

Engineering the earth



Ministerie van Economische Zaken



Engineering the earth

Single hole geothermische systemen

Single hole geothermische systemen

Colophon

Date: 2017
Version: final

Authors: N. Buik, and T. Aalten

Checked: G. Bakema

Published by: IF Technology bv
Velperweg 37
P.O. Box 605
6800 AP ARNHEM, The Netherlands
Contact person: G. Bakema
Email: g.bakema@iftechnology.nl

Dutch Geothermal Research Agenda (Kennisagenda Aardwarmte)

These technical guidelines have been made possible by the Kennisagenda subsidy of the Ministry of Economic Affairs, LTO Glaskracht Nederland and the program Kas als Energiebron.

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	5
2	Afbakening en doel	7
2.1	Probleemschets	7
2.2	Doelen van het project	7
2.3	Onderzoeksopzet	7
2.4	Onderzoekskader	8
3	Single hole technieken	9
3.1	Systeemconcepten	9
3.2	Bodemwarmtewisselaars	9
3.3	Standing Column Well	11
3.4	Monobron	14
4	Ervaringen Single hole systemen	16
4.1	Algemeen	16
4.2	Bodemwarmtewisselaars	16
4.2.1	Praktijkervaringen	16
4.2.2	Modelstudies	19
4.3	Standing Column Wells	25
4.3.1	Praktijkervaringen	25
4.3.2	Modelstudies	26
4.4	Monobronnen	29
4.4.1	Praktijkervaringen	29
4.4.2	Modelberekeningen	30
5	Kansen voor de Nederlandse situatie	32
5.1	Juridisch kader	32
5.1.1	Mijnbouwwet	32
5.1.2	Waterwet	33
5.2	Technische mogelijkheden	34
6	Economische analyse	35
6.1	Inleiding	35
6.2	Referentie systeem	35
6.3	Single hole	37

7	Conclusies en aanbevelingen	39
7.1	Conclusies	39
7.2	Aanbevelingen	40
8	Literatuur.....	41

Bijlage 1 Potentie Mono well

Bijlage 2 BWW

1

Samenvatting

In dit rapport staan de resultaten beschreven van een onderzoek dat is uitgevoerd naar de technische en financiële haalbaarheid van single hole geothermiesystemen. Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van de Kennisagenda aardwarmte. De volgende single hole systemen zijn onderzocht (maximale diepte 2.500 m-mv):

- Bodemwarmtewisselaar (BWW);
 - Nieuw aan te leggen;
 - Gebruik makend van oude olie- en gasputten;
- Standing Column Well (SCW);
- Monobron.

Er is wereldwijd en ook in Nederland beperkte ervaring met diepe single hole systemen. De belangrijkste ervaringen zijn er met diepe BWW's veelal in onderzoeksprojecten. Er zijn geen systemen die op dit moment warmte leveren aan commerciële projecten.

Uit praktijkervaringen en modelstudies blijkt dat het thermisch vermogen van een BWW en een SCW respectievelijk 150 en 300 kW bedraagt. Het thermisch vermogen van een monobron ligt tussen de 1.000 en 1.500 kW. In vergelijking met systemen met ondiepe (tot max 150 m-mv) bodemwarmtewisselaars (met warmtepompen) leveren de diepe bodemwarmtewisselaars en Standing Column Wells warmte die een factor 2 tot 4 duurder is. Dit grote prijsverschil en het feit dat er veel ervaring is met ondiepe bodemwarmtewisselaars, maakt dat de markt voor diepe bodemwarmtewisselaars en Standing Column Wells in Nederland beperkt is. Wellicht zijn oude olie- en gasputten economisch interessant; de afstand tussen de put en de warmtevraag is hierin sterk bepalend.

Monobronnen kunnen tussen de 1,0 en 1,5 MW aan thermisch vermogen leveren voor een kostprijs van 0,2 tot 0,4 €/kWh (nog zonder SDE-subsidie). Hiermee zijn ze in prijs vergelijkbaar met ondiepe bodemwarmtewisselaars (tot ca. 150 m-mv). Wel is de warmte twee keer zo duur als hetgeen met een geothermisch doublet kan worden geproduceerd. Een doublet heeft echter een warmte-afzet nodig van tussen de 5 en 10 MW met veel vollaasturen. Is deze warmtevraag momentaan aanwezig, dan is een doublet te prefereren boven meerdere monobronnen. Indien de warmtevraag gefaseerd beschikbaar komt (bv aanleg woonwijk) of indien de warmtevraag nooit boven de 1,5 tot 2 MW komt, dan is een monobron een goede mogelijkheid. De belangrijkste toepassingsgebieden zijn woningbouw (300 – 500 woningen) en kleinschalige glastuinbouw.

Het wordt aanbevolen om het monobron concept technisch en economisch verder uit te werken voor een aantal concrete cases.



2

Afbakening en doel

2.1 Probleemschets

De huidige geothermie projecten zijn doublet systemen die minimaal 10 MW aan thermisch vermogen leveren. Deze zijn voor veel toepassing te groot en daardoor wordt een deel van de markt voor geothermie niet ontsloten. Een mogelijke oplossing is het gebruik van één boorgatsystemen (enkelgats, single hole, one hole). De verwachting is dat deze systemen tussen de 0,5 en 2 MW aan thermische vermogen kunnen leveren. Verder zijn een deel van de single hole systemen minder afhankelijk van de aanwezigheid van watervoerende reservoirs omdat ze uitgaan van het thermische geleidingsvermogen een veel breder geologisch toepassingsgebied hebben.

Ondiep (tot 200 m-mv) zijn de concepten met single hole geothermische systemen erg veel toegepast. Diepere systemen (> 1000 m-mv) zijn in het buitenland wel ontwikkeld, maar het heeft nog geen hoge vlucht genomen. Komt dit door onbekendheid van de markt met deze systemen of maken ze hun verwachtingen niet waar?

2.2 Doelen van het project

Het doel van het project is om een overzicht te geven van de diverse concepten die er mogelijk zijn met de single hole technologie, welke ervaringen daar wereldwijd mee opgedaan zijn en wat de mogelijkheden zijn onder de Nederlandse geologische omstandigheden. Het gaat hierbij om een screening op de thermische prestaties van de diverse concepten en niet over een technische beoordeling van individuele oplossingen (leveranciers of onderzoeksprojecten).

2.3 Onderzoeksopzet

Het onderzoek kent de volgende opzet:

- Beschrijving van en de ervaringen met de diverse single hole technologie. Dit betreft modelstudies en concrete (onderzoeks)projecten;
- De technische en juridische mogelijkheden van de diverse technologieën voor de Nederlandse situatie;
- De economische haalbaarheid van de diverse technologieën in relatie tot andere (on) diepe geothermische technologieën;
- Conclusies en aanbevelingen.

2.4 Onderzoekskader

Het onderzoek kent de volgende technische kaders:

- Single hole zijn systemen met één verticaal boorgat (of een verlaten boorgat uit olie en gas);
- Het gaat om systemen die onder de Mijnbouwwet vallen (diepte tussen de 500 en 6.000 m-mv.) en die warmte onttrekken uit de ondergrond;
- Produceren van warmte (geen stoom of elektriciteit) van max 100 °C (al dan niet met een warmtepomp) voor verwarming;
- De volgende systemen worden uitgesloten:
 - Systemen met radial drillings;
 - Systemen waarbij reservoirs worden gemaakt via fracking;
 - Systemen die water of stoom af voeren zoals bv Powertube concepten www.powertube.be of “Bleeding” standing column wells;
 - Systemen ondieper dan 500 m-mv.

Het onderzoek kent de volgende juridische kaders:

- Systemen moeten voldoen aan de Mijnbouwwet;
- Systemen moeten voldoen aan Waterwet.

Het onderzoek kent de volgende economische kaders:

- De systemen worden economisch vergeleken met andere geothermische systemen zoals grondgekoppelde warmtepompen (veelal ondiepe bodemlussystemen, bodemwarmtewisselaars, BTES) die een vergelijkbaar thermisch vermogen kunnen leveren;
- Verder wordt bepaald wat de warmte kost die geleverd kan worden met de diverse systemen.

3

Single hole technieken

3.1 Systeemconcepten

Het belangrijkste onderscheidend vermogen van de diverse single hole systemen is de wijze waarop de energie aan de ondergrond wordt onttrokken. Dit kan plaatsvinden door conductie (geleiding) en convectie (stroming). De basisconcepten worden in de volgende paragrafen beschreven.

3.2 Bodemwarmtewisselaars

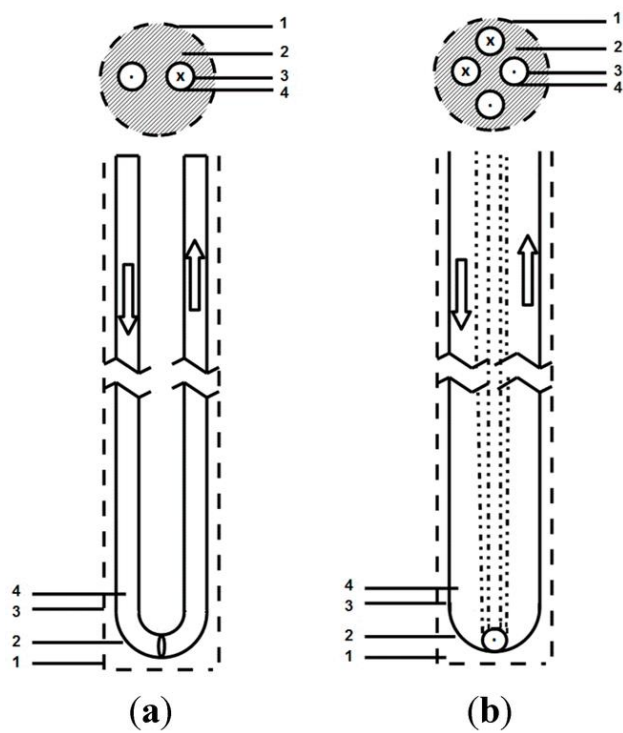
Andere benaming zijn: Gesloten systemen, Closed loop systems, Groundsource heatpumps, Deep Borehole Heat Exchangers (BWW), Tiefe ErdwärmeSonden.

De bodemwarmtewisselaars zijn een met water gevuld gesloten systeem waarbij warmte door middel van conductie aan de ondergrond wordt onttrokken. De systemen zijn onafhankelijk van het watervoerend vermogen van de ondergrond. Het thermisch vermogen wordt bepaald door het geleidend vermogen van de diverse ondergrondse lagen. Systemen zijn gesloten en hoeven geen rekening te houden met grondwaterkwaliteitsverschillen. Bij bodemwarmtewisselaars zijn twee basisconcepten te onderscheiden:

- **U-Tube.** Hierbij wordt een gesloten U-buis in het boorgat geplaatst. In tegenstelling tot ondiepe (tot 200 m-mv) U-buis systemen wordt voor de geothermische systemen de opgaande buizen geïsoleerd om warmteverliezen te voorkomen. Er bestaan enkele en dubbele U-tube systemen (Figuur 1).
- **Co-axial.** Hierbij wordt een centrale geïsoleerde opgaande buis geplaatst in een grotere buis waar de transportvloeistof weer wordt teruggevoerd. Een andere optie is dat er alleen een centrale opgaande geïsoleerde buis (riser) wordt geplaatst en het water via de casing weer in het boorgat wordt geïnjecteerd. Om te voorkomen dat de temperatuur van het onttrokken water te snel wordt afgekoeld, is het noodzakelijk dat de riser goed wordt geïsoleerd. Dit kan door een extra buis rond de riser te plaatsen en deze met geïsoleerd cement te vullen of de ruimte vacuüm te trekken. Daarnaast wordt het de ruimte tussen de bovenste casing en het boorgat gevuld met isolerend cement. In Figuur 2 is een co-axiale bodemwarmtewisselaar schematisch weergegeven.

Verder kan er ook gebruik gemaakt worden van bestaande olie- en gasputten waarbij, voordat een riser wordt geplaatst, het open gedeelte van de put wordt afgedicht en de bovenste 1000 m wordt geïsoleerd (Visser, 2014).

Figuur 1
Schematisatie van
een u-tube (a).
dubbele u-tube (b).



Figuur 2
Schematisatie van
een co-axiale
bodemwarmtewissel
aar.

Nr.	Section	Explanation	Depth	
			[m]	
1	Conductor	with insulated cement	250	
2	Casing 1	with insulated cement	1.200	
	Riser isolated		2.400	
3	Casing 2	with conducting cement	2.500	

3.3 Standing Column Well

Standing column Wells (STW) zijn gedeeltelijk open boorgaten die in direct contact staan met de ondergrond. Welk deel van het boorgat open is en welk deel gesloten (casing) is afhankelijk van de geologie en van de wetgeving. Uit het open boorgat wordt met een onderwaterpomp grondwater onttrokken en na afkoeling weer bovenin het boorgat teruggevoerd. De buis waaruit het water wordt onttrokken is geïsoleerd. De diepte waarbij de onderwaterpomp wordt geplaatst is sterk afhankelijk van de natuurlijke grondwaterstand (enkele honderden meters) In principe wordt al het onttrokken grondwater weer opnieuw

teruggevoerd. Wel zijn er systemen waarbij extra thermisch vermogen wordt geleverd door netto grondwater te onttrekken door een gedeelte af te voeren naar riool of oppervlaktewater. Dit zogenaamde “bleeden” is in Nederland niet toegestaan.

In Figuur 3 is een standing Column Well schematisch weergegeven. De bovenste twee casings zijn gecementeerd met isolerend cement, de onderste casing is gecementeerd met warmtegeleidend cement. Onder deze casing is een screen geplaatst waarmee het water uit de formatie in contact staat met de put.

Figuur 3
Schematisatie van
een Standing
Column Well.

Nr.	Section	Explanation	Depth	
			[m]	
1	Conductor	with insulated cement	250	
	ESP		400	
	Riser insulated		500	
2	Casing 1	with insulated cement	1.200	
3	Casing 2	with conducting cement	2.300	
	Riser insulated		2.400	
4	Screen	with gravel pack	2.500	

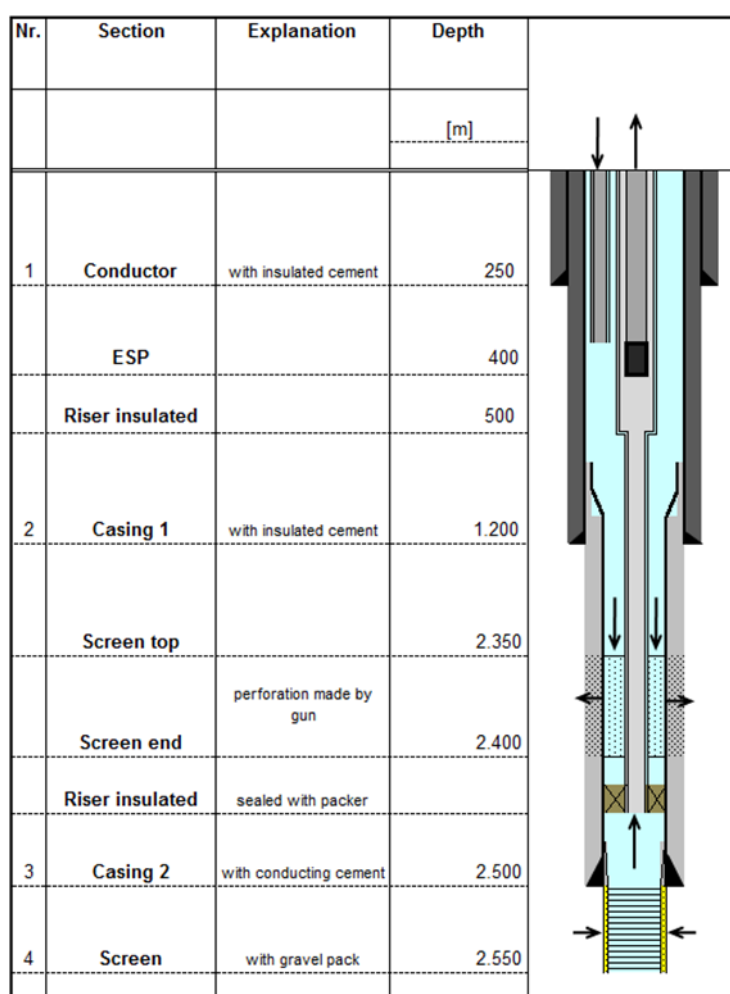
De werking van het systeem is relatief onafhankelijk van de geologie omdat het basisprincipe uitgaat van geleiding. Wel zal het thermisch vermogen worden vergroot op het moment dat het deel van het boorgat dat open is meer watervoerend is. Systemen staan in direct contact staan met grondwater; dit bepaalt de selectie van materialen en de diepte en grootte van de onderwaterpomp (ESP).

3.4 Monobron

Monobron systemen zijn vergelijkbaar met geothermische doublet systemen. Er wordt met een onderwaterpomp grondwater onttrokken uit het onderste gedeelte van een watervoerend reservoir. Na afkoeling wordt dit grondwater weer via een aparte buis in een ondieper gedeelte van hetzelfde watervoerend reservoir geïnjecteerd. In tegenstelling tot doublet systemen wordt de benodigde afstand tussen de filters verticaal in plaats van horizontaal gerealiseerd. Hierdoor is de afstand tussen de filters beperkt, maximaal een paar honderd meter waardoor de hoeveelheid water die verplaatst kan worden voordat thermische kortsluiting optreedt beperkt is (paar honderdduizend m³ per jaar). Het functioneren van het systeem wordt sterk bepaald door de aanwezigheid, dikte en mate van watervoerendheid van het reservoir.

In Figuur 4 is de monobron schematisch weergegeven. De put bestaat uit vier segmenten. Het onderste segment bestaat uit het screen, waarmee het water uit het reservoir de put kan instromen. In de bovenliggende casing wordt op enige afstand een tweede screen gecreëerd door perforatie te schieten in de casing en cementatie. Tussen de filterdelen wordt een weerstand biedende constructie geplaatst om kortsluiting via het boorgat te voorkomen. Het water wordt onttrokken met een ESP, die in een geïsoleerde riser wordt geplaatst, om te voorkomen dat het warme water uit het diepste gedeelte van het reservoir afkoelt. Na de bovengrondse warmte-uitwisseling stroomt het afgekoelde water via de bovenste casing terug de put in, van waaruit het water in het ondiepere gedeelte van het reservoir geïnjecteerd wordt. Er wordt uitgegaan van een verticale put.

Figuur 4
Schematische
weergave van een
diep monobron
systeem.



4

Ervaringen Single hole systemen

4.1 Algemeen

Single hole geothermische systemen zijn wereldwijd erg veel toegepast. Het gaat hierbij vaak om systemen die ondieper zijn dan 500 m-mv. Zo zijn er alleen al in Nederland meer dan 45.000 zogenaamde grond gekoppelde waterpompsystemen die via één of meerdere bodemwarmtewisselaars (U-tube systeem) gekoppeld zijn aan de ondergrond (Bakema, 2016). Verder zijn er in Nederland enkele honderden ondiepe monobron systemen gemaakt (Landelijk Grondwaterregister (LGR), 2017).

Ondiepe Standing Column Wells zijn in Nederland niet bekend. In de USA worden SCW veel toegepast voor het verwarmen van huizen en kleine kantoren. Uit een inventarisatie uit 2005 (Orio, 2005) blijkt dat het grootste systeem 700 kW levert met zes SCW van 500 m diepte. Vrijwel alle systemen in de USA maken gebruik van het bleeden van de SCW om het vermogen tijdelijk te verhogen. Uit meer recentere gegevens (Orio, 2017) blijkt dat in de USA SCW maximaal 600 m diep zijn.

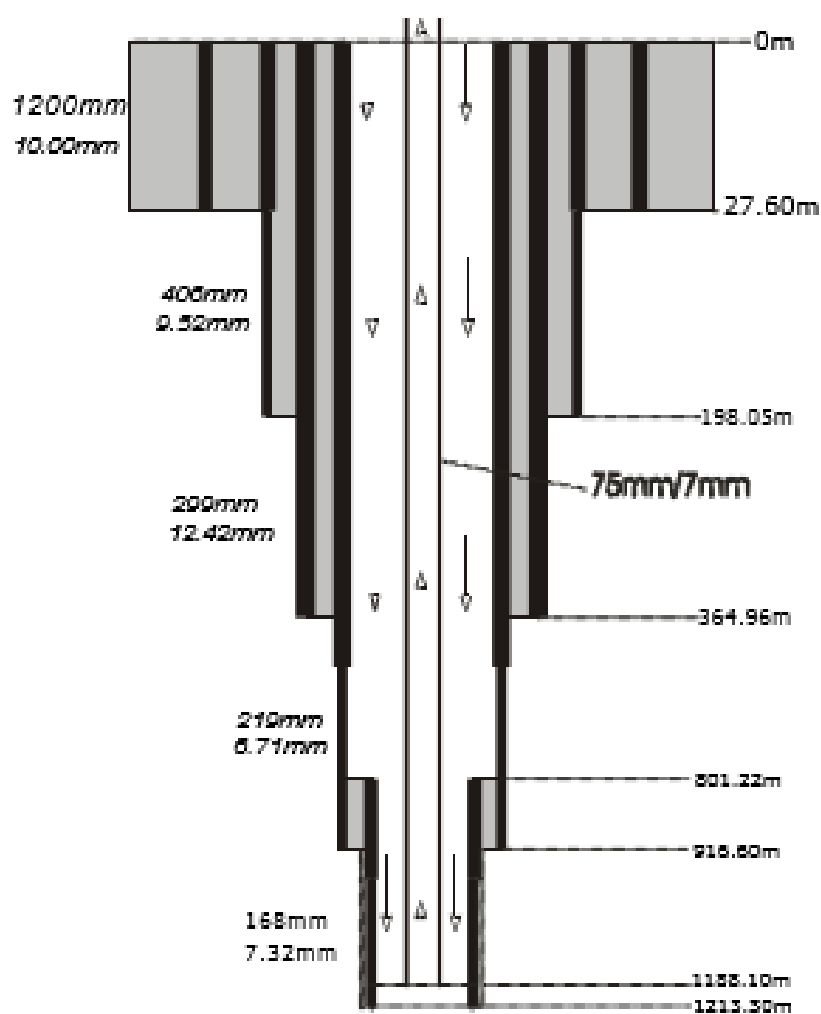
Hoewel de ervaringen van ondiepe systemen kan helpen bij het ontwerpen van diepe systemen, is er in dit onderzoek voor gekozen alleen de ervaringen met diepere systemen op te nemen. Verder richt het onderzoek zich naar ervaringen met name op de thermische prestaties (vermogen (kW) en energie (GWh)); de meer specifieke technische ervaringen bij het maken van de projecten worden zijdelings meegenomen.

4.2 Bodemwarmtewisselaars

4.2.1 Praktijkervaringen

Het grootste gedeelte van de ervaringen met diepe bodemwarmtewisselaars zijn beschreven in een overzichtsartikel van de AGH universiteit (Sapinska-Sliwa, 2015). In Neukirchen, Weisbad, Sucha en Prenzlau zijn droge gasputten omgebouwd tot een bodemwarmtewisselaarsysteem; in Weggis is het een omgebouwde slecht presterende waterput (zie Figuur 5). Het systeem in Aachen (SuperC gebouw) is wel geboord (2004) maar vanwege financiële problemen rond de geïsoleerde binnenbuis nooit in bedrijf gegaan; Het project in Sucha leverde geen significante hoeveelheid warmte omdat de buizen niet waren geïsoleerd.

Figuur 5
Lay-out BWW
Weggis.



Tabel 1
Gerealiseerde BWW
projecten,

Project	Prenzlau (DE)	Aachen (DE)	Sucha (PL)	Weissbad (CH)	Weggis (CH)	Hawaii (USA)	Neukirchen (DE)
Realisatie	1996	2004	1997	1993	1995	1991	
Type	Co-axiaal	Co-axiaal	Co-axiaal	Co-axiaal	Co-axiaal	Co-axiaal	Co-axiaal
Diepte (m-mv)	2786	2500	2900	1213	2295	1962	2850
Temperatuur [°C] (einddiepte)	108	85	-	45	78	110	110
Onttrekkingstem- peratuur [°C]	60	nvt	-	10,6	32	-	45
Flow (m ³ /h)	6	nvt	-	10,5	-	4,8	-
Vermogen [kW] (gemiddeld)	120-150	nvt	-	80	100	-	-
Piekvermogen [kW]	-	nvt	-	-	-	370	300
Hoeveelheid Warmte [GWh _{th}]	-	nvt	-	0,33	0,41	-	-

De belangrijkste conclusies over de gerealiseerde BWW (Tabel 1) zijn:

- De projecten die gemaakt zijn in oude olie- en gasputten hebben veelal casings die niet ontworpen zijn voor het verkrijgen van een optimale geleiding. Hierdoor zijn thermische vermogens en temperaturen lager dan berekend.
- Alle diepe BWW systemen zijn uitgevoerd als co-axiaal systeem. Systemen met U-tube zijn niet aangetroffen; het vermoeden is dat het installeren van dergelijke systemen op grote diepte technisch niet mogelijk is.
- Veel projecten hebben problemen gehad met de isolatie van de riser. Het niet isoleren zorgt ervoor dat de onttrekkingstemperatuur zeer snel daalt. Het goed isoleren van de riser (minimaal geleiding 0,1 W/mK) is zeer kostbaar gebleken.
- De gerapporteerde data zijn zeer divers; deels zijn het metingen, deels zijn het simulaties. Verder is onduidelijk of er wel of niet gebruik is gemaakt van een warmtepomp en of dat er direct warmte is geleverd (verschil in gemiddeld vermogen en piekvermogen).
- Het gemiddelde vermogen dat uit een BWW tot 2.500 m-mv kan worden onttrokken ligt tussen de 100 en 300 kW. De warmtelevering ligt tussen de 0,3 en 0,5 GWh_{th} (voldoende voor het verwarmen van 100 huizen).
- De maximale diepte van de gerealiseerde systemen ligt op ca. 3.000 m-mv.

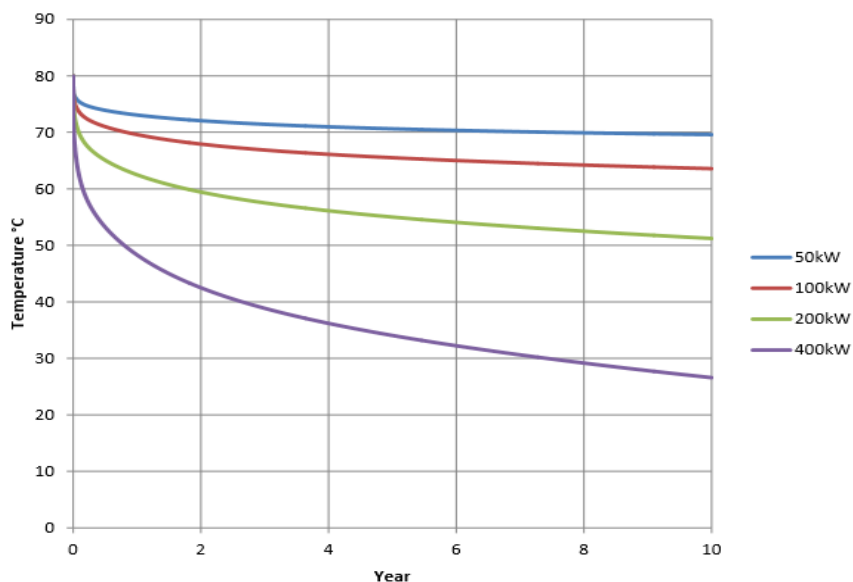
4.2.2 Modelstudies

Naast de concrete metingen aan projecten zijn er de afgelopen jaren ook veel modelstudies uitgevoerd. Het belangrijkste doel van die studies was om te bepalen welke vermogens langdurig aan een BWW onttrokken zouden kunnen worden onder diverse geologische omstandigheden.

Law

Law (2014) gaat in zijn modelleringen uit van het principe dat je met een BWW 1 GWhth warmte moet kunnen leveren om economisch haalbaar te zijn. Zijn berekeningen aan een boorgat van 2,5 km laten zien dat je langjarig 100 kW kunt leveren (zie Figuur 6) zonder dat de temperatuur sterk daalt; wordt er meer vermogen onttrokken dan daalt de temperatuur snel. Om tijdelijk meer vermogen te leveren moet je bleed flow toestaan of met een warmtepomp de temperatuur verder verhogen.

Figuur 6
Temperatuurverandering bij langjarige warmteonttrekking (Law, 2014)



Holmburg

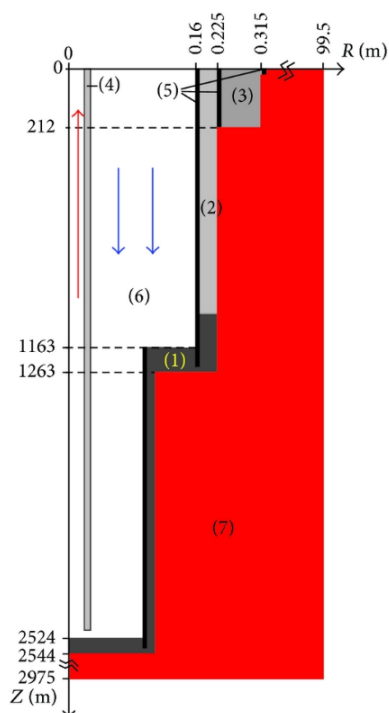
In 2014 heeft Holmburg modelstudies uitgevoerd aan relatief ondiepe BWW's die gedurende acht maanden in een jaar werden gebruikt. Uitgangspunt voor de berekeningen was dat de bodemtemperatuur vrijwel stabiel moest blijven. BWW met een diepte van 1000,

800 en 600 m-mv leverden resp. 60, 40 en 24 kW met een jaarlijkse warmtelevering van 0,175, 0,117 en 0,07 GWh_{th}.

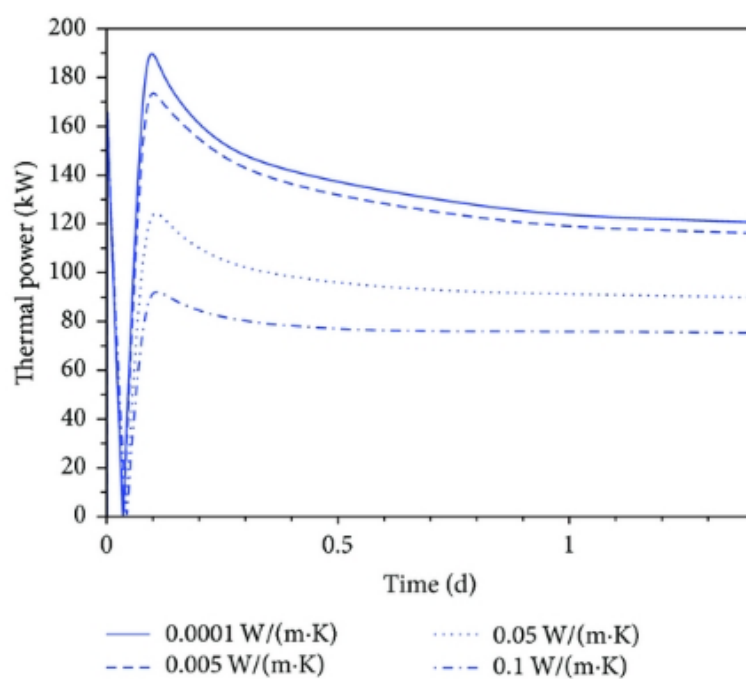
Dijkshoorn

In 2013 heeft Dijkshoorn een modelberekening uitgevoerd aan het diepe bodemwarmtewisselaar project in Aken (zie Figuur 7). Het maximale vermogen dat langjarig kan worden onttrokken ligt tussen de 120 en 150 kW waarbij aanvoertemperaturen tussen de 25 en 55 °C kunnen worden geleverd. De berekeningen tonen verder aan dat het isoleren van de riser zeer belangrijk is. Isolatiewaarden ver onder de 0,1 W/(mK) (Figuur 8) zijn noodzakelijk om te sterke daling in vermogen te voorkomen. De hoge kosten van dergelijk sterk geïsoleerde riser hebben er mede toe geleid dat het project werd stopgezet.

Figuur 7
Putontwerp RWTH-1
Aken. (1) geleidend
cement (2) isolerend
cement.

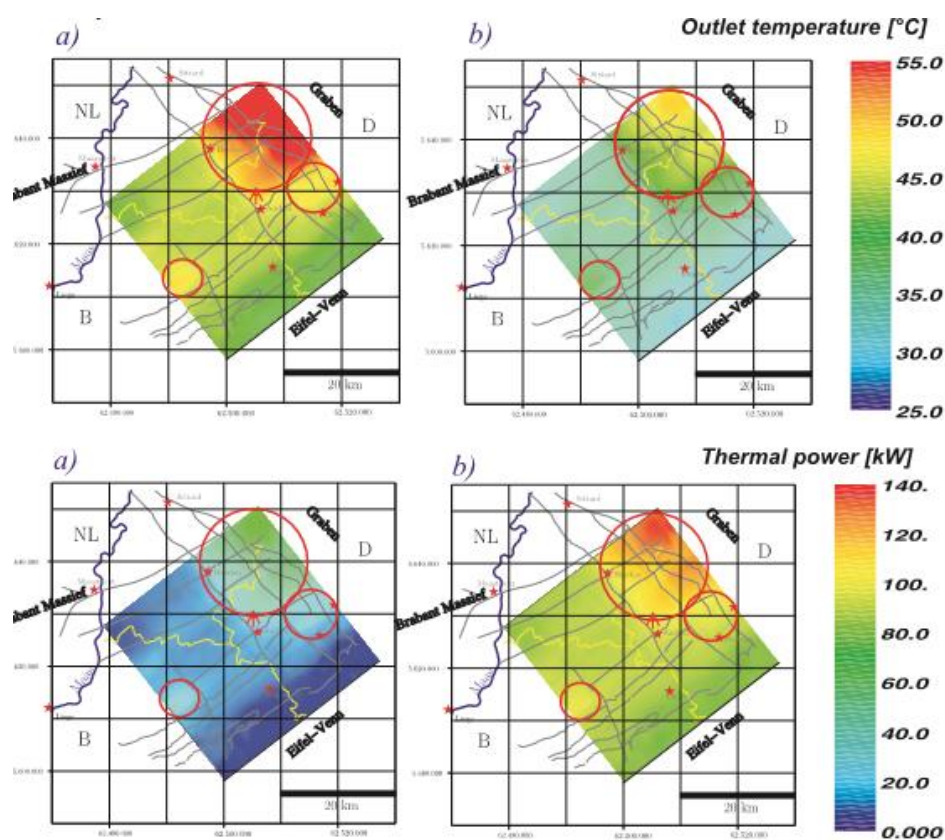


Figuur 8
Invloed van de
isolatie van de riser
op het thermische
vermogen.



In 2012 heeft Dijkshoorn modelstudies uitgevoerd voor de regio Eiffel-Maas om te bepalen wat de meest geschikte locatie is om een BWW te plaatsen. Uitgangspunt was hierbij het plaatsen van een BWW tot 2500 m-mv. Afhankelijk van de geologie en de inlaattemperatuur lagen de maximaal te onttrekken vermogens tussen de 100 – 140 kW (Figuur 9).

Figuur 9
Geothermische
vermogen van 2500
m diepe BWW bij
inlaattemperaturen
van 40 (a) en 10 (b)
°C.



Visser en Lokhorst

In 2015 is door RHDHV (Visser, 2015) onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om oude olie- en gasputten om te bouwen tot BWW-systemen. Afhankelijke van de afwerking van de put (u-tube, riser, air gap tubing) geven ze vermogens tussen de 100 en 500 kW (diepte 4.000 m).

Uit modelberekeningen van TNO blijkt dat er tussen de 500 en 1000 KW kan worden onttrokken uit een omgebouwde put van 4.400 m diepte (Lokhorst 2005).

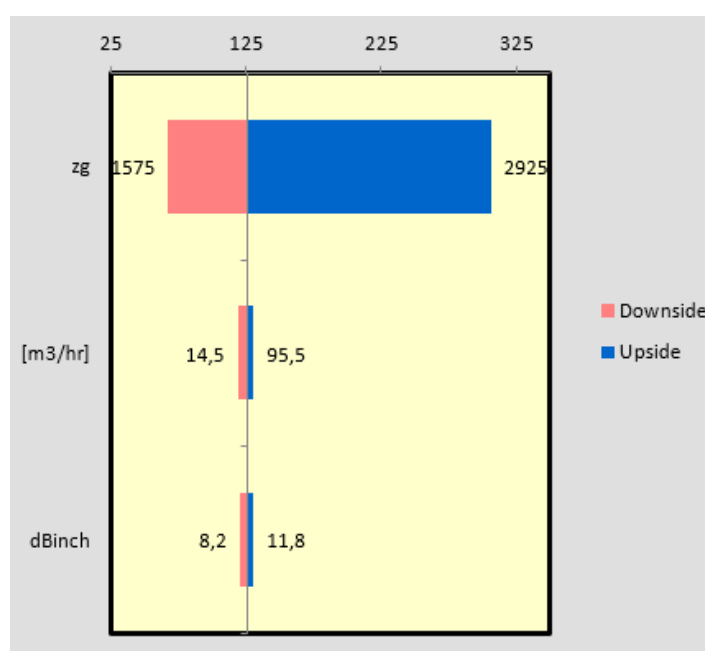
Modelberekeningen IF Technology

Heidinger et al (2006) hebben een vergelijking afgeleid om het temperatuurverloop door een co-axiaal boorgat te berekenen. Op basis van dit temperatuur verloop en een bepaalde volume stroom kan het thermische vermogen berekend worden. Met behulp van deze vergelijking zijn een aantal scenario's doorgerekend waarbij gevarieerd is met de invoerwaarde van bepaalde variabelen. De belangrijkste variabelen en hun variatie zijn:

- Diameter boorgat gevarieerd tussen 6 inch en 12 inch
- Debiet gevarieerd tussen 15 m³/h en 75 m³/h
- Lengte (diepte boorgat) gevarieerd tussen 1.500 en 3.000 m

In Figuur 10 staat een tornado plot van het resultaat van de berekeningen weergegeven. Uit de tornadoplott blijkt dat de lengte van het boorgat (zg) het grootse effect heeft op het geproduceerde vermogen (horizontale-as in kW). Het debiet (m³/h) en de diameter (dBinch) het boorgat hebben bijna geen invloed. In de tornadoplott wordt met een blauwe kleur aangegeven wat een positief effect heeft op het vermogen en met een rode kleur wat een negatief effect heeft. Als base case is een lengte van 2000m, een diameter van 10 inch en een flow van 30 m³/h aangehouden. In de base case wordt een thermisch vermogen van 125 kW geproduceerd. Het feit dat de flow bijna geen invloed heeft ligt aan het feit dat een hoge flow automatisch resulteert in een kleinere dT, waardoor het geproduceerde thermische vermogen nagenoeg gelijk blijft.

Figuur 10
Tornadoplot. Effect
involvervariabelen op
het thermisch
vermogen.



Op basis van de berekeningen kan geconcludeerd worden dat een boorgat met een diepte van 2000 m ongeveer 125 kW produceert.

In Tabel 2 zijn de resultaten van de praktijk gegevens en de modelstudies samengevat. Om ze onderling beter te kunnen vergelijken is de opbrengst per meter boorgat berekend. Hiervoor is het totale vermogen gedeeld door de diepte. Er is geen rekening gehouden met eventueel gedeveerde putten of geïsoleerde delen van de put. Opgemerkt moet worden dat de opbrengst per meter toeneemt naarmate het boorgat dieper wordt (zie o.a. modelberekeningen IF Technology). Uit de tabel blijkt dat een boorgat ongeveer 50 à 60 W/m kan produceren. Aangezien de resultaten van Lokhorst sterk afwijken van de praktijkgegevens, worden de resultaten van Lokhorst minder betrouwbaar geacht. De resultaten van Lokhorst worden daarom buiten beschouwing gelaten.

Tabel 2
Samenvatting
thermische
opbrengst coaxiale
BWW.

Case	Minimaal vermogen [W/m]	Maximaal vermogen [W/m]	Gemiddeld vermogen [W/m]
Praktijkervaringen (AGH)	45	109	65
Law	20	120	40
Holmburg	-	-	40
Dijkshoorn (2013)	-	-	45
Dijkshoorn (2012)	-	-	50
Visser	25	125	75
Lokhorst	115	225	170
IF Technology	40	100	65

De belangrijkste conclusies van de diverse modelstudies zijn:

- De modelstudies zijn beperkt vergelijkbaar omdat ze uitgaan van verschillende geologische omstandigheden, verschillende configuratie en doorgerekend zijn met verschillen modellen. Ondanks deze verschillen zijn de resultaten wel redelijk eenduidig.
- Wanneer er langjarig direct warmte geleverd moet worden ligt het maximale vermogen bij een BWW tot ca. 2.500 m- mv tussen de 100 – 150 kW.
- Isolatie van de riser en van een gedeelte van de casing zijn sterk bepalend voor de werking van de BWW.

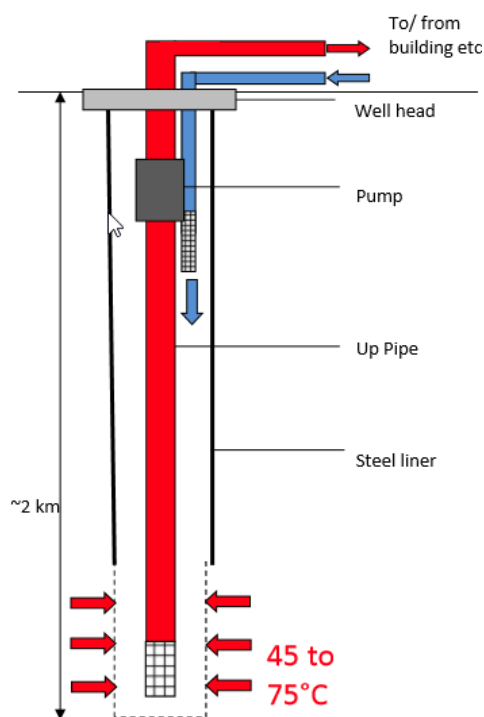
4.3 Standing Column Wells

4.3.1 Praktijkervaringen

Ervaringen met diepe (> 1000 m-mv) SCW zijn erg beperkt en zijn ook slecht gedocumenteerd. Er is een systeem gerealiseerd in Zuid-Korea (Cho, 2016) met een screen tussen de 1000 en 1500 m-mv (0,2 diameter). De einddiepte van de put is 2.383 m-mv. Het systeem levert gedurende de experimenten een vermogen 25 kW bij een debiet van 5 m³/h. Hogere debiet zijn wel gerealiseerd (25 m³/h) maar hiervan is niet duidelijk wat de thermische vermogens zijn.

Een ander pilotproject is gerealiseerd in 2014 in Cornwall (Law, 2016). Dit systeem van 2.600 m diepte levert 363 kW bij een aanvoertemperatuur van 69 °C, een retourtemperatuur van 40 °C en een flow van 3 l/s (11 m³/h), zie Figuur 11. Onduidelijk is of dit ook de hoeveelheid energie is die langjarig aan de bodem kan worden onttrokken of dat

Figuur 11
Layout SCW
Cornwell.



4.3.2 Modelstudies

Law

In zijn modelstudie heeft Law (2014) ook berekeningen gedaan aan SCW. Hierbij worden zowel U-tube BWW, Co-axial BWW en SCW doorgerekend op hun maximaal piekvermogen bij een systeem tot 2.500 m-mv. In vergelijking met BWW leveren SCW (zonder bleed flow) ongeveer twee keer zoveel vermogen (173 kW versus 393 kW).

Nguyen

Nguyen (2012) heeft gerekend aan SCW met dieptes tot 330 m waarbij maximaal 200 kW werd onttrokken. Ook hierbij werd gerekend met een bleeding factor tussen de 0 en 30 %.

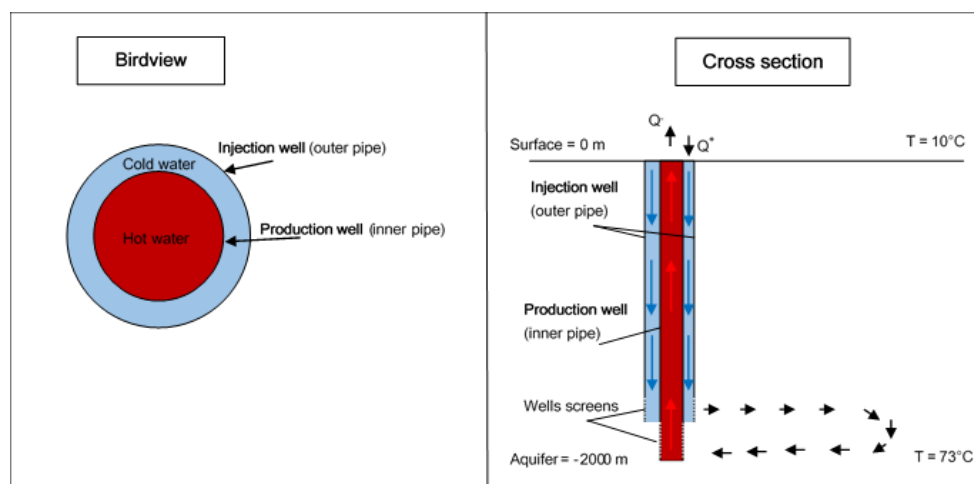
TNO

TNO heeft gerekend aan een SCW met een casing tot 1.000 m-mv met daaronder een open boorgat tot 3.000 m-mv (TNO, 2017). Met een flow van $36 \text{ m}^3/\text{h}$ en een injectietemperatuur van 30°C werden, afhankelijk van de permeabiliteit van het gravelpack en het reservoir, onttrekkingstemperaturen tussen de 40 en 60°C berekend. TNO verwacht dat voor de onderzochte locaties de onttrekkingstemperaturen net boven de 40°C zullen liggen resulterend in een thermische vermogen van ca. 400 kW

IF Technology

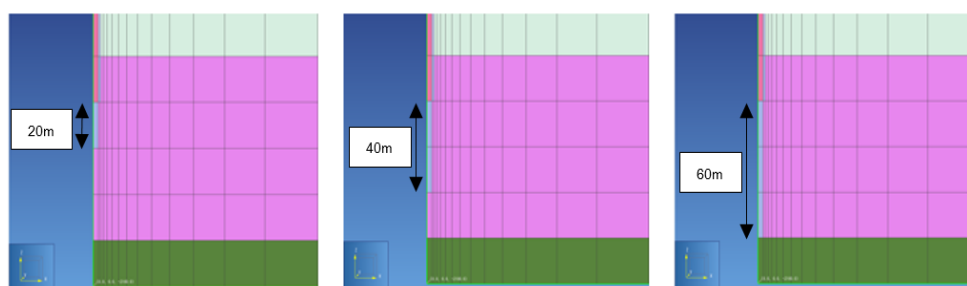
IF Technology heeft voor deze studie een modellering uitgevoerd om te bepalen hoeveel thermisch vermogen met een SCW geproduceerd kan worden, en welk effect de lengte van het filter heeft op het geproduceerde vermogen. In Figuur 12 staat een schematische weergave van het putconcept dat IF Technology heeft doorgerekend.

Figuur 12
Schematische
weergave SCW IF
Technology.



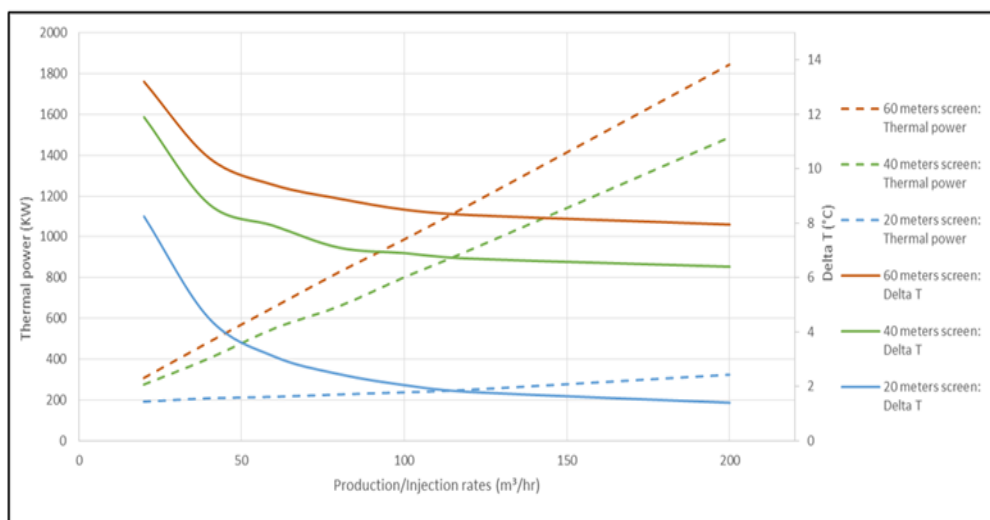
Er is gerekend met drie verschillende filterlengtes: 20 m, 40 m en 60 m. Dit staat schematisch weergegeven in Figuur 13. Naast de filterlengte is er ook gevarieerd met het debiet: $20 \text{ m}^3/\text{h}$, $40 \text{ m}^3/\text{h}$, $60 \text{ m}^3/\text{h}$, $80 \text{ m}^3/\text{h}$, $100 \text{ m}^3/\text{h}$, $120 \text{ m}^3/\text{h}$, $200 \text{ m}^3/\text{h}$.

Figuur 13
Verschillende lengtes
van het filter.



De resultaten (stationaire situatie) van de berekeningen staan in Figuur 14. Uit het figuur blijkt dat er bij een kort filter (20 m) bijna geen vermogen geproduceerd wordt. Pas bij een filterlengte groter dan 40 m wordt het mogelijk interessant.

Figuur 14
Berekenings-
resultaten SCW IF
Technology.



Verder valt op uit het figuur dat de dT zeer beperkt is bij de doorgerekende flows. Bij 20 m³/h bedraagt de dT ongeveer 14°C. Bij 10 m³/h bedraagt de dT ongeveer 18°C (geëxtrapoleerd). Bij de uitgevoerde berekeningen (en uitgangspunten) bedraagt het maximale vermogen circa 300 kW.

In tegenstelling tot de BWW zijn de ervaringen en de modelstudies met diepe SCW veel beperkter. Op basis van de gegevens kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

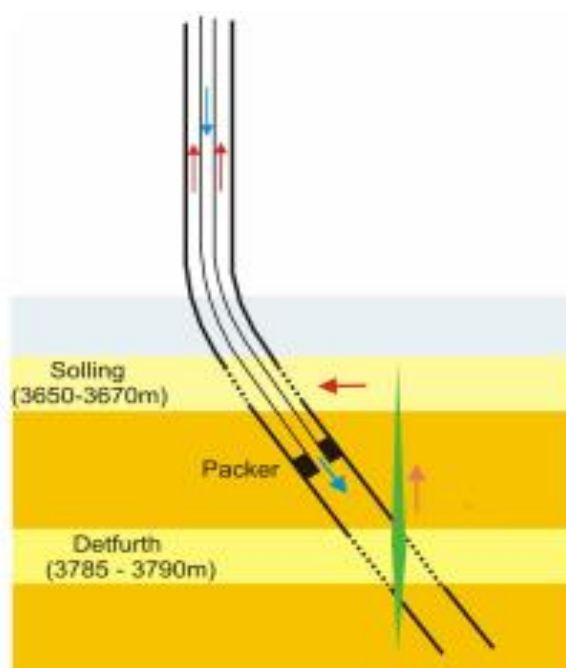
- De ervaringen en modelstudies zijn slecht gedocumenteerd waardoor relaties tussen diepte, vermogen, en warmtelevering niet eenduidig zijn.
- In de meeste studies wordt ervanuit gedaan dat er tijdens piekbedrijf een hoeveelheid grondwater wordt afgevoerd.
- Het vermogen van een SCW ligt tussen de 300 en 400 kW. Hiermee leveren ze globaal een factor twee meer vermogen dan een BWW in een vergelijkbare omstandigheden. In een aantal cases is dat extra vermogen mogelijk te verklaren doordat er tijdelijk grondwater wordt afgevoerd (bleeden); verder is het vermogen afhankelijk van het doorlaatvermogen van het gebruikte reservoir.

4.4 Monobronnen

4.4.1 Praktijkervaringen

In Horstberg (DE) is een zogenaamde single well circulation system gemaakt (Tischer, 2010) op een diepte van ca. 4000 m-mv. Hierbij wordt door middel van fracking een kunstmatige breuk gerealiseerd tussen twee reservoirs (zie Figuur 15). Met dit systeem werd een vermogen van 1400 kW (flow 0, 2 m³/h, temperatuur 150 °C) geleverd.

*Figuur 15
Single well
circulation. De
groene lijn is een
kunstmatige breuk.*



4.4.2 Modelberekeningen

IF Technology

Voor deze studie heeft IF een aantal berekeningen uitgevoerd om te bepalen welk thermisch vermogen door middel van een monobron geproduceerd kan worden. Er is een model opgezet met een reservoir van 100 m dik op een diepte van 2000 m. Het reservoir heeft aan de top een temperatuur van 70°C. In het reservoir worden twee filters gesteld van ieder 20 m met 60 m ertussen.

Scenario 1: horizontale permeabiliteit 100 mD verticale anisotropie 5

Scenario 2: horizontale permeabiliteit 200 mD, verticale anisotropie 4

Scenario 2: horizontale permeabiliteit 200 mD, verticale anisotropie 10

Uit de berekeningen blijkt dat er tussen 1,3 en 1,5 MW geproduceerd kan worden (zie Tabel 3). Verder blijkt uit de resultaten blijkt dat indien de verticale stromingsweerstand in het reservoir toeneemt, ook het thermische vermogen toeneemt. Op basis hiervan kan

geconcludeerd worden dat het voor een monobron systeem gunstig is indien er kleilaagjes in het reservoir aanwezig zijn.

Tabel 3
Berekenings-
resultaten monobron
scenario's.

Scenario	Vollasturen [h]	Debiet [m3/d]	Temperatuur [°C]	dT [°C]	Vermogen [kW]
1	2.000	1.080	72 > 64, 30 > 37	~27	1300
2	2.000	1.080	72 > 64, 30 > 37	~27	1300
3	2.000	1.080	72 > 68, 30 > 38	~30	1500

5

Kansen voor de Nederlandse situatie

5.1 Juridisch kader

5.1.1 Mijnbouwwet

De Mijnbouwwet beoogt één overzichtelijk en helder kader te bieden voor een verantwoorde en doelmatige mijnbouw, zowel voor de mijnbouw die plaatsvindt binnen het Nederlands grondgebied inclusief de territoriale zee, als voor de mijnbouw die plaatsvindt op het continentaal plat.

Mijnbouwspecifieke zaken worden op basis van deze Wet geregeld, terwijl andere (algemene) zaken zo veel mogelijk worden overgelaten aan bestaande generieke wetgeving. De Mijnbouwwet is van toepassing op de winning en opsporing van delfstoffen en aardwarmte en het opslaan van stoffen beneden de oppervlakte van de aardbodem. Aardwarmte is gedefinieerd als “in de ondergrond aanwezige warmte die aldaar langs natuurlijke weg is ontstaan”.

De Wet is, met bepaalde uitzonderingen, slechts van toepassing voor zover delfstoffen op een diepte van meer dan 100 meter beneden de oppervlakte van de aardbodem aanwezig zijn. De Wet is met betrekking tot aardwarmte slechts van toepassing voor zover deze op een diepte van meer dan 500 meter beneden de oppervlakte van de aardbodem aanwezig is.

De Mijnbouwwet geeft regels ten aanzien van de zorg voor de goede uitvoering van activiteiten die onder de Wet vallen. De (laatste) houder van de vergunning dient alle maatregelen te nemen die redelijkerwijs gevegd kunnen worden om te voorkomen dat als gevolg van de met gebruikmaking van de vergunning verrichte activiteiten:

- Nadelige gevolgen voor het milieu worden veroorzaakt;
- Schade door bodembeweging wordt veroorzaakt;
- De veiligheid wordt geschaad;
- Het belang van een planmatig beheer van voorkomens van delfstoffen of aardwarmte wordt geschaad.

De Mijnbouwwet stelt de volgende kaders aan de in dit genoemde systemen:

Bodemwarmtewisselaar

Bij een realisatie dieper dan 500 m moet voldaan worden aan de eisen zoals gesteld in de Mijnbouwwet. In het geval van een BWW is dit met name het voorkomen van nadelige gevolgen voor het milieu als gevolg van een lekkage van of langs de wisselaar.

Standing column well

Het onttrekken en terugvoeren van grondwater (ten behoeve van het winnen van aardwarmte) is toegestaan wanneer het “wordt teruggevoerd in hetzelfde of een vergelijkbaar voorkomen als waaruit deze afkomstig is”. Deze uitzondering op de opslagvergunning (die normaal vereiste is voor het in de ondergrond brengen van stoffen) is opgenomen in artikel 28, onderdeel c van het Mijnbouwbesluit.

Volgens de Mijnbouwwet is het intrekken van water op verschillende dieptes geen bezwaar, als dit in de vergunningsaanvraag aangegeven is. Dit betekent dat de Mijnbouwwet het zogenaamde bleeden niet specifiek verbiedt.

Monobron

Voor het Monobron concept gelden dezelfde regels als voor de Standing Column well. Bij de realisatie van alle concepten dient rekening gehouden te worden met boringsvrije zones, restrictiegebieden en andere mijnbouwvergunningen.

5.1.2 Waterwet

De Waterwet en daaraan gekoppelde provinciale verordeningen geven de volgende kaders aan de systemen:

- Het gebruik van koelwater wordt door veel provincies als laagwaardig gebruik beschouwd¹ en wordt niet vergund in het kader van de Waterwet. Voor het onttrekken van zout water gelden minder strikte eisen. De Provincies zijn bevoegd gezag tot 500 m-mv;
- Het water dat vrijkomt bij het ‘bleeden’ bestaat uit formatiewater. Formatiewater is erg zout water en bevat mogelijk ook andere stoffen uit de diepe ondergrond waaronder licht radioactieve stoffen (LSA), lage concentraties zware metalen en koolwaterstoffen.

¹ Inzet van grondwater wordt als laagwaardig beschouwd als er alternatieven bestaan voor het gebruik van grondwater, zoals inzet van regenwater, oppervlaktewater of partieel gezuiverd afvalwater, voor toepassingen zoals enkelvoudige doorstroomkoeling, vullen van vijvers en spoelen van afvalcontainers.

Om dit water te mogen lozen, moet je toestemming krijgen van het bevoegde gezag van het water waarop je wil lozen (oppervlaktewater (RWS, Waterschap), riool (Gemeente), op/in de bodem (Provincie)). Gezien de kwaliteit van het formatiewater worden hier dezelfde problemen voorzien als met het lozen van testwater (Bakema, 2016). Daar komt bij dat de hoeveelheid formatiewater dat moet worden geloosd veel groter is dan die vrijkomt bij het testen van putten. Het testen is een eenmalige actie, het bleeden moet regelmatig worden uitgevoerd. De kans dat dit kan worden vergund, is hiermee erg klein.

