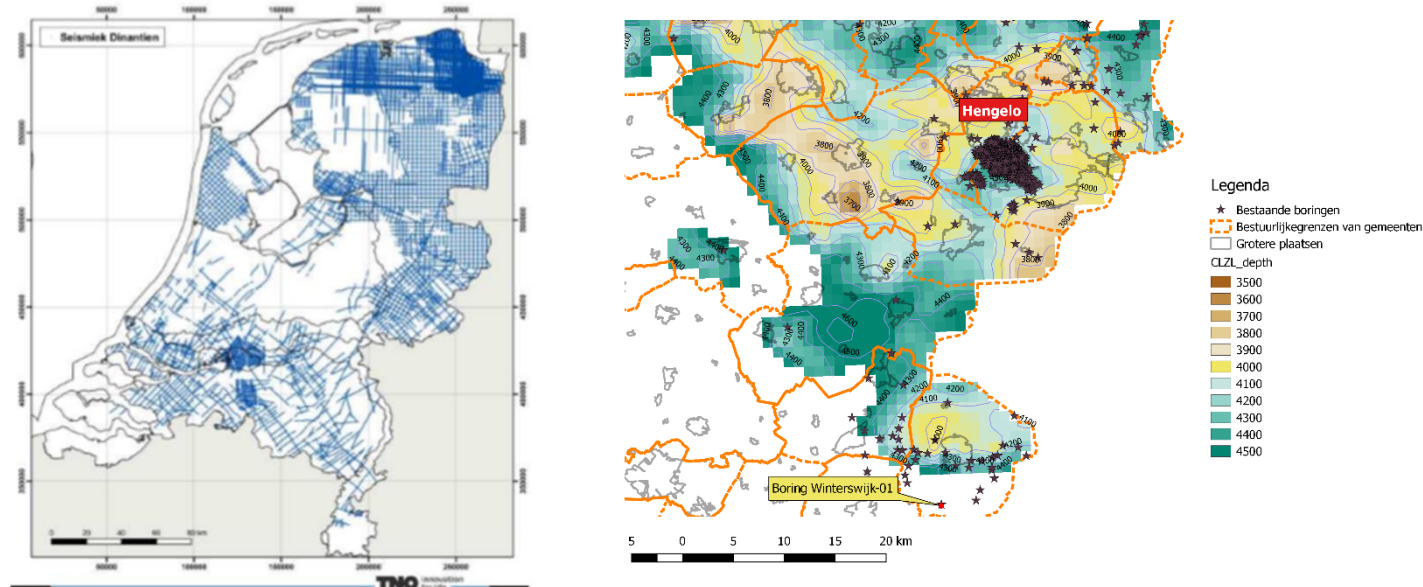
¹⁵ https://www.tno.nl/media/9728/tno_udg-ondergrond_r10803.pdf

¹⁶ [https://geothermie.nl/images/Handboeken/BIA_UDG_Eindrapport_Final%20v1.1%20\(28.9.2016\).pdf](https://geothermie.nl/images/Handboeken/BIA_UDG_Eindrapport_Final%20v1.1%20(28.9.2016).pdf)

¹⁷ www.researchgate.net/publication/260867858_Devono-carboniferous_carbonate_platform_systems_of_the_Netherlands

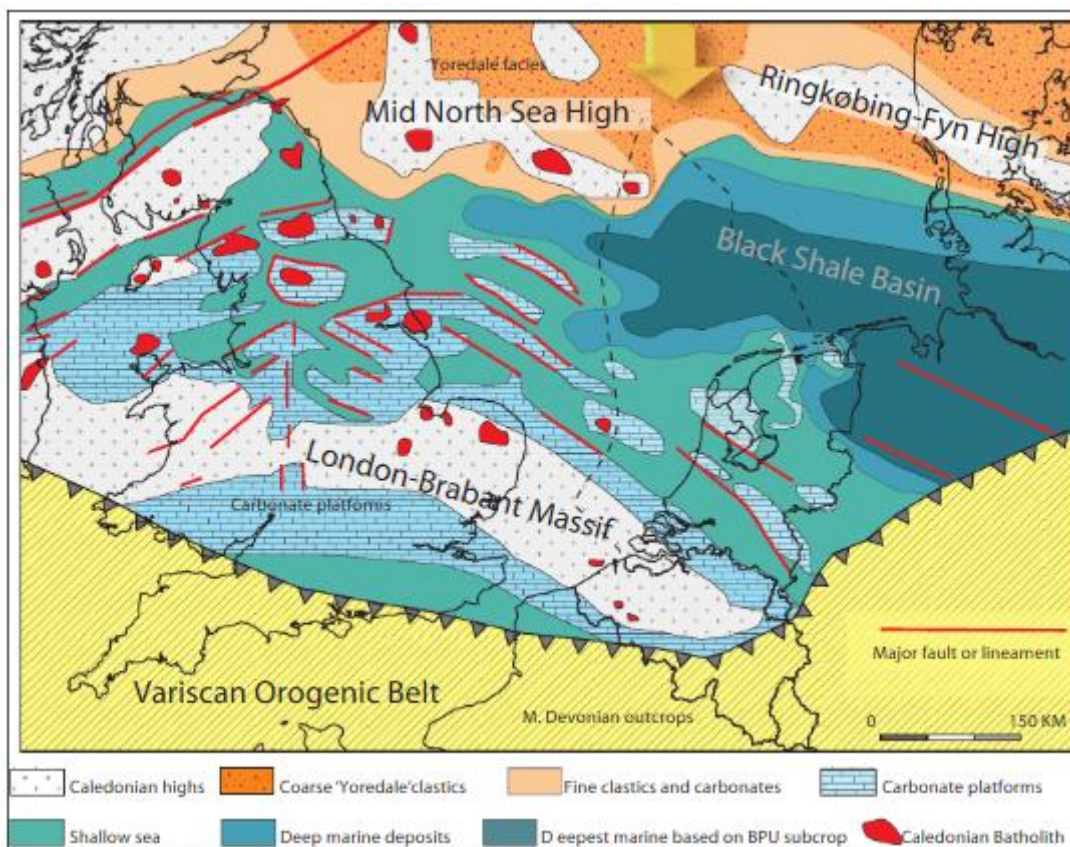


Deal afgesproken dat de overheid, het bedrijfsleven, onderzoeksinstituten en academici zich gaan richten op het onderzoek dat zich specifiek richt op dit type (ultra diepe) geothermie¹⁸. Er wordt momenteel gestart met een specifiek exploratieprogramma om meer te weten te komen over deze lagen. Hiervoor zijn momenteel zes locaties in Nederland geselecteerd voor vervolgonderzoek. Hier is momenteel geen locatie bij die in de buurt van Hengelo ligt. Realisatie van UDG-projecten zal echter naar verwachting nog enkele jaren duren. Indien UDG succesvol blijkt te zijn in Nederland kan deze toepassing op termijn voorzien in de warmtevraag van grote delen van Nederland. Bij voldoende cascadering van de warmte moet een vermogen van 30MW per succesvol doublet mogelijk zijn. Het is te vroeg om hiervoor al verdere indicaties te geven van mogelijkheden en kosten, temeer omdat dit belangrijke onderzoeksthema's zijn in het onderzoeksprogramma van de Green Deal. Zoals gezegd zal deze ontwikkeling nog enkele jaren op zich laten wachten en zijn de onzekerheden groot. Het is daarom hoogst onzeker of UDG voor 2030 zal bijdragen aan het halen van de duurzaamheidsambities van de gemeente Hengelo.



Figuur 16 Kaart van Nederland met de seismische lijnen waarop het Dinantien te identificeren is (links, bron:TNO¹⁴), rechts: dieptekaart van de Top Dinantien uit ThermoGIS

¹⁸ <https://www.greendeals.nl/green-deals/ultradiepe-geothermie>



Figuur 17 Kaart die een interpretatie laat zien van hoe de geologie van Nederland en haar omgeving er vele miljoenen jaren geleden uit zag tijdens de afzetting van de gesteentelagen van Dinantien ouderdom. Van belang is het verwachte voorkomen van een carbonaat platform in Twente. Deze figuur komt uit Van Hulten, 2012¹⁹

¹⁹www.researchgate.net/publication/260867858_Devono-carboniferous_carbonate_platform_systems_of_the_Netherlands

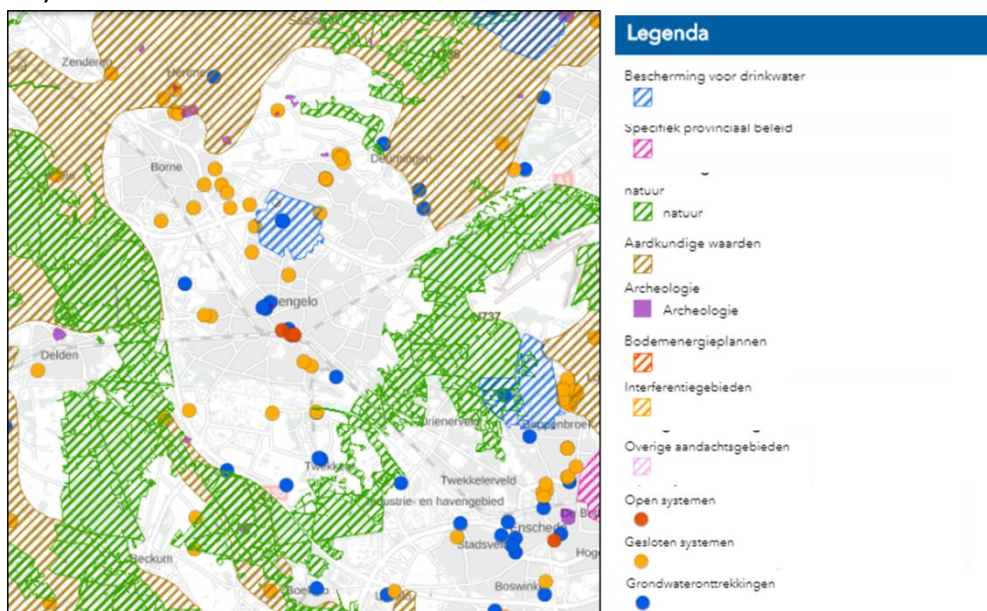


5 Overige mogelijkheden voor het gebruik van de ondergrond in Hengelo voor warmte

Het voordeel van geothermie (>500m) is dat er gedurende het gehele jaar warmte geproduceerd kan worden. Bij veel andere opwek mogelijkheden kan dit niet en is er een seizoenafhankelijkheid waarbij de warmte in de zomer gegenereerd en opgeslagen wordt die in de winter gebruikt kan worden. Binnen deze evaluatie worden een Warmte Koude Opslag (WKO) systeem zonder en met een zonthermisch systeem kort geëvalueerd.

5.1 WKO-systeem

Om de mogelijkheden voor een WKO-systeem in de gemeente Hengelo in kaart te brengen is gebruik gemaakt van de WKO-tool²⁰. Figuur 18 laat zien dat er in het gebied rond Hengelo enkele verbodsgebieden en aandachtsgebieden zijn, maar dat er voldoende locaties over zijn om een WKO te ontwikkelen. Er zijn reeds enige open WKO-systemen in de stad in gebruik (zie Figuur 18). In dit onderzoek wordt ook uitgegaan van een open systeem.



Figuur 18 overzicht van de verbods- en aandachtsgebieden rond Hengelo voor de toepassing van een WKO-systeem. Bron: WKOTool.nl

²⁰ www.wkotool.nl



5.1.1 Indicatie van de technische potentie en terugverdiëntijd van WKO

Voor de aanvoer van warm water richting het warmtenet middels een WKO is voor de evaluatie gekozen voor een combinatie van WKO en warmtepomp. Hierbij wordt aangenomen dat het water uit de WKO een gemiddelde temperatuur van 14-15 °C heeft. Middels een warmtepomp wordt de temperatuur van het water verhoogd naar ongeveer 40 °C. Voor deze temperatuursprong is uitgegaan van een warmtepomp met een COP van 4,5 (zie appendix).

Voor de werking van de WKO zijn de volgende operationele periodes van de WKO bepaald, dit zijn:

- Winter: 15 weken
- Lente: 10 weken
- Zomer: 21 weken
- Herfst: 6 weken

Er wordt uitgegaan van een enkel doublet (twee boringen, één voor het warme water en één voor het koude water) met een maximale productie van 150 m³/uur. Tijdens de zomer zal 75% van het maximale debiet worden ingezet om warmte in de bron te pompen. Tijdens de winter, lente en herfst vindt er onttrekking van warmte plaats. In de winter is het gemiddelde vermogen (berekend door de geleverde energie te delen door het aantal draaiuren) berekend op 1,4 MW en tijdens de lente en herfst 0,5 MW. Dit verschil in vermogen komt met name omdat er met een lager debiet wordt geopereerd.

De inschatting is dat er in totaal voor 18.000 GJ aan warmte kan worden geleverd middels dit systeem, waarvan 22% is toegevoegd door de inzet van de warmtepomp. Ter vergelijking, 18.000 GJ staat gelijk aan het jaarverbruik (na isolatie, zie appendix) van circa 600 huishoudens.

De investeringskosten voor het WKO-systeem met warmtepomp zijn weergegeven in Tabel 6. Voor de investering voor het WKO-systeem is uitgegaan van investeringskosten van M€ 1,5. Deze zijn gebaseerd op een investeringsindicatie van € 1.130/kW²¹. Voor de warmtepomp is uitgegaan van een investering van € 250/kW, waarbij is uitgegaan van een 1,5 MW-pomp. De keuze voor een locatie voor een WKO-systeem is minder afhankelijk van de ondergrond dan bij geothermie. Een WKO-systeem zal dus dicht bij het warmtenet geplaatst kunnen worden. Er is hierbij uitgegaan van een leiding van 500m. De totale investeringskosten bedragen ongeveer M€ 2,5.

²¹ Getal uit Warmtekaart provincie Fryslân (CE Delft), te downloaden via:
www.fryslan.frl/beleidsthemas/warmte_43082/



Investering		[€ x 1.000]
Leiding	Leiding	125
	Divers (warmtewisselaars, boosterpompen, afleverset, etc.)	400
Installatie	WKO	1.650
	Warmtepomp	365
Totaal		2.540

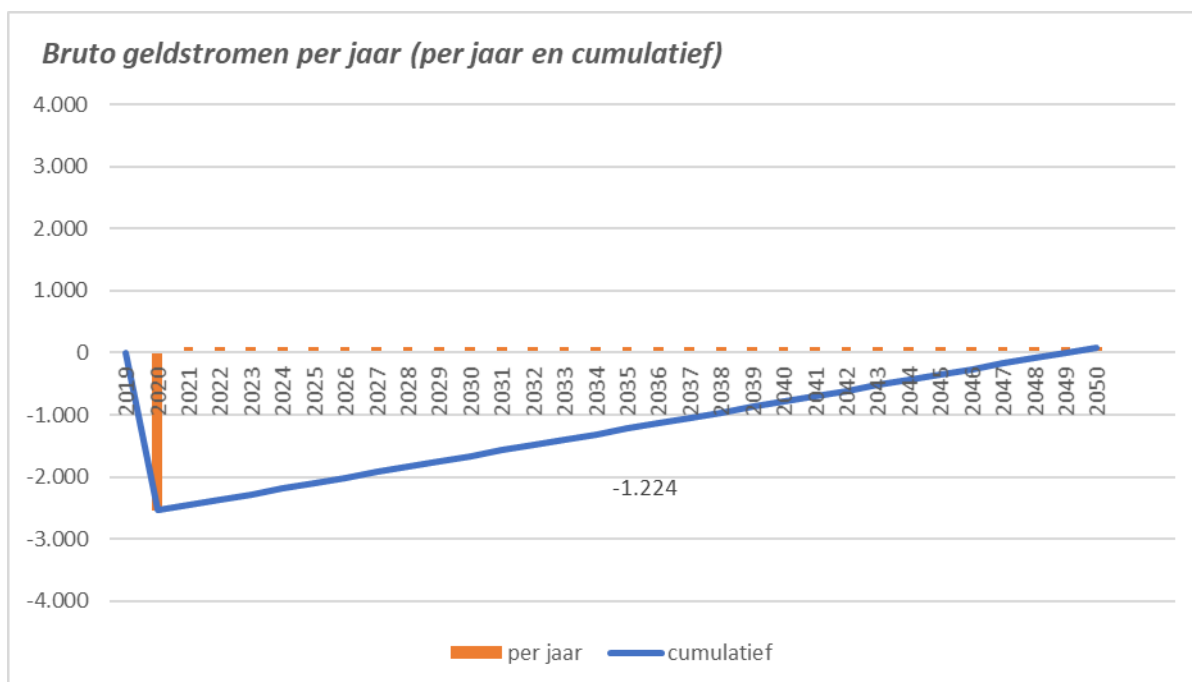
Tabel 6 Investeringskosten WKO incl. warmtepomp

Om de WKO draaiende te houden zijn er eveneens operationele kosten. Hierbij is uitgegaan van de volgende operationele kosten voor dit lokale WKO-systeem:

- Elektriciteit van de warmtepomp (tegen € 0,08/kWh)
- 0,5 FTE-management, à € 40k per jaar
- 2% van de CAPEX (installatie en leiding), à € 51k per jaar
- € 30k/jaar voor divers/overig (inclusief verzekeringen en precario)

Businesscase WKO en warmtepomp

De verwachte kosten zijn afgezet tegen de verwachte inkomsten uit de verkoop van warmte. Voor een WKO-systeem is geen SDE+ subsidie mogelijk. Eventuele andere subsidies zijn niet meegenomen. Het stroomverbruik van de warmtepomp is geschat op jaarlijks 1.100 MWh (4.000GJ). Voor deze berekening is uitgegaan van een eerste evaluatie van kosten vs. opbrengsten, zonder rekening te houden met afschrijving, financiering, inflatie of overige indexeringen (Figuur 19). Uitgaande van een terugverdientijd van 30 jaar, wat waarschijnlijk te lang is voor private investeerders maar mogelijk acceptabel voor overheidspartijen, zijn de minimale verkoopkosten voor de warmte ingeschat op € 16,20/GJ. Dit is circa 4-maal hoger dan het gangbare tarief voor restwarmte (€ 4,00-4,50/GJ). De verwachte kosten voor elektriciteit voor de warmtepomp zijn de grootste factor in de operationele kosten. Warmtepompen met hogere COP's (Coëfficiënt of performance) dan aangenomen kunnen de businesscase verbeteren.



Figuur 19 Geldstromen per jaar en cumulatief voor het geëvalueerde WKO systeem. De terugverdientijd van 30 jaar wordt bereikt door een verkoopprijs van € 16,20/GJ aan te nemen.

5.1.2 Indicatie van de technische potentie en terugverdientijd van WKO met Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO)

Warmte en koude uit oppervlaktewater water kan een substantiële bron van duurzame warmte zijn, bij uitstek geschikt voor verwarmen en koelen²². We noemen dit thermische energie uit oppervlaktewater, kortweg TEO. De technologie om warmte of koude uit het oppervlaktewater te winnen, op te slaan en te distribueren wordt reeds op diverse plekken op commerciële basis geëxploiteerd¹⁴. Meestal wordt daarbij gebruik gemaakt van warmte- en koudeopslag in de bodem om de levering seizoenafhankelijk te maken¹⁴. TEO is vooral een optie bij (goed) geïsoleerde gebouwen die met lage temperatuursystemen verwarmd kunnen worden¹⁴. Het is daarom met name interessant bij nieuwbouw en grondige renovaties in de nabijheid van open-wateroppervlaktes¹⁴. Het voornaamste voordeel van de toepassing van TEO in combinatie met een WKO is dat er tijdens de zomer warmte kan worden onttrokken uit het oppervlaktewater dat extra kan worden opgeslagen in de WKO. Hierdoor neemt het vermogen van de WKO toe. Er is uitgegaan van het gebruik van een warmtepomp om het water op te warmen naar de benodigde temperatuur van 40°C. Hierbij is uitgegaan van een warmtepomp met een COP van 4,5.

Voor het maximale debiet van een enkel doublet (twee boringen, één voor het warme water en één voor het koude water) is opnieuw uitgegaan van 150 m³/uur. Tijdens de zomer zal het maximale debiet worden

²² <https://www.stowa.nl/teo>



ingezet om warmte in de bron te pompen. Tijdens de winter, lente en herfst vindt er onttrekking van warmte plaats. In de winter is het gemiddelde vermogen 2,0 MW, tijdens de lente 0,7 MW en tijdens de winter 0,9 MW. Dit verschil in vermogen komt door het verschil in temperatuur en debiet. In totaal kan er voor circa 24.000 GJ aan warmte geleverd worden, dus circa 30% meer dan bij een WKO-installatie zonder TEO.

Hier staan wel extra investeringskosten tegenover, met name voor warmtewisselaars, pompen en extra OPEX. De investeringskosten voor het WKO-systeem met TEO en een warmtepomp zijn weergegeven in Tabel 7. Hierbij zijn de extra kosten voor de TEO-componenten zeer indicatief en in een eventuele vervolgstudie moet deze inschatting verder onderzocht en onderbouwd worden.

Investering		[€ x 1.000]
Leiding	Leiding	125
	Divers (warmtewisselaars, boosterpompen, afleverset, etc.)	400
Installatie	WKO	1.650
	Warmtepomp	365
	TEO – pompen	500
	TEO – warmtewisselaar	500
Totaal		3.540

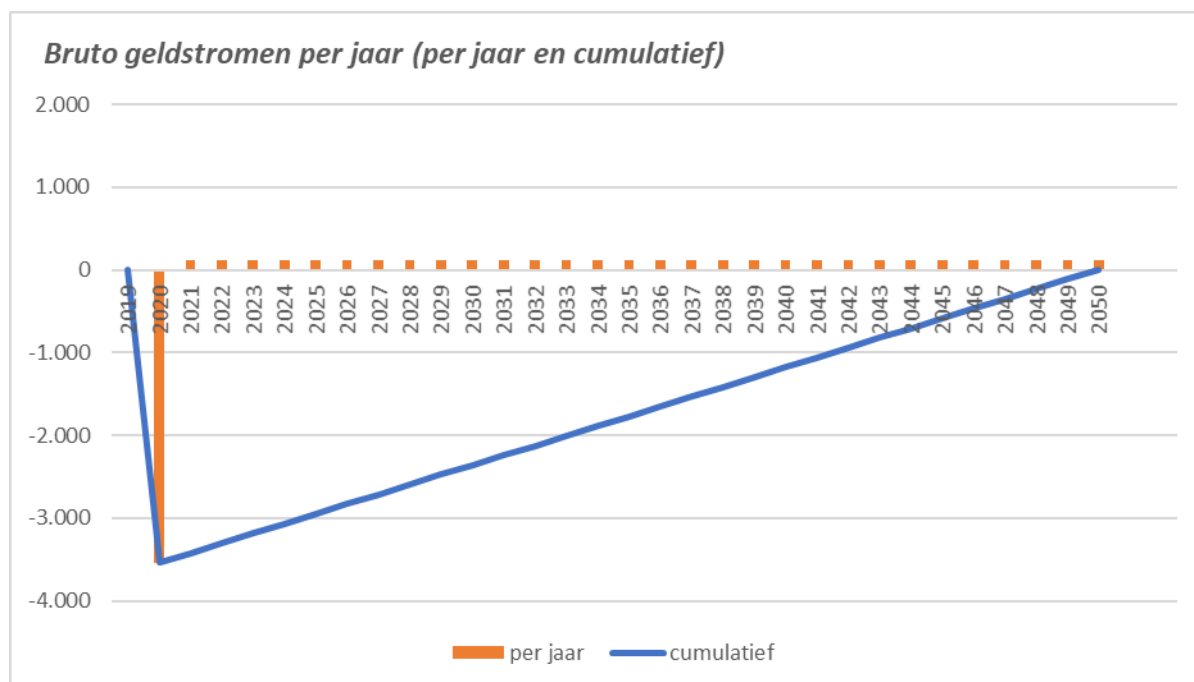
Tabel 7 Investeringskosten WKO met TEO, incl. warmtepomp

Er is uitgegaan van vergelijkbare operationele kosten voor het WKO-TEO-systeem, waarbij de kosten voor divers/overig stijgen naar € 45k/jaar.

Businesscase WKO, TEO en warmtepomp

De verwachte kosten zijn opnieuw afgezet tegen de verwachte inkomsten uit de verkoop van warmte (Figuur 20). Eventuele andere subsidies zijn niet meegenomen. Hier zijn echter wel mogelijkheden voor. Zo wordt in de voorbeeldberekeningen op de website “Energie uit Oppervlaktewater” gerekend met investeringssubsidies²³. Hier kan in een later stadium naar gekeken worden. Het stroomverbruik is geschat op jaarlijks 1.600 MWh (5.800GJ). Voor deze berekening is uitgegaan van een eerste evaluatie van kosten vs. opbrengsten, zonder rekening te houden met afschrijving, financiering, inflatie of overige indexeringen. Wederom uitgaande van een terugverdientijd van 30 jaar zijn de minimale verkoopkosten voor de warmte ingeschat op € 15,70/GJ. Dit is nog steeds circa 4-maal hoger dan het gangbare tarief voor restwarmte. De verwachte kosten voor elektriciteit voor de warmtepomp zijn ook hier de grootste factor in de operationele kosten. Warmtepompen met hogere COP's (Coëfficiënt of performance) dan aangenomen kunnen de businesscase verbeteren.

²³ www.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=4753396c44b64f27a5f8ca7e0314db4b



Figuur 20 Geldstromen per jaar en cumulatief voor het geëvalueerde WKO met TEO systeem. De terugverdientijd van 30 jaar wordt bereikt door een verkoopprijs van € 15,70/GJ aan te nemen.

5.2 WKO systeem in combinatie met een zonthermisch systeem

De productie van warmte uit een WKO in de winter wordt veelal beperkt door de mogelijkheid om een gelijke hoeveelheid warmte in zomer op te slaan, er moet immers door het jaar heen een warmte balans zijn. Een mogelijkheid om de lading van warmte in de WKO te verhogen is door de toevoer van extra warmte in de zomer middels zonnecollectoren, ook wel zonthermie genaamd.

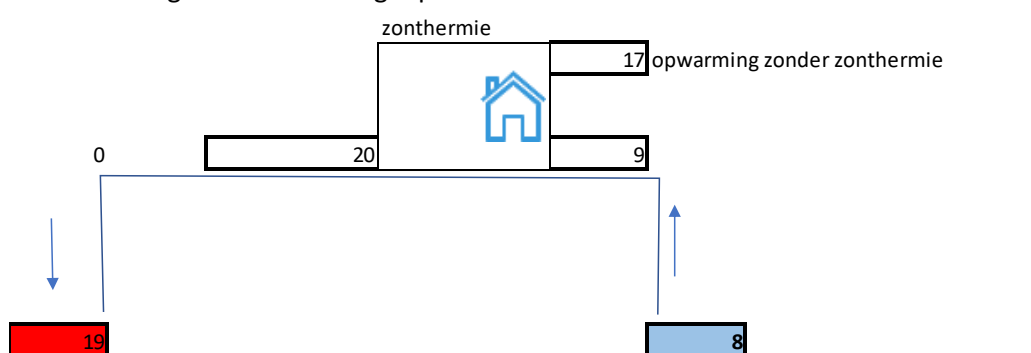
5.2.1 Indicatie van de technische potentie en terugverdientijd van WKO in combinatie met zonthermie

Voor de evaluatie van dit systeem is gekeken naar de mogelijk toegevoegde waarde van een zonthermisch systeem op het WKO-systeem zoals beschreven in sectie 5.1. Hierbij wordt aangenomen dat het water dat wordt opgeslagen in de zomerperiode in de WKO een hogere temperatuur krijgt door de inzet van de zonnecollectoren. Er wordt aangenomen dat hiermee de gemiddelde temperatuur van de WKO in de winter kan stijgen van 14-15 °C naar 18°C. Dit is een aanname om een idee te krijgen van het potentieel maar deze aanname zal in een eventuele vervolgstudie moeten worden geverifieerd.

In deze evaluatie is alleen gekeken naar de energiebalans, niet naar de technische haalbaarheid. Uitgaande van de aangenomen toename van de temperatuur is berekend hoeveel warmte er geleverd moet worden door de collectoren. Door de toegenomen temperatuur van het water neemt het vermogen dat de WKO kan leveren toe, de delta T stijgt immers. Middels een warmtepomp (COP 4,5) wordt de temperatuur van het water verhoogd naar ongeveer 40 °C. Er is aangenomen dat de collectoren collectief worden gebruikt en niet worden gebruikt om de huizen op te warmen.



Door de aangenomen toename in de temperatuur van de WKO is het gemiddeld vermogen in de winter berekend op 2,0 MW en tijdens de lente en herfst 0,6 MW. Dit verschil in vermogen komt met name omdat er met een lager debiet wordt geopereerd.



Figuur 21 schematische weergave van het systeem, waarbij het water na koeling van de huizen extra wordt opgewarmd door zonthermie waarmee de temperatuur in de warmteopslag wordt verhoogd en effectief meer warmte wordt opgeslagen

De inschatting is dat er in totaal voor 24.000 GJ aan warmte kan worden geleverd middels dit systeem, dus 6.000 GJ meer dan het WKO-systeem zonder zonthermie. Van de totale warmte is 22% toegevoegd door de inzet van de warmtepomp. Ter vergelijking, 24.000 GJ staat gelijk aan het jaarverbruik (na isolatie, zie appendix) van circa 800 huishoudens.

Deze extra 6.000 GJ moet worden toegevoegd door zonnecollectoren die bijvoorbeeld op daken geplaatst kunnen worden. Uitgaande van een collectief systeem, waarbij alle warmte wordt gebruikt voor de lading van de WKO, en 1.180 vollasturen voor het zonsysteem is berekend dat er circa 2.400 m² aan collectoren dienen te worden geïnstalleerd. Bij een gemiddelde beschikbaar dakoppervlak van 10 m² gaat het dus om circa 240 woningen.

De investeringskosten voor het WKO-systeem met warmtepomp en zonnecollectoren zijn weergegeven in Tabel 8. Voor de collectoren is uitgegaan van een prijs van € 500/kW (PBL advies 2018). Het vermogen van het collectorensysteem is 1,4 MW.

Investing		[€ x 1.000]
Leiding	Leiding	125
	Divers (warmtewisselaars, boosterpompen, afleverset, etc.)	400
Installatie	WKO	1.650
	Warmtepomp	365
	Collectoren	700
Totaal		3.240

Tabel 8 Investeringskosten WKO met zonnecollectoren, incl. warmtepomp

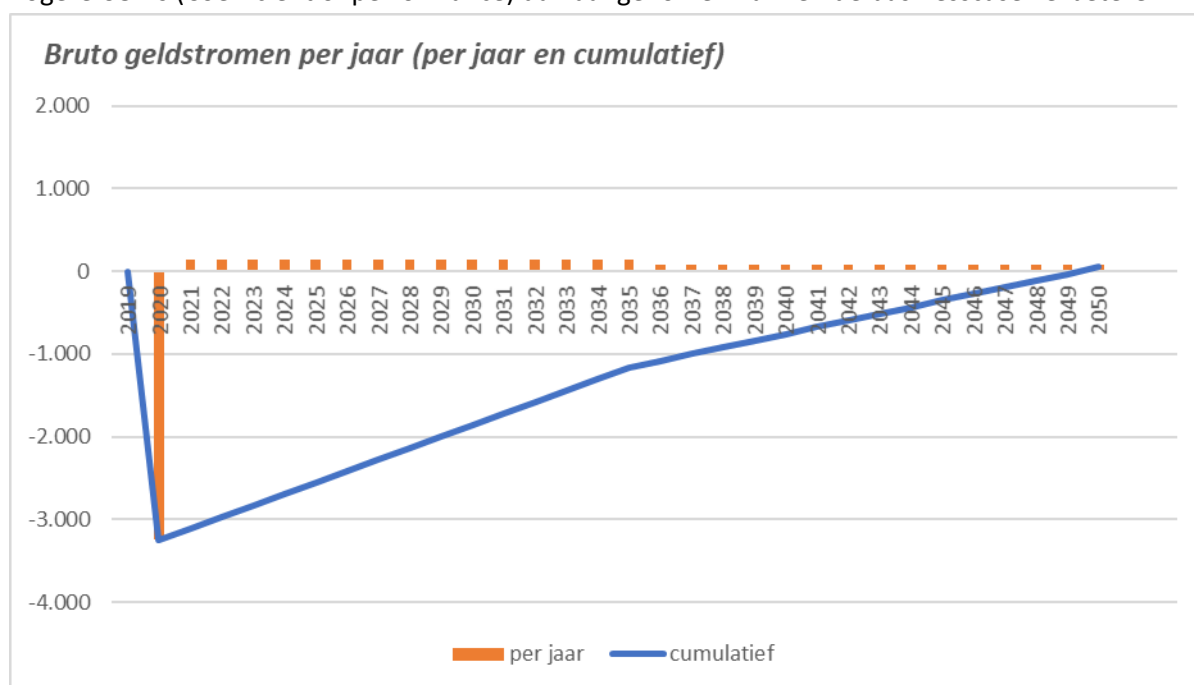
Businesscase WKO in combinatie met zonthermie

De verwachte kosten zijn afgezet tegen de verwachte inkomsten uit de verkoop van warmte. Voor een zonthermiesysteem is SDE+ subsidie mogelijk, hoewel in een vervolgstudie moet worden nagegaan of



hiervoor aan alle voorwaarden wordt voldaan. Hiervoor is uitgegaan van een basisbedrag van € 0,083/kWh en een correctiebedrag van € 0,024/kWh. Eventuele andere subsidies zijn niet meegenomen. Voor de vollasturen in de SDE berekening is uitgegaan van 700 uur.

Het stroomverbruik van de warmtepomp is geschat op jaarlijks 1.670 MWh (5.200 GJ). Voor deze berekening is uitgegaan van een eerste evaluatie van kosten vs. opbrengsten, zonder rekening te houden met afschrijving, financiering, inflatie of overige indexeringen (Figuur 22). Opnieuw uitgaande van een terugverdientijd van 30 jaar zijn de minimale verkoopkosten voor de warmte ingeschat op € 14,60/GJ. Dit is circa 3,5-maal hoger dan het gangbare tarief voor restwarmte (€ 4,00-4,50/GJ). De verwachte kosten voor elektriciteit voor de warmtepomp zijn de grootste factor in de operationele kosten. Warmtepompen met hogere COP's (Coëfficiënt of performance) dan aangenomen kunnen de businesscase verbeteren.



Figuur 22 Geldstromen per jaar en cumulatief voor het geëvalueerde WKO-systeem met zonnecollectorensysteem. De terugverdientijd van 30 jaar wordt bereikt door een verkoopprijs van € 14,60/GJ aan te nemen. De knik in de curve geeft het moment aan waarop de SDE+ subsidie stopt (na 15 jaar)

5.3 Mogelijkheden voor warmtesystemen met opslag van warmte

In de bovenstaande systemen is ervan uitgegaan dat de seizoensopslag van warmte plaats vindt in een open WKO-systeem. WKO-systemen zijn echter beperkt door een maximale temperatuur om grootschalige verstoring van de bodem(processen) te voorkomen en door de hoeveelheid water die kan worden onttrokken. Momenteel worden er ondergrondse opslagsystemen ontwikkeld die bestaan uit grote ingegraven opslagtanks die een dusdanige isolatie hebben zodat er ook hogere temperaturen kunnen worden opgeslagen²⁴. Dit opent mogelijkheden om de ondergrond ook te gebruiken in combinatie met een hogere temperatuur warmtenet. Het nadeel van deze opslagtanks is het volume van de tank dat nodig is

²⁴ <https://www.ecovat.eu/>



om het voldoende warm water gedurende enkele maanden op voorraad te houden. Dit kan de capaciteit van het systeem, en daarmee het aantal aangesloten huizen, beperken.

Twente kan naast deze opslagmogelijkheid mogelijk ook de in de ondergrond aanwezige cavernes gebruiken voor opslag, gezien het grote aantal van deze cavernes als gevolg van de jarenlange zoutwinning. Er loopt momenteel een onderzoek naar de mogelijkheden en kansen van het gebruik van deze cavernes voor opslag²⁵. De voorlopige uitkomsten van deze studie laten echter zien dat de mogelijkheden hiertoe beperkt zijn in de omgeving van Hengelo. Wanneer de energieprijzen in de toekomst stijgen kan de business case er financieel anders uit komen te zien.

²⁵ <https://www.kasalsenergiebron.nl/onderzoeken/20107-geothermie-in-zoutcavernes/>



6 Conclusies en aanbevelingen

De ondergrond van Hengelo is anders dan in grote delen van de rest van Nederland. De landelijk gezien meest geschikte gesteentelagen voor de winning van aardwarmte zijn in Hengelo niet aanwezig waardoor ook de mogelijkheden voor toepassing van geothermie beperkter zijn. Desondanks bevinden zich in de ondergrond van Hengelo enkele zandsteenlagen waaruit mogelijk aardwarmte kan worden gewonnen. De kosten hiervan lijken echter aanzienlijk hoger te liggen dan in andere delen van Nederland, zoals weergegeven in Tabel 9.

Het is belangrijk om te realiseren dat dit onderzoek een quickscan is geweest en dat onderstaande getallen indicatief zijn. De conclusie kan echter wel getrokken worden dat er een zeer grote kans is dat de kosten voor afname van de warmte die opgewekt is met de geëvalueerde systemen enkele malen hoger zullen liggen dan het gangbare tarief voor restwarmte.

Investering	Gemiddeld vermogen over het jaar (geleverde warmte / totaal uur in het jaar)	Inschatting investering (incl. leiding)	OPEX	Jaarproductie aan warmte	Indicatie break-even verkoopprijs warmte voor TVT van 30 jaar	SDE+
Benchmark: restwarmte					€ 4,00 – 4,50/GJ	Nee
Benchmark: andere geothermie doubletten		€ 1.444/kW ²⁴ € 1.820/kW ²⁵				Ja
Ondiepe geothermie (700m)	1,27	€ 5.006/kW	k€ 413/jaar € 10,30/GJ	40.000 GJ	€ 13,00/GJ	Ja
Geothermie (1550 m)	0,54	€ 18.457/kW	k€ 339/jaar € 19,95/GJ	17.000 GJ	€ 36,50/GJ	Ja
Ultradiepe geothermie	? 27	?	?	(?) 864.000 GJ bij 30MW	?	?
WKO	0,57	€ 4.450/kW	k€ 210/jaar € 11,67/GJ	18.000 GJ	€ 16,20/GJ	Nee
WKO+TEO	0,76	€ 4.651/kW	k€ 289/jaar € 12,04/GJ	24.000 GJ	€ 15,70/GJ	Nee
WKO+zonthermie	0,76	€ 4.257/kW	k€ 269/jaar € 11,21/GJ	24.000 GJ	€ 14,60/GJ	ja

Tabel 9 Overzicht en vergelijking van de voornaamste kosten van de besproken opties

Ondanks de relatief hoge investeringskosten komt de ondiepe geothermie optie er relatief gunstig uit over een langere periode. Dit omdat er relatief wel veel warmte geleverd kan worden tegen een relatief lage OPEX. De investeringskosten voor geothermie waar meestal mee gerekend wordt voor geothermie liggen



flink lager dan de getallen voor de ondiepe geothermie optie zoals gepresenteerd in de tabel. Het PBL rekent in haar onrendabele topmodel met een investeringsbedrag van € 1.444/kW output²⁶, CE Delft zit iets hoger met € 1.820/kW²⁷. Omdat de bedragen uit de tabel voor geothermie hier zover boven zitten lijkt het onwaarschijnlijk dat investeerders zonder binding met de regio hier interesse in zullen hebben. Immers, voor eenzelfde investering kunnen zij op een andere plek meer warmte krijgen en wellicht een hoger rendement halen. Daarnaast wordt uitgegaan van een terugverdientijd van 30 jaar. Dit zal voor marktpartijen niet aantrekkelijk zijn en zullen deze partijen waarschijnlijk niet accepteren.

De genoemde break-even verkoopprijzen voor de opwek lijken momenteel te hoog voor de energiebedrijven die de warmte aan de klanten zullen leveren. Het maximale ACM-tarief ligt immers vast op circa € 25/GJ²⁸, waardoor er weinig marge zit tussen deze prijs die maximaal aan de klant gerekend mag worden en de kosten voor de opwek zoals die is weergegeven in de tabel. Uit deze marge moet namelijk wel de aanleg en exploitatie van het gehele warmtenet bekostigd worden. Zolang er voldoende aanbod is van restwarmte in de omgeving lijkt geen van bovenstaande opties te kunnen concurreren. Hierbij moet gerealiseerd worden dat voor de berekening van de kosten gerekend is met een terugverdientijd van 30 jaar, wat niet aantrekkelijk is voor marktpartijen en private investeerders.

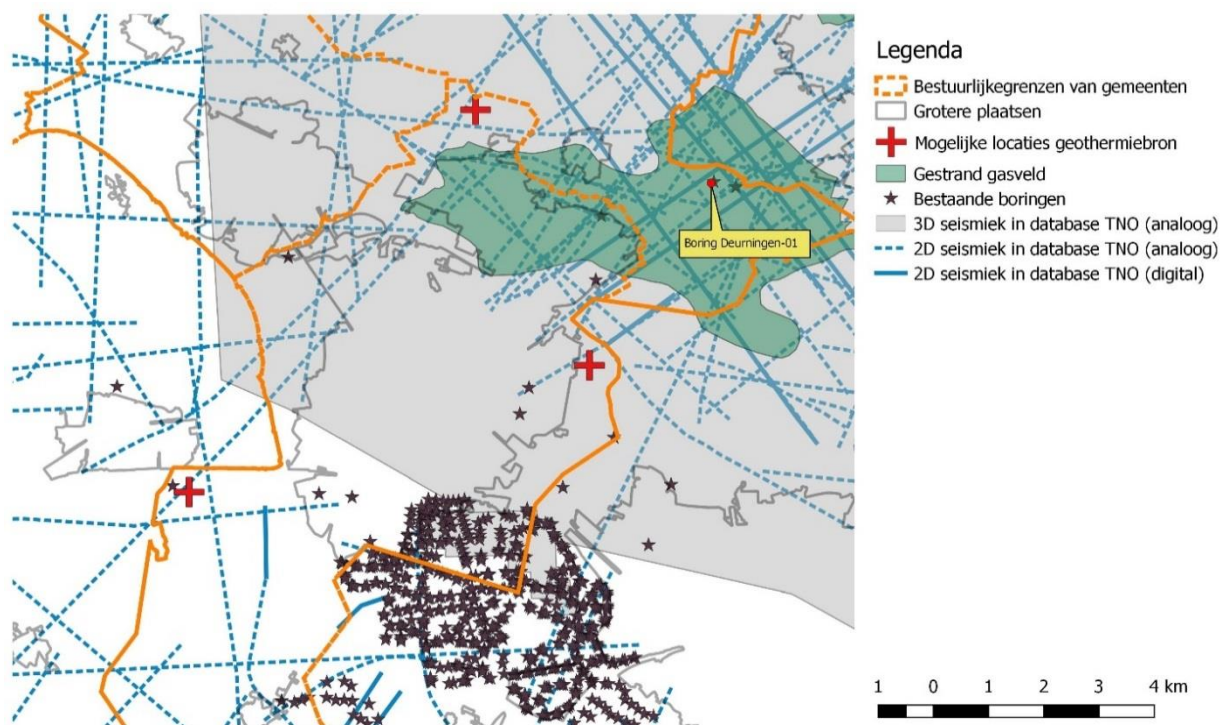
Mogelijk is er nog wel belangstelling voor de geothermie als invulling van de basislast van het lage temperatuurnetwerk. De geothermiebron kan hiermee mogelijk de systeemstabiliteit en leveringszekerheid van het net vergroten, wat belangrijk kan zijn bij een opschaling van het huidige warmtenet. De hogere kosten per GJ zijn dan wellicht acceptabel en kunnen mogelijk worden verdisconteerd in de warmteprijs als het aandeel vanuit de geothermie klein blijft.

Mocht deze optie worden overwogen dan is het aan te raden om d.m.v. interpretatie van de bestaande seismische informatie een beter beeld te vormen van de ondergrond in de regio. Hiervoor dient de beste locatie te worden geselecteerd waarbij ook de bovengrondse aspecten worden meegenomen. Figuur 23 laat zien dat er bestaande seismische lijnen in de nabijheid van de in dit rapport besproken locaties liggen, al zijn deze vooralsnog analoog aanwezig in de TNO-database.

²⁶ https://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/data/pbl-2018-conceptadvies-sde-plus-2019-berekening-basisbedragen-onrendabele-top-model-OT-model_3303.xlsx

²⁷ Getal uit Warmtekaart provincie Fryslân (CE Delft), te downloaden via: www.fryslan.frl/beleidsthemas/warmte_43082/

²⁸ <https://www.acm.nl/nl/warmtetarieven>



Figuur 23 overzicht van bestaande seismische informatie nabij de locaties die in het rapport besproken zijn



Bijlagen

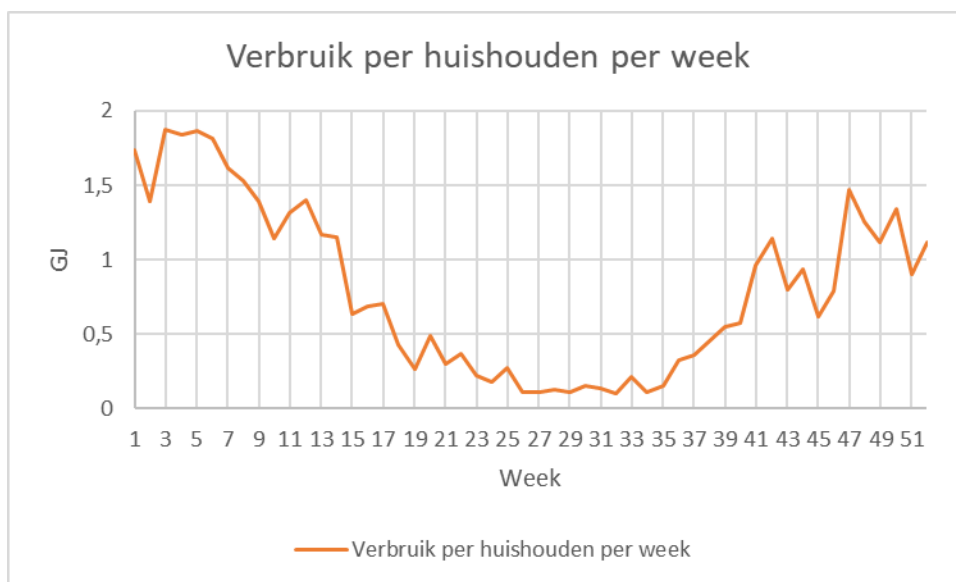
Bijlage 1	Warmtevraag.....	43
Bijlage 2	Bepaling van ondergrondse parameters relevant voor geothermie	44
Bijlage 3	Warmteleiding.....	53



Bijlage 1 Warmtevraag

Voor de warmtevraag wordt gerekend met de verbruiksgegevens van een gemiddeld huishouden in Nederland²⁹. Deze warmtevraag bedraagt 42 GJ/jaar en het verbruiksprofiel laat een duidelijke seizoensafhankelijkheid zien in het verbruik, het zgn. badkuipprofiel. De verwachting is dat de toekomstige warmtevraag 30% lager is als gevolg van toekomstige isolatiemaatregelen, naar 29 GJ/jaar.

De maximale piek in de data (op uurbasis) is 11 kWh (0,04GJ), dus een gevraagd vermogen van 11kW. Voor de berekening van het gevraagde piekvermogen gaan we, waar relevant, uit van een gelijktijdigheid van 55%.



Figuur 24 huidige warmtevraag van een gemiddeld huishouden in Nederland

²⁹ Bron: <https://pro.energytransitionmodel.com/>

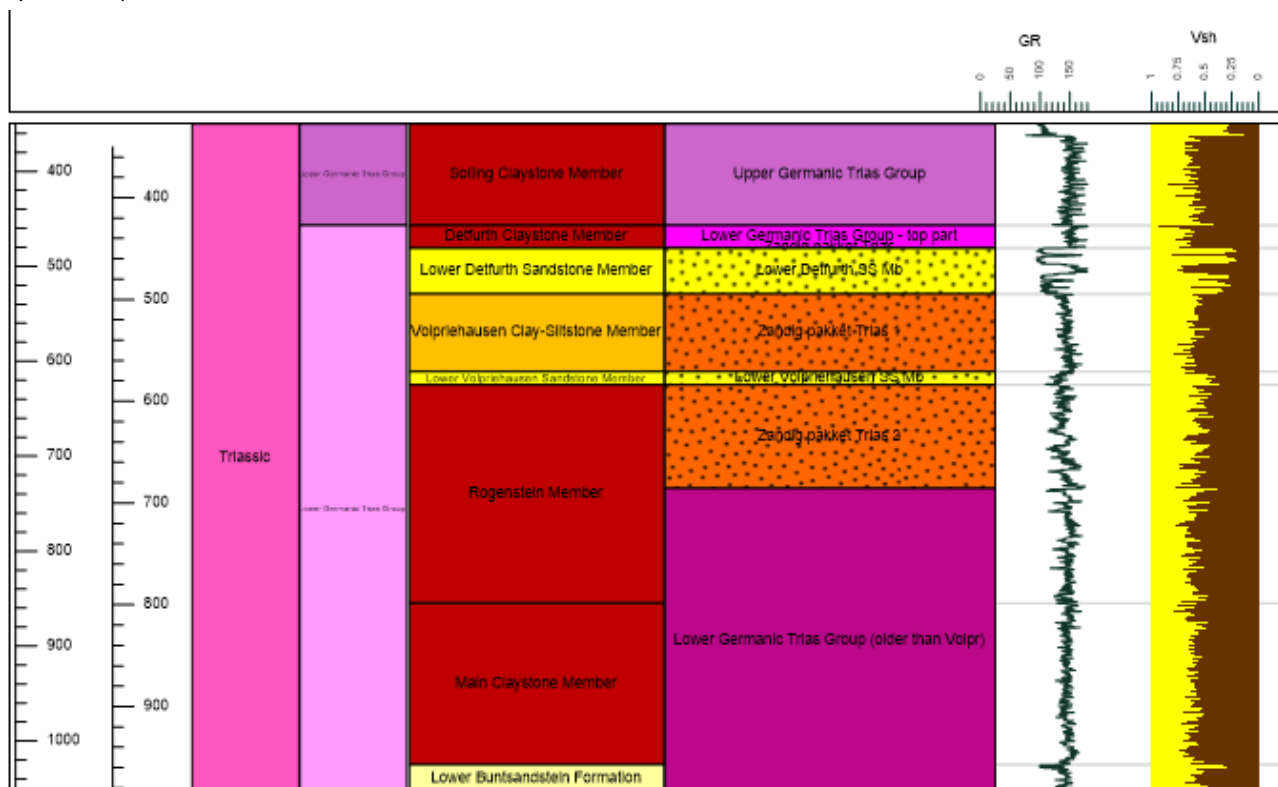


Bijlage 2 Bepaling van ondergrondse parameters relevant voor geothermie

Reservoirdikte en N/G

Reservoirdikte en N/G van het Onder Detfurth zandsteen laagpakket

Boring DRN-01 laat zien dat de voornaamste zandige pakketten aanwezig zijn in het Onder Detfurth zandsteen laagpakket. Dit laagpakket is in totaal in deze boring 48m dik. Middenin de sequentie is echter nog een kleiig interval. Voor de berekeningen is uitgegaan van een dikte van 40m met een aangenomen N/G van 0,9.

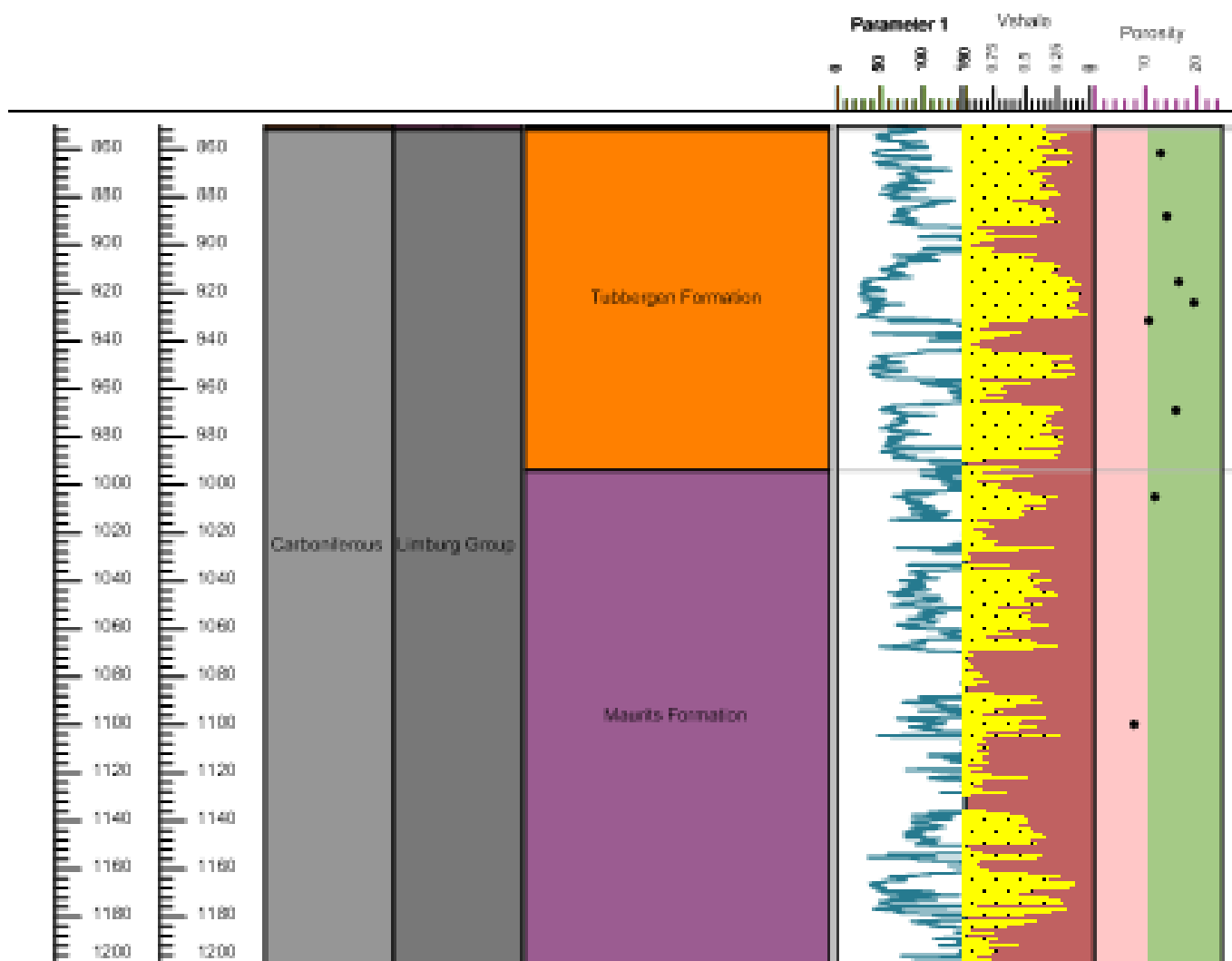


Figuur 25 Trias sectie van boring DRN-01



Reservoirdikte en N/G van de Tubbergen zandstenen

Boring Hengevelde-01 laat een zeer zandige sequentie zien aan de top van het Carboon, de zgn. Tubbergen formatie. De totale dikte van deze formatie is circa 125m. Aangenomen N/G voor deze sectie is 0,8.



Figuur 26 Bovenste deel van het Carboon in boring Hengevelde-01. De Tubbergen formatie is hier erg zandig met gemeten porositeiten die oplopen tot boven de 20%. Soortgelijke lagen in de gemeente Hengelo, indien aanwezig, zullen echter aanmerkelijk (circa 700m) dieper liggen met als gevolg een lagere porositeit.

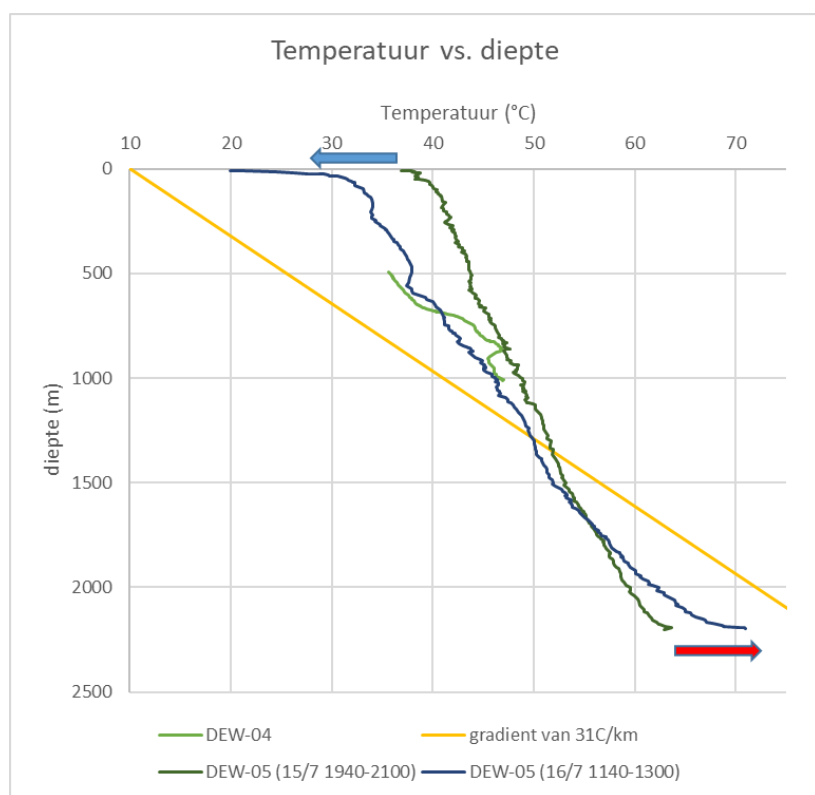
Temperatuur van het opgepompte water

In het algemeen wordt voor de Nederlandse ondergrond uitgegaan van een lineaire temperatuurgradiënt van 31°C/km, waarbij wordt uitgegaan van een gemiddelde oppervlaktetemperatuur van 10°C. Dit is ook de standaardinput van DoubletCalc. Er zijn echter lokale variaties mogelijk, met name in de buurt van zoutlagen zoals in de omgeving van Hengelo het geval is. Dit komt omdat zout een hogere geleidbaarheid heeft voor warmte dan sedimentaire silicaatgesteentes.



De gemeten temperaturen van twee boringen in de nabijheid zijn geëvalueerd. Hierbij is het belangrijk om te realiseren dat het boorproces de gemeten temperatuurgradiënt in de put verstoord door boorvloeistof rond te pompen tijdens het boren. Door deze circulatie warmt het bovenste gedeelte van de put (en direct aangrenzende gesteentelagen) iets op en koelt het onderste gedeelte af. De oorspronkelijke gradiënt herstelt zich zodra er wordt gestopt met het circuleren van de boorvloeistof, hier gaat echter wat tijd overheen. Bij de meeste boringen wordt er echter niet gewacht totdat de temperatuur weer volledig in evenwicht is en moet er een correctie worden uitgevoerd op de gemeten waardes om de juiste gradiënt te bepalen.

Het bovenstaande is goed zichtbaar in de onderstaande figuren, waarbij de temperatuur op verschillende momenten na het stoppen van de circulatie is gemeten over een lang traject. Gezien het onderstaande plaatje kan niet uitgesloten worden dat de temperatuurgradiënt hoger is dan het landelijk gemiddelde. Het is echter waarschijnlijker dat de temperatuur in de put ook bij de laatste meting nog niet in evenwicht is. Er wordt ervan uitgegaan dat dit het geval is en dat de gradiënt goed benaderd kan worden met de landelijke gradiënt. Voor het Triassysteem wordt op een diepte van 700m derhalve uitgegaan van een temperatuur van 32°C. Voor het Carboonsysteem wordt op een diepte van 1550m uitgegaan van een temperatuur van 58°C.



Figuur 27 Gemeten temperatuurprofielen in boringen DEW-04 en DEW-05. De pijlen geven aan dat naarmate de tijd sinds circulatie van de boorvloeistof verstrijkt, de temperatuur weer in evenwicht komt. Bovenin de put neemt de temperatuur af met de tijd, onderin de put neemt deze toe.



Porositeit

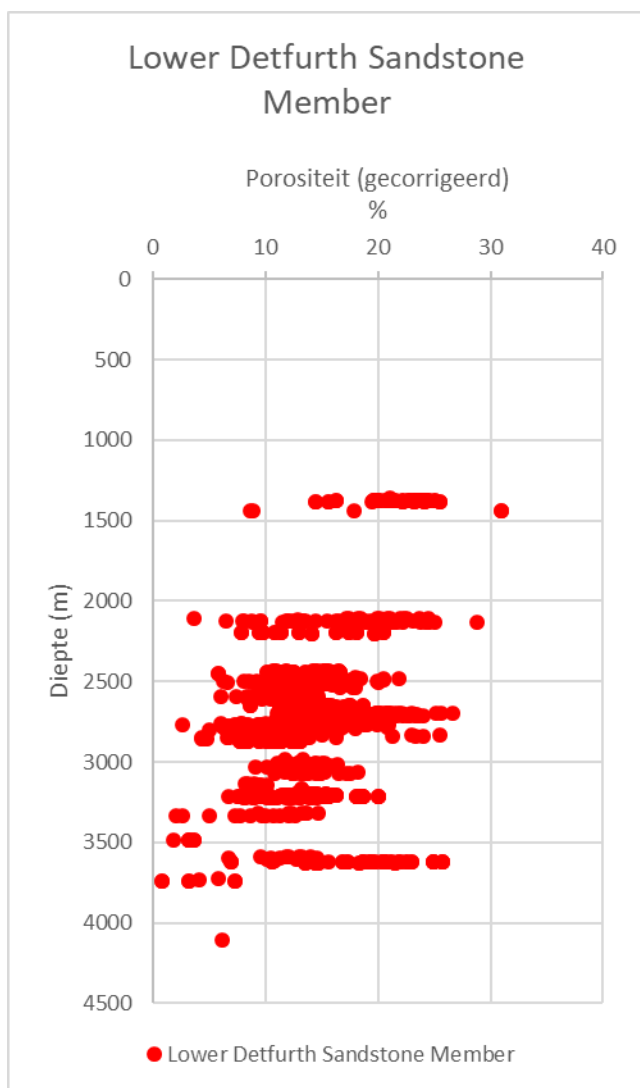
Porositeit van het Onder Detfurth zandsteen laagpakket

Om de porositeit in te schatten van het Onder Detfurth zandsteen laagpakket is een plot gemaakt van gemeten porositeitwaardes tegen de diepte. Hiervoor is de porositeitdata gebruikt uit de database van nlog.nl. Uit Figuur 29 wordt duidelijk dat er erg veel spreiding is in de data maar dat de porositeit af lijkt te nemen met toenemende diepte. Er zijn echter geen metingen van ondiepe voorkomens van deze gesteentelaag. Op basis van deze curve wordt verwacht, middels extrapolatie, dat de porositeit op 700m diepte tussen de 10 en 35% zal liggen.

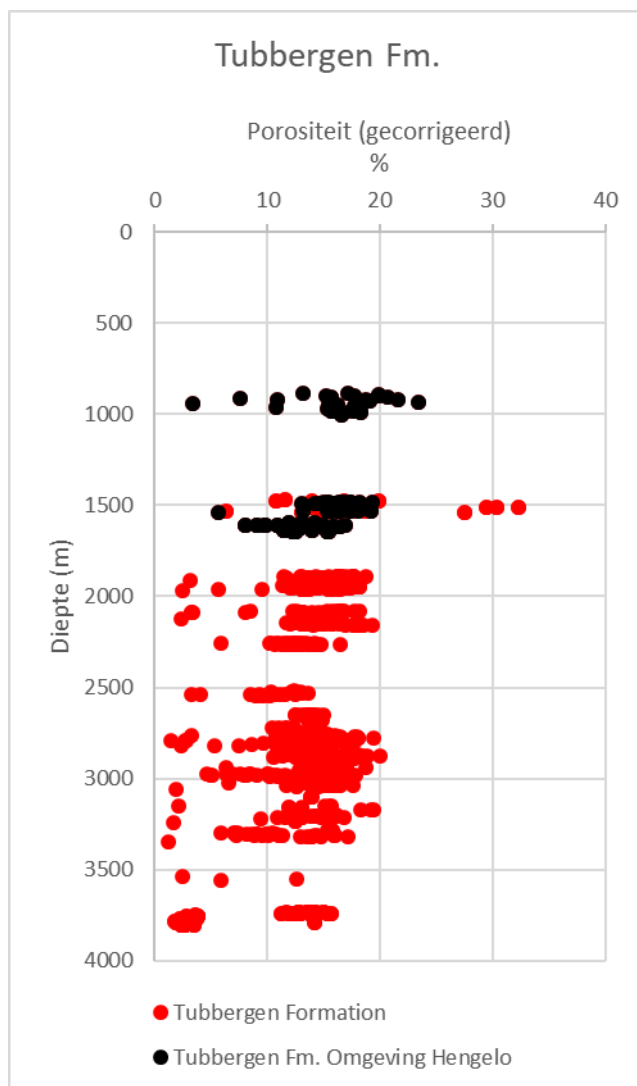
Deze waardes liggen in lijn met de porositeit zoals bepaald in boring DEW-05 met een eenvoudige petrofysische analyse (Figuur 30). De uit de logs afgeleide porositeit ligt tussen de 20 en 30%. Voor de afleiding van de porositeit is daarom uitgegaan van een porositeit van 25%.

Porositeit van de Tubbergen zandstenen

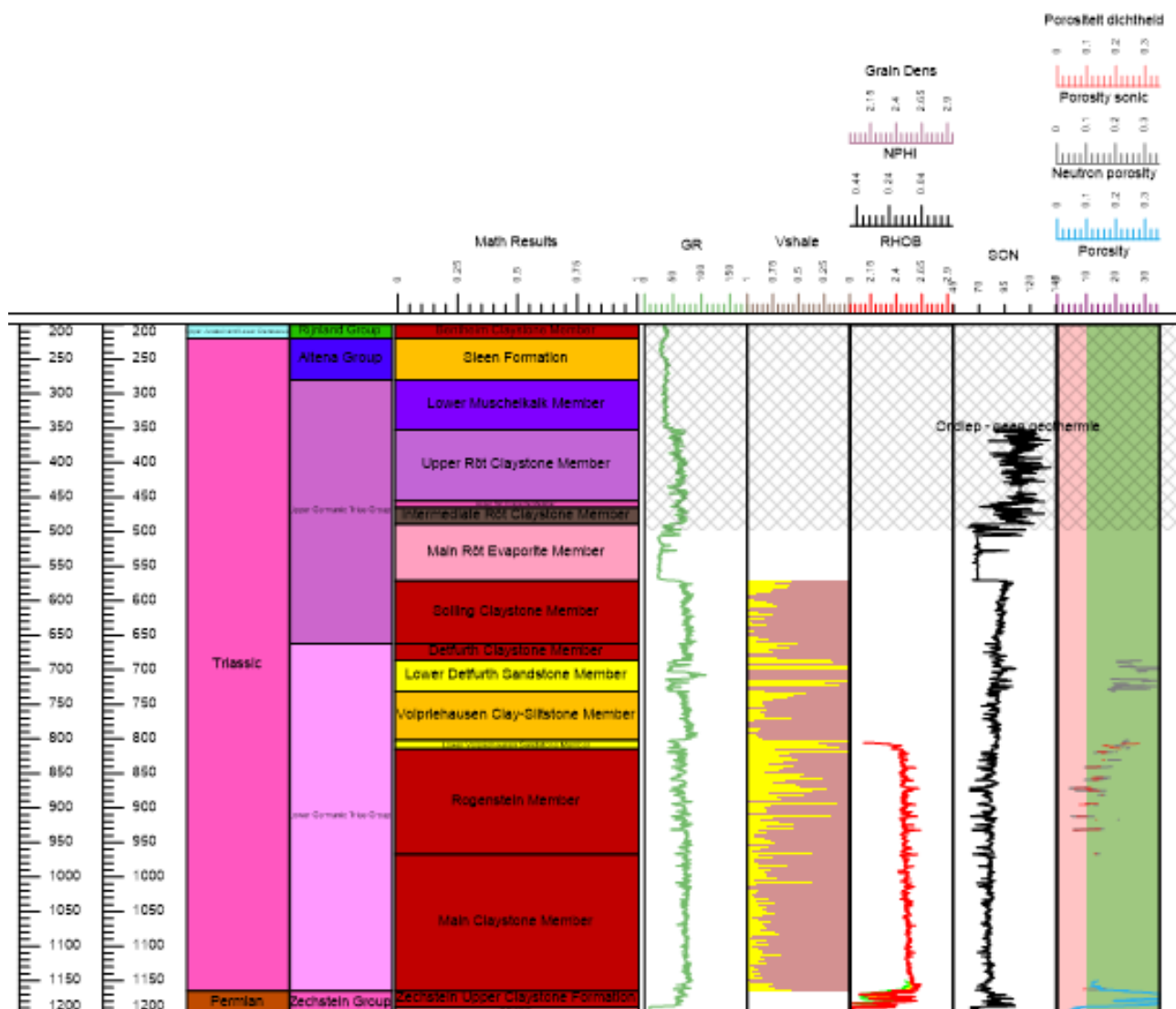
Eenzelfde plot van porositeitsmetingen tegen diepte is gemaakt voor de Tubbergen zandstenen (Figuur 28). Op basis van deze curve wordt verwacht dat de porositeit op 1550m diepte tussen de 5 en 20% zal liggen. Voor de afleiding van de porositeit is daarom uitgegaan van een porositeit van 15%.



Figuur 29 Porositeit tegen diepte van Onder Detfurth zandsteen laagpakket zoals gemeten in gesteentemonsters verkregen uit Nederlandse boringen. De waarden zijn gecorrigeerd met een factor 0,95.



Figuur 28 Porositeit tegen diepte van de Tubbergen zandstenen zoals gemeten in gesteentemonsters verkregen uit Nederlandse boringen. De waarden zijn gecorrigeerd met een factor 0,95



Figuur 30 Trias sectie van boring DEW-05

Permeabiliteit

Op basis van de nlog database zijn plots gemaakt van de gemeten porositeit tegen de gemeten permeabiliteit. Zoals hierboven aangegeven is de porositeitswaarde gecorrigeerd met een factor 0,95 om meer representatief te zijn voor de situatie in de ondergrond. Ook de permeabiliteitswaarden zijn gecorrigeerd om dezelfde reden. De waarden zijn gecorrigeerd met de Juhasz compactie correctie (Juhasz, 1986).

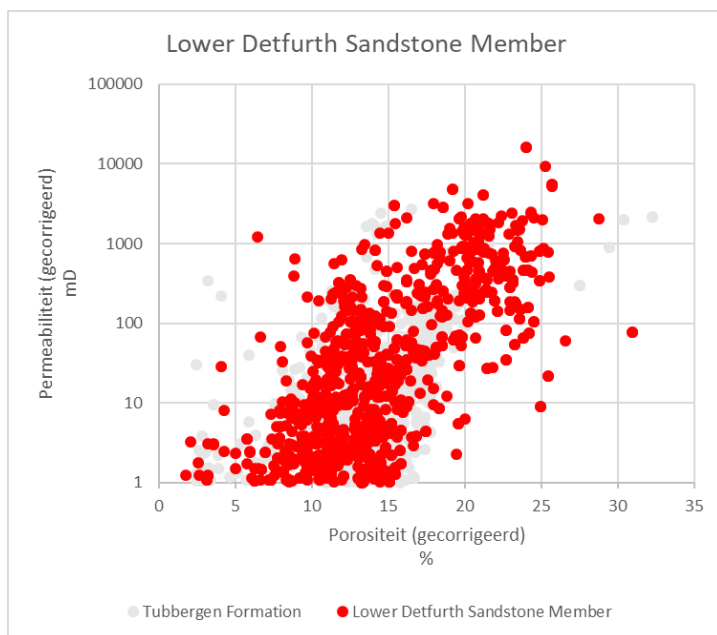
Permeabiliteit van het Onder Detfurth zandsteen laagpakket

Gegeven de aangenomen porositeit van 25% (zie boven) is een permeabiliteitswaarde mogelijk van 100-1200 mD. Voor de berekeningen is uitgegaan van een waarde van 500mD.

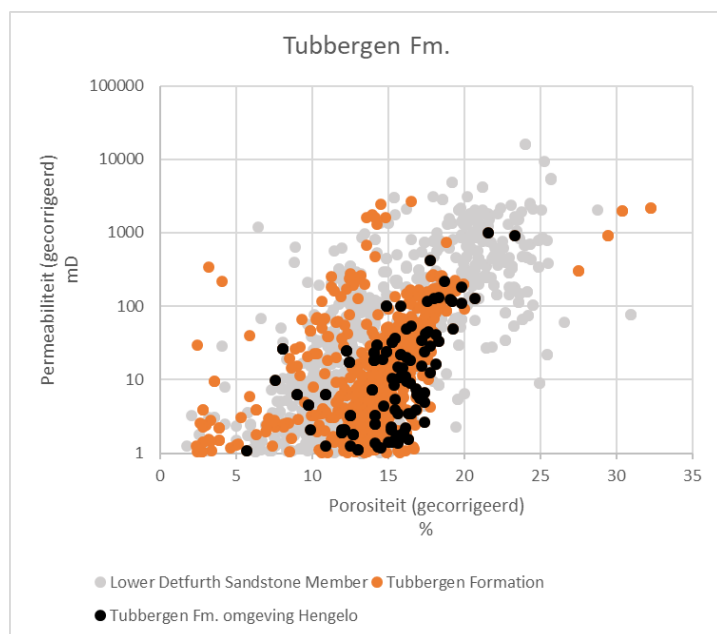


Permeabiliteit van de Tubbergen zandstenen

Gegeven de aangenomen porositeit van 15% (zie boven) is een permeabiliteitswaarde mogelijk van 1-100 mD. Voor de berekeningen is gezien de spreiding uitgegaan van een waarde van 20mD.



Figuur 31 Poro-perm plot van het Onder Detfurth Zandsteen Laagpakket



Figuur 32 Poro-perm plot van de Tubbergen zandstenen. Putten met data zijn DEW-04, DEW-05, DRN-01, HKS-01 en HGV-01



Geothermie pomp

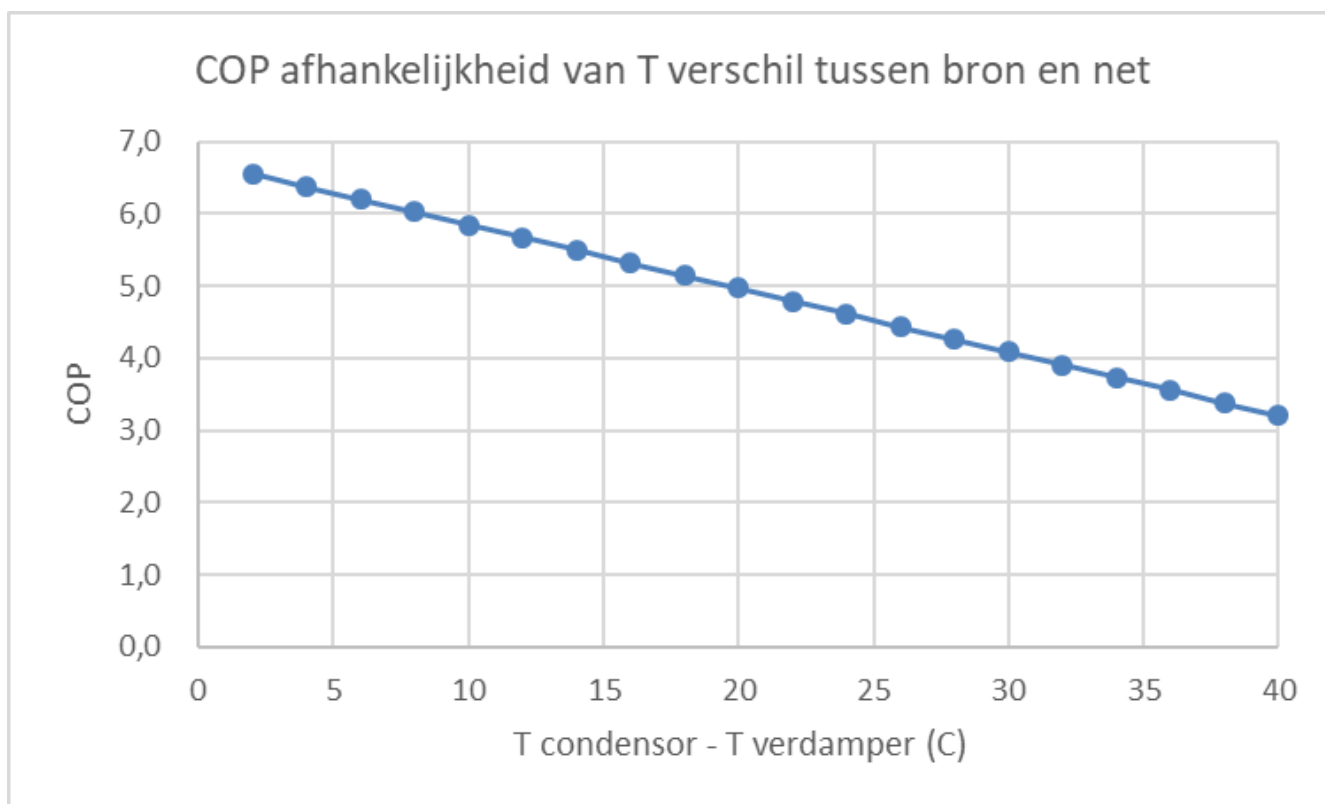
Elektriciteit wordt gebruikt bij het aandrijven van de pomp (ESP) in de productieput en voor de inzet van de warmtepomp. Er wordt aangenomen dat de pomp op 500m diepte hangt in een 8.5 inch put. Voor de pomp wordt in Doubletcalc uitgegaan van een efficiëntie van 70%. Er wordt voor het pompverschil een waarde aangenomen van 25 en 40 bar voor respectievelijk het Trias en het Carboon. Voor deze pomp wordt uitgegaan van een COP van 14 om het elektriciteitsverbruik te berekenen, in lijn met (maar iets lager) dan de uitkomsten vanuit Doubletcalc.

Warmtepomp

Er wordt gebruik gemaakt van een warmtepomp om de temperatuur naar 40°C op te waarderen. De COP die gebruikt wordt om het elektriciteitsverbruik uit te rekenen is gebaseerd op de relatie zoals weergegeven in onderstaande figuur. Deze relatie is door Ekwadraat afgeleid uit specificatie opgaves van diverse warmtepompen³⁰. Er wordt vanuit gegaan dat de afgiftetemperatuur van de warmtepomp 15°C is. Aan de condensorkant komt het water uit het net met een temperatuur van 20°C binnen en is de afgiftetemperatuur 40°C. Hierop wordt de benodigde stroomsnelheid van het warmtemiddel (met aangenomen C_p van 2.4 kJ.kg.K) in de pomp berekend. In de pomp zijn deze respectievelijk 116 m³/h voor het Triassysteem en 41 m³/h voor het Carboonsysteem. Dit zijn hoge snelheden, er is niet geëvalueerd of dit technisch haalbaar is. Voor de kosten van de warmtepomp is € 250 per kW output aangehouden.

Elektriciteit wordt daarnaast gebruikt bij het aandrijven van de pomp (ESP) in de productieput en voor de inzet van de warmtepomp. Bij een hoger debiet van de geothermiebron neemt het vermogen van de bron toe, bij afzet daarmee ook de opbrengsten, maar ook het elektriciteitsverbruik neemt toe en daarmee de kosten.

³⁰ Zie ook bijv. http://industrialheatpumps.nl/nl/techniek/cop_warmtepomp/. Deze website geeft een indicatie van de COP die aanmerkelijk hoger ligt dan de bovenstaande, welke derhalve meer theoretische dan praktische COP weer te geven.

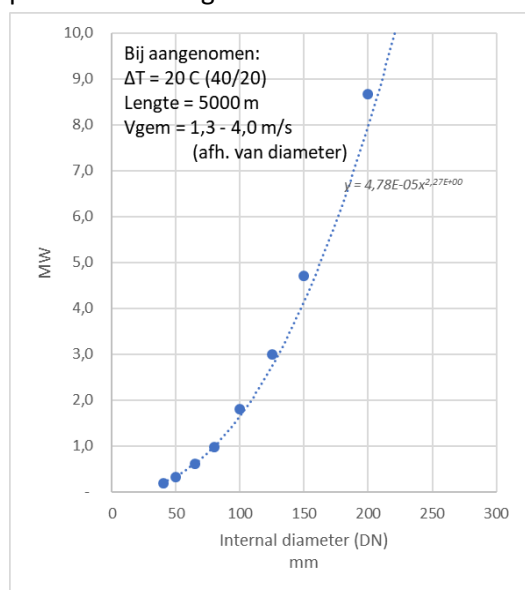


Figuur 33 Afhankelijkheid van de COP van de warmtepomp van het temperatuurverschil tussen de bron en het warmtenet

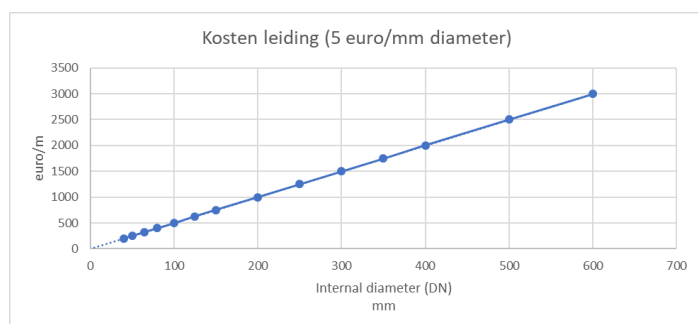


Bijlage 3 Warmteleiding

Op basis van de inschattingen voor de ondiepe geothermiesystemen is 2MW het maximaal vermogen dat geleverd moet kunnen worden door de leiding. Op basis van onderstaande figuur kan worden ingeschat dat bij een 40/20 systeem een leiding met DN100 voldoende zou moeten zijn om dit vermogen te leveren. De verwachte kosten voor een dergelijke leiding zijn circa € 100 per meter leiding. Gezien de civiele uitdagingen kunnen deze echter flink hoger liggen en voor de quickscanberekening is uitgegaan van € 250 per meter leiding.



Figuur 34 Vermogen dat het warmtenet aan kan als functie van de interne diameter bij een delta T van 20°C



Figuur 35 Kosten van de leiding als functie van de interne diameter

	Lengte leiding (km)	Kosten leiding bij 100 €/m (k€)	Jaarlijkse kosten (25 jaar) Inclusief 2% OPEX (k€)
Locatie 1: Hengelo-Noord	2,3	575	23 + 12 = 35
Locatie 2: Hengelo-West	3,2	800	32 + 16 = 48
Locatie 3: Hengelo-Oost	3,0	750	30 + 15 = 45

Tabel 10 Kosten van de trajecten voor de warmteleiding voor de geselecteerde locaties