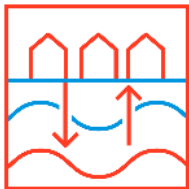


WINDOW *fase 1*



Verkenning HTO

Tilburg

door

Uitvoeringsteam WINDOW (IF Technology, TNO, Deltares, KWR)

21 december 2020

Verkenning HTO Tilburg



Dit rapport is gezamenlijk opgesteld door het uitvoeringsteam van WINDOW.

	IF Technology	TNO	Deltares	KWR
Bijdragen	Hoofdstuk 1 en 3 - 7 Projectleiding	Hoofdstuk 2 en 5 - 7	Hoofdstuk 3, 4, 6 en 7	Hoofdstuk 1 en 3 - 7 Coördinatie WINDOW
Coördinatie	Rob Kleinlugtenbelt	Frank van Bergen	Ivo Pothof	Marette Zwamborn
Auteurs	Hette de Vlieger Peter Oerlemans	Dorien Dinkelman Willem Jan Zaadnoordijk Mariëlle Koenen	Sofie Kooreman Johan Valstar	Stijn Beernink Gilian Schout
Kwaliteitsborging	Benno Drijver	Armin Menkovic Frank van Bergen	Ivo Pothof	Martin Bloemendal Niels Hartog

21 december 2020

Dit project is mede gefinancierd door TKI-Energie en TKI-Watertechnologie uit de Toeslag voor TopConsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat. WINDOW is een acroniem voor Warmtevoorziening In Nederland Duurzamer met Ondergrondse Warmteopslag. Doel van het WINDOW-programma is het wegnemen van technische, juridische en bedrijfseconomische belemmeringen en beter inzicht krijgen in de effecten voor het verantwoord toepassen van ondergrondse warmteopslag, zodat ondergrondse warmteopslag na 2025 als bewezen techniek kan worden toegepast en kan bijdragen aan kostenreductie van collectieve warmtesystemen op systeemniveau.

Projectnummer 402656 Rapportnummer KWR 2020.144

Keywords
Ondergrondse warmteopslag, HTO

Jaar van publicatie
2020

Meer informatie
Marette Zwamborn
E marette.zwamborn@kwrwater.nl

Rob Kleinlugtenbelt
E R.Kleinlugtenbelt@iftechnology.nl

December 2020 ©

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens bestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Management samenvatting



<p>WINDOW fase 1 Verkenning ondergrondse warmteopslag Tilburg</p>	Beoordeling (zie toelichting)									
<p>Over deze verkenning (hoofdstuk 1) In het onderzoeksprogramma WINDOW zijn op zes locaties verkenningen uitgevoerd naar de haalbaarheid van ondergrondse warmteopslag (Hoge Temperatuur Opslag - HTO). De locatie Tilburg is één van de locaties waar een verkenning is uitgevoerd. Met deze verkenning is de potentie van seizoensopslag in het warmtenet van Ennatuurlijk onderzocht. Daarnaast dient deze verkenning ook als vergelijking met de andere verkenningen binnen WINDOW vanuit de gedachte 'learning-by-doing'. Voor deze verkenning is met name de juridische haalbaarheid van belang. Al bij aanvang van deze verkenning was de juridische haalbaarheid als een belangrijk aandachtspunt geïdentificeerd, en als 'mogelijke showstopper' beoordeeld. Gezien de verwachte meerwaarde van warmteopslag voor het Amernet, is de verkenning wel binnen het WINDOW programma opgenomen. Tijdens uitwerking bleek HTO in Tilburg niet verenigbaar met het grondwaterbeschermingsbeleid van de Provincie Noord Brabant. In overleg met Ennatuurlijk is besloten om de verkenning op de locatie Tilburg niet verder uit te werken. In deze verkenning is de technische en juridische haalbaarheid uitgewerkt, maar ontbreekt de uitwerking van bijvoorbeeld de businesscase en CO₂ reductie.</p>										
<p>Geohydrologie (hoofdstuk 2)</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Geschikte bodemlaag:</td> <td style="width: 33%;">Formatie van Maassluis z3,4</td> <td style="width: 33%;">Oosterhout z2</td> </tr> <tr> <td>Diepte opslag:</td> <td>120-135 m-mv</td> <td>155-210 m-mv</td> </tr> <tr> <td>Bodemtemperatuur opslagdiepte:</td> <td>12,8°C</td> <td>14,2°C</td> </tr> </table>	Geschikte bodemlaag:	Formatie van Maassluis z3,4	Oosterhout z2	Diepte opslag:	120-135 m-mv	155-210 m-mv	Bodemtemperatuur opslagdiepte:	12,8°C	14,2°C	1
Geschikte bodemlaag:	Formatie van Maassluis z3,4	Oosterhout z2								
Diepte opslag:	120-135 m-mv	155-210 m-mv								
Bodemtemperatuur opslagdiepte:	12,8°C	14,2°C								
<p>Uitgewerkt systeemconcept (hoofdstuk 3) Het systeemconcept is hier op schematische wijze weergegeven, ten behoeve van overzicht in één oogopslag en voor vergelijking van de verkenningen onderling. De detail opzet staat beschreven in de verkenning. Het systeemconcept is door het stopzetten van de verkenning niet verder uitgewerkt.</p>	2 3									