5.2 Technische mogelijkheden

BWW kunnen technisch gezien overal gemaakt worden. Wel is de geologie sterk bepalend voor het vermogen dat geproduceerd kan worden. Ook zijn er bepaalde gebieden waar het juridische gezien niet is toegestaan. Een goed voorbeeld hiervan is de boringsvrijzone rondom een drinkwaterwinning. Naast gebieden waar het niet mag zijn er ook gebieden die extra aandacht behoeven. Dit zijn de gebieden waar bijvoorbeeld al een opsporingsvergunning aardwarme is aangevraagd. In bijlage 2 is een kaart weergegeven waarop de aandachtsgebieden en verbodsbieden staan.

Uit de inventarisatie is gebleken dat met een SCW slechts een beperkt thermisch vermogen geproduceerd kan worden. Dit vermogen is waarschijnlijk te beperkt voor een economische rendabel project (zie hoofdstuk 6).

In bijlage 1 (momentopname!) is een kaart gepresenteerd die aangeeft waar in Nederland er mogelijkheden zijn voor de aanleg van een monobron systeem. De kaart combineert de mogelijkheden van verschillende formaties:

Slochteren: aangegeven met een bruine kleur

Trias: aangegeven met een paarse kleur

Schieland: aangegeven met een groene kleur

Rijnland: aangegeven met een blauwe kleur

Uitgangspunten bij het opstellen van de kaart zijn: 1) minimale dikte van 100 m 2) een temperatuur hoger dan 60°C. Verder is bij het opstellen van de kaarten nog geen rekening gehouden met een maximale diepte van 2.500 m.

6

Economische analyse

6.1 Inleiding

De economische analyse is op twee verschillende manieren uitgewerkt:

- Vergelijking met andere bodemopslagsystemen;
- Berekening van de kostprijs van een eenheid warmte.

6.2 Referentie systeem

De single hole concepten leveren in principe warmte met een temperatuurniveau ($>60^{\circ}\text{C}$) dat direct benut kan worden. Warmte van deze temperatuur kan ook gemaakt worden met behulp van bv een gasketel, luchtwarmtepomp of een grondgekoppelde warmtepomp.

In deze studie is ervoor gekozen een vergelijking te maken met een systeem van grondgekoppelde warmtepompen. Hierbij worden er ondiep (tot ca 150 m-mv) bodemlussen in de grond geplaatst. Deze bodemlussen leveren laagwaardige warmte ($0 - 10^{\circ}\text{C}$) die met behulp van een elektrische warmtepomp worden opgewaardeerd naar warmte die geschikt is voor ruimteverwarming en tapwater. Gezien de te leveren vermogens van 150 tot 1000 kW en de temperatuurniveaus zijn de single hole concepten met name geschikt voor utiliteit en woningbouw en kleine glastuinbouwprojecten.

De grondgekoppelde systemen zijn ontworpen met behulp van EED (Earth Energie Designer). Hierbij is uitgegaan van drie verschillende vermogens: 150 kW (ca. 50 woningen), 300 kW (ca. 100 woningen) en 1.000 kW (ca 300 woningen) en een warmtevraag van maximaal 2000 uren. In praktijk zijn systemen die meer dan 1.000 kW zeer zeldzaam.

In Figuur 16 zijn voor de diverse vermogens voor de woningbouw aangegeven wat de investeringskosten en energiekosten zijn. In de raming is alleen de warmteopwekking meegenomen. De distributie van de warmte is voor alle systemen hetzelfde².

². In deze vergelijking wordt uitgegaan van collectieve systemen. Bij individuele bodemwarmtewisselaar systeem krijgt elk huis zijn eigen systeem en kan het distributiesysteem vervallen.

Figuur 16
Referentiesystemen
grondgekoppelde
warmtepompen
woningbouw.

Warmtepompen (50°C)				
verwarmingsvermogen	kW	150	300	1.000
equivalente vollasturen	uur	2.000	2.000	2.000
warmtelevering	MWh	300	600	2.000
COP = SPF	kWh/kWhe	4,0	4,0	4,0
kostenkental warmtepompen	€/kW	250	225	200

Gesloten systeem (0 - 10°C)				
verdampervermogen	kW	113	225	750
warmteonttrekking aan bodem	MWh	225	450	1.500
aantal bodemlussen	#	56	132	576
diepte bodemlussen	m-mv	150	150	150
onderlinge afstand bodemlussen	m	7,5	7,5	7,5
SPF gesloten systeem	kWh/kWhe	75	75	75
kostenkental gesloten systeem	€/m	25	25	25

Ruimtebeslag aan maaiveld				
Benodigd maaiveldoppervlak	m²	3.150	7.425	32.400

Investeringskosten				
warmtepompen	€	37.500	67.500	200.000
gesloten systemen	€	210.000	495.000	2.160.000
totale investeringskosten	€	247.500	562.500	2.360.000

Elektriciteitsverbruik				
elektraverbruik warmtepompen	MWhe	75	150	500
elektraverbruik gesloten systeem	MWhe	3	6	20
totaal elektraverbruik	MWhe	78	156	520

Kentallen a.d.h.v. berekeningen				
investeringskosten per kW	€/kW	1.650	1.875	2.360
netto energieonttrekking / m boorgat	kWh/m	27	23	17
netto energieonttrekking / m² maaiveld	kWh/m²	71	61	46
overall SPF	kWh/kWhe	3,8	3,8	3,8

Op basis van de gegevens gepresenteerd in Figuur 16 kan een kostprijs per eenheid warmte berekend worden. Voor de verschillende varianten is dit respectievelijk 0,16 €/kWh, 0,18 €/kWh en 0,21 €/kWh.

6.3 Single hole

De volgende uitgangspunten zijn gebruikt voor de financiële analyse (zie Tabel 4) :

- In alle concepten wordt uitgegaan van een systeem tot een diepte van 2,5 km
- Elektriciteitsprijs woning/utiliteit 180 €/MWh (0,18 €/kWh)
- Elektriciteitsprijs glastuinbouw 60 €/MWh (0,06 €/kWh)
- De jaarlijkse verbruikskosten zijn berekend op basis van de volgende COP's:
 - BWW: 100
 - SCW: 50
 - Monobron: 20
- De energieprijs is berekend door de investering af te schrijven over een termijn van 15 jaar (rente 10 %) .
- Onderhoud en beheer:
 - BWW: 1 %
 - SCW: 2 %
 - Monobron: 3%
- Vollasturen.
 - Voor de woningbouw is uitgegaan van een kleinschalig warmtenet met een maximaal 2000 vollasturen waarbij het single hole systeem de volledige warmtevraag voor zijn rekening neemt. Dit in tegenstelling tot grootschalige warmtenetten waar geothermie vaak in de basis wordt gebruikt en daardoor veel meer vollasturen (4.000 tot 5.500) kan leveren.
 - Voor de glastuinbouw is uitgegaan van 4.000 vollasturen.
- SDE.
 - Er is geen rekening gehouden met SDE-subsidie.

Tabel 4
Indicatieve
kostprijsberekening
warmte.

Concept	Referentiesituatie	Vermogen [kW]	Warmte- Levering [MWh]	Investeringen [M€]	Kostprijs [€/kWh]
Bestaande olie/gas put (BWW)	Woningbouw/Utiliteit	150	300	1	0,4
BWW	Woningbouw/Utiliteit	150	300	3	1,4
SCW	Woningbouw/Utiliteit	300	600	4	1,0
Monobron	Woningbouw/Utiliteit	1.000	2.000	5	0,4
Monobron	Glastuinbouw	1.000	2.000	5	0,4
Monobron	Glastuinbouw	1.000	4.000	5,5	0.2

In vergelijking met systemen met ondiepe (tot max 150 m-mv) bodemwarmtewisselaars (met warmtepompen) leveren de diepe bodemwarmtewisselaars en Standing Column Wells warmte die een factor 2 tot 4 duurder is. Dit grote prijsverschil en het feit dat er veel ervaring is met ondiepe bodemwarmtewisselaars, maakt dat de markt voor diepe bodemwarmtewisselaars en Standing Column wells in Nederland beperkt is. Wellicht zijn oude olie- en gasputten economisch interessanter; de afstand tussen de put en de warmtevraag is hierin sterk bepalend.

Monobronnen kunnen tussen de 1,0 en 1,5 MW aan thermisch vermogen leveren voor een kostprijs van 0,2 tot 0,4 €/kWh (afhankelijk van het aantal draaiuren). Hiermee zijn ze vergelijkbaar met ondiepe bodemwarmtewisselaars. Wel is de warmte twee keer zo duur als hetgeen met een geothermisch doublet kan worden geproduceerd. Een doublet heeft echter een warmte-afzet nodig van tussen de 5 en 10 MW en gaat veelal uit van veel vollasturen (> 4.000 uur). Is deze warmtevraag momentaan aanwezig dan is dus een doublet te prefereren boven meerdere monobronnen. Indien de warmtevraag gefaseerd beschikbaar komt (bv aanleg woonwijk) of indien de warmtevraag nooit boven de 1,5 tot 2 MW komt, dan is een monobron een goede mogelijkheid. De belangrijkste toepassingsgebieden zijn woningbouw (300 – 500 woningen) en kleinschalige glastuinbouw.

7

Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

De belangrijkste conclusies uit dit onderzoek zijn:

- Er is wereldwijd en ook in Nederland beperkte ervaring met diepe single hole systemen. De belangrijkste ervaringen zijn er met diepe BWW's veelal in onderzoeksprojecten. Er zijn geen systemen die op dit moment warmte leveren aan commerciële projecten.
- Model- en praktijkstudies geven aan dat er met de diverse systemen de onderstaande thermische vermogens kunnen worden geleverd. Hierbij is uitgegaan van directe warmtelevering (60 – 70 °C) zonder gebruik te maken van een warmtepomp
 - Bodemwarmtewisselaars: 100 - 300 kW;
 - Standing Column Wells: 300 - 400 kW;
 - Monobronnen: 1000 – 1500 kW.
- In vergelijking met systemen met ondiepe (tot max 150 m-mv) bodemwarmtewisselaars (met warmtepompen) leveren de diepe bodemwarmtewisselaars en Standing Column Wells warmte die een factor 2 tot 4 duurder is. Dit grote prijsverschil en het feit dat er veel ervaring is met ondiepe bodemwarmtewisselaars, maakt dat de markt voor diepe bodemwarmtewisselaars en Standing Column wells in Nederland beperkt is. Wellicht zijn oude olie- en gasputten economisch interessanter; de afstand tussen de put en de warmtevraag is hierin bepalend.
- Monobronnen kunnen tussen de 1,0 en 1,5 MW aan thermisch vermogen leveren voor een kostprijs van 0,2 tot 0,4 €/kWh (afhankelijk van het aantal draaiuren) en is daarmee twee keer zo duur als de warmte die geleverd wordt door een doublet systeem. Een deel van het prijsverschil wordt veroorzaakt doordat doublet systemen veelal als basislast voorziening worden ontworpen en daardoor veel meer vollasturen hebben. Het aantal vollasturen van een monobron is minder eenvoudig te vergroten vanwege het gevaar voor thermische kortsluiting.
- Monobronnen bieden de mogelijkheid om veel meer gefaseerd aan te kunnen leggen en daardoor mee te groeien met de warmtevraag. Dit kan met name in de woningbouw interessant zijn omdat in de huidige praktijk van doubletsystemen het organiseren van een warmtevraag van 3000 - 4000 woningen complex is.
- Om thermische kortsluiting te voorkomen vereist het realiseren van monobron een minimaal een reservoirdikte van minimaal 100 m. De belangrijkste formaties waar een dergelijk dikte kunnen worden gevonden zijn Slochteren, Trias, Schieland en

Rijnland. De belangrijkste mogelijkheden liggen hiervoor in het Noorden, Noordwesten en delen van Brabant.

- De belangrijkste toepassingsgebieden voor monobron systemen liggen bij woonwijken (300 - 500 woningen) en bij de kleinschalige glastuinbouw. De glastuinbouw is economisch meer interessant omdat er veel meer uren warmte kan worden geleverd.

7.2 Aanbevelingen

Het onderzoek is een eerste screening geweest van de mogelijkheden van diepe single hole concepten. Het onderzoek toont aan dat de belangrijkste economische potentie ligt bij de monobron systemen; de aanbevelingen richten zich met name hierop:

- Het technisch en economisch uitwerken van het monobron concept voor reële projecten in zowel de kleinschalige woningbouw als voor de kleinschalige glastuinbouw. Belangrijkste aandachtspunten zijn de technische uitvoerbaarheid, de systeemintegratie (mogelijk gebruik van hoge temperatuur warmtepompen) en de economische haalbaarheid.
- Het onderzoek van concepten waarbij mono well systemen worden gebruikt in de transitie van grootschalige stadswarmtesystemen naar meer duurzame warmte. In de transitie kunnen monobron systemen gebruikt om in de directe omgeving van de gebruikers (met het laagste temperatuurniveau) steeds units van 1 tot 1,5 MW aan het net toe te voegen.
- Het verder bepalen van de thermische mogelijkheden in diverse geologische formaties. Hierbij zal met name moeten worden bepaald hoe gevoelig monobron systemen zijn voor variaties in dikte en permeabiliteit (en anisotropie). Hierbij zou ook gekeken moeten worden naar de mogelijkheid om het piekvermogen tijdelijk te verhogen tot boven de 1,5 MW.
- Horizontale putten kunnen het aantal formaties dat gebruikt kan worden vergroten. Nader onderzoek moet bepalen of dit economisch interessant is.
- Om de toepassingsmogelijkheden te verruimen zou er ook moeten gekeken naar het gebruik van ondiepe reservoirs (500 – 1.500 m-mv); deze leveren minder hoge temperaturen maar die zouden met warmtepompen tot het gewenste niveau kunnen worden opgekrikt.

8

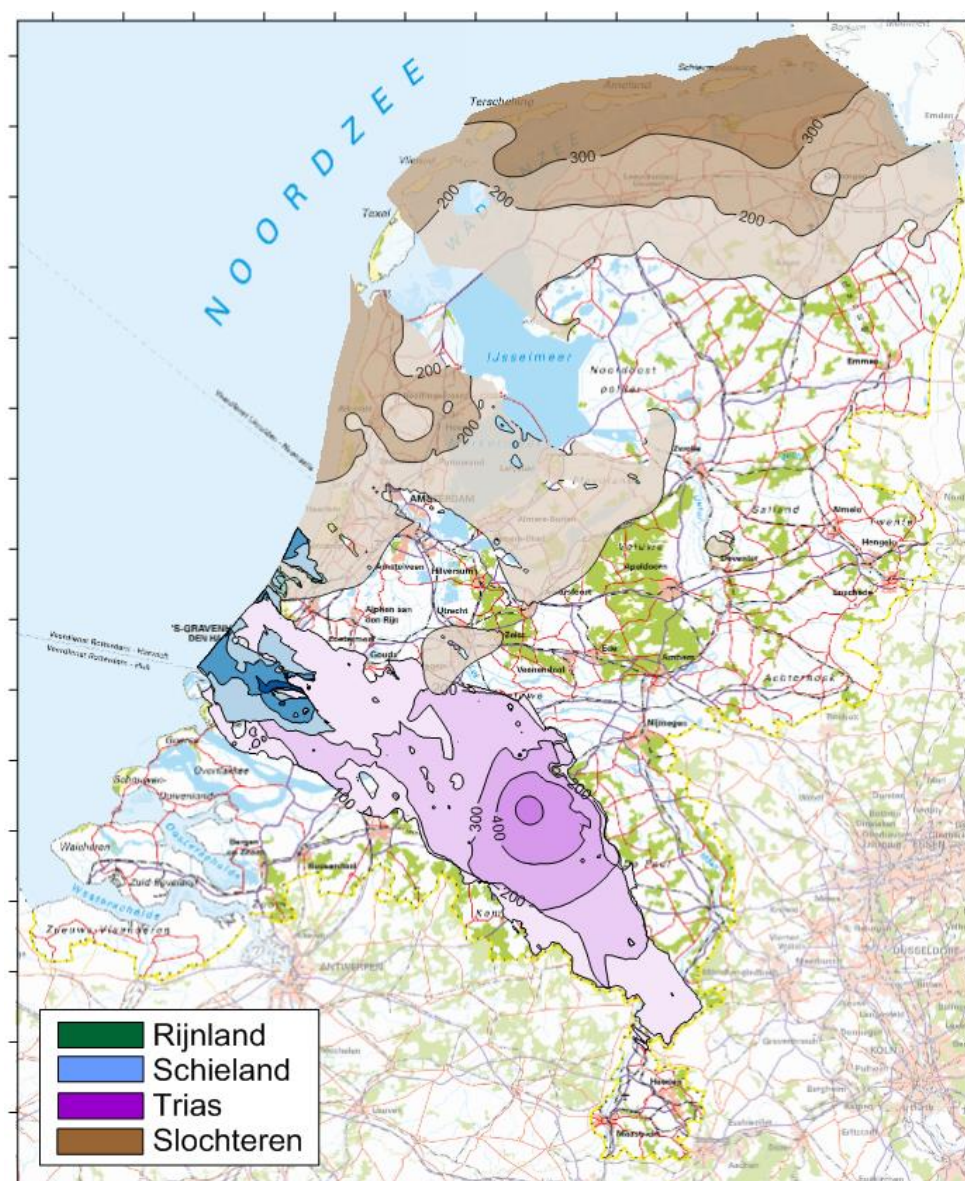
Literatuur

1. **Bakema, G., and F. Schoof 2016** , Geothermal energy use, country update for The Netherlands. European Geothermal Congress 2016, Strasbourg, France.
2. **Bakema G and others, 2016**. Lozing testwater geothermie, afwegingskader. Kennisagenda Aardwarmte. IF Technology 2016
3. **Cho J and others, 2016**. Performance and feasibility study of a standing column well system using a deep geothermal well. Energies 2016 (9)
4. **Dijkshoorn, L., 2012**. Analytical and finite difference formulation for a deep coaxial geothermal heat exchanger for sensitivity and performance analyses . Applied Mathematics September 18, 2012
5. **Dijkshoorn L, and others, 2013**. Measurements and design calculations for a deep coaxial borehole heat exchanger in Aachen, Germany. International Journal of Geophysic. Volume 2013.
6. **Heidinger, P and others, 2006**. HDR economical modelling. University Karlsruhe.
7. **Holberg, H and others, 2015**. Deep borehole heat exchangers, applications for Ground Source heat pump systems. Proceedings world Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia
8. **Kohl, T., 2010**. Data analysis of the deep borehole heat exchanger plant Weissbad (Switzerland). Proceedings world geothermal congress, Japan
9. **Landelijk Grondwaterregister, 2017**,
10. **Law, R, and others, 2014**. Heat extraction from deep single wells. Proceedings 39th workshop on geothermal reservoir engineering. Stanford University California, 2014.
11. **Law R, 2016 and others**, Development and Deployment of Deep Geothermal Single Wells in the UK. Proceedings European Geothermal Congress, Strasbourg 2016.
12. **Lokhorst, A and J.D van Wees, 2005**. Technical and economical feasibility of a deep borehole heat exchanger (DBHE) in LTG-01. TNO, NITG 05-068-B0510.
13. **Orio, 2017**. Modelinge communicatie
14. **Orio, and others, 2005**. A survey of standing column well installations in North America. ASHRAE, transactions Volume 111, part 2.
15. **Sapinska-Sliwa, A, and others, 2015**. Deep Borehole Heat exchangers – a conceptual review. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia

-
16. **Tischner, T and others, 2010.** New concepts for extracting geothermal energy from one well; The GeneSys-project. Proceedings World Geothermal Congress, 2010 Bali Indonesia,
 17. **TNO, 2017.** Technology cluster: one hole geothermal systems, 06026820. Delft.

Bijlage 1

Potentie Mono well



Bijlage 2

BWW