Thermisch opslagrendement (hoofdstuk 4)		
Systeemefficiëntie in jaar 2	50% Maassluis, 15 à 36% Oosterhout	
Systeemefficiëntie in jaar 10	71% Maassluis, 42 à 47% Oosterhout	
Systeemefficiëntie in jaar 50	79% Maassluis, 54 à 59% Oosterhout	
Business case (hoofdstuk 4)		
Niet uitgewerkt		
CO₂ emissie (hoofdstuk 4)		
Niet uitgewerkt		
Thermische effecten (hoofdstuk 5)		
Thermische straal warmteopslag:	155 meter (Maassluis) of 85 meter (Oosterhout)	
Horizontale warmte uitstraling: (25°C contour vanaf de bron)	na 50 jaar op circa 240 meter vanaf de bron (bonnen in F. van Maassluis)	
Verticale warmte uitstraling: (25°C contour diepte)	na 50 jaar op circa 65 m-mv (bronnen in F. van Maassluis)	
Juridische haalbaarheid (hoofdstuk 6)		
Provinciaal beleid	toepassing HTO is strijdig met provinciaal beleid	a
Zoet of zout grondwater:	zoet grondwater	
Stakeholders ondergrond:	bodemenergiesystemen in de omgeving aanwezig, geen invloed verwacht vanwege afstand en diepte.	
Inpassing bronnen:	het beoogde gebied ligt in stedelijk gebied, inpassing van de bronnen wordt haalbaar geacht	
Beoordeling: positieve aspecten, nadelen en risico analyse (hoofdstuk 7 en 8)		
Positieve aspecten van deze locatie voor toepassing HTO:		
1	Formatie van Maassluis en Oosterhout worden geschikt geacht voor HTO, relatief kleine onzekerheid	
2	Het warmteaanbod en de warmtevraag zijn reeds aanwezig en meetdata zijn beschikbaar, geen risico op vertraging bij ontwikkeling van HTO en inpassing kan goed ontworpen worden.	
3	Door de temperatuursprong bij het verdeelstation kan de HTO met een hoge temperatuur geladen worden en kan de warmte op een lage temperatuur geleverd worden. Hierdoor is toepassing van een warmtepomp niet of nauwelijks nodig...	
Nadelen van deze locatie voor toepassing HTO:		
a	De juridische haalbaarheid vormt de grootste barrière voor de haalbaarheid van deze verkenning, omdat toepassing van open bodemenergiesystemen in het beoogde opslagpakket in strijd is met bestaand grondwaterbeschermingsbeleid.	
Conclusie (hoofdstuk 8)		
De toepassingsmogelijkheden van HTO op deze locatie is op basis van deze verkenning als niet haalbaar beoordeeld. Op de locatie Tilburg is toepassing van ondergrondse warmteopslag strijdig met het provinciaal beleid. De juridische haalbaarheid vormt een barrière voor de haalbaarheid van deze verkenning,		

<p>Uit de verkenning blijkt dat de locatie Tilburg voor wat betreft de technische en geohydrologische haalbaarheid gunstig is: de ondergrond biedt mogelijkheden, de vraag en aanbod kant zijn aanwezig en door toepassing bij een verdeelstation kan de warmteopslag worden toegepast met gunstige temperatuurniveaus, waarbij een warmtepomp niet of nauwelijks nodig is.</p>	
<p>Aanbevelingen voor vervolgonderzoek:</p> <p>De uitwerking van de verkenning voor ondergrondse warmteopslag in Tilburg is in het kader van het programma verduurzaming Amernet besproken in de ‘Werkgroep verkennen haalbaarheid HTO’. Dit heeft geleid tot een oproep aan de Stuurgroep van het Amernet tot een Brabant-breed onafhankelijk, integraal vervolgonderzoek naar (on)mogelijkheden, alternatieven, condities en (strikte) voorwaarden voor HTO in de ondergrond, t.b.v. seizoensbuffering voor warmtenetten.</p> <p>Voor het Amernet zijn onder andere aanbevelingen om de mogelijkheden voor warmteopslag in het westelijk deel (ten westen de Gilze-Rijenbreuk) te verkennen, en onderzoek uit te voeren naar de haalbaarheid van HTO in geschikte diepere bodemlagen.</p>	

Inhoudsopgave

1	Inleiding	8
1.1	Achtergrond	8
1.2	Doelstelling algemeen en specifiek voor locatie Tilburg	8
1.3	Gevolgde aanpak verkenning Tilburg	9
1.4	Over de indeling van deze verkenning	10
1.5	Studiegebied	10
2	Geologische haalbaarheid	11
2.1	Hydrogeologische situatie	11
3	Uitgangspunten en ontwerp	17
3.1	Energetische uitgangspunten warmte aanbod en vraag	17
3.2	Uitvoeringsvarianten HTO	19
3.3	Basisontwerp van de HTO	23
4	Analyse van uitvoeringsvarianten	25
4.1	Thermische berekeningen	25
4.2	Financiële analyse – niet uitgewerkt	28
4.3	CO ₂ -besparing – niet uitgewerkt	28
5	Milieu hygiënische aspecten	29
5.1	Grondmechanica: zetting en opheffing	29
5.2	Thermische effecten	29
6	Juridische aspecten en omgevingscan	32
6.1	Wettelijk kader	32
6.2	Vergunningprocedure HTO in Tilburg	32
6.3	Omgevingscan	33
6.4	Provinciaal beleid	35
6.5	Conclusie juridische haalbaarheid	36
7	Risico-inventarisatie en plan van aanpak vervolgstappen	37
7.1	Introductie	37
7.2	Inschatting relevantie van de projectrisico's	37
7.3	Vervolgstappen voor warmteopslag in het Amernet	44
8	Conclusie	45

Referenties	46
Bijlage I. Ontwerpnorm bronnen	47
Bijlage II. Brontechniek	52
Bijlage III. Beschrijving numerieke model SEAWATv4	55
Bijlage IV. Grond mechanische processen	58
Bijlage V. Generieke risico-inventarisatie voor HTO	61
Bijlage VI. Bevindingen Werkgroep verkennen haalbaarheid HTO	68

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Hoge Temperatuur opslag (HTO) kan een belangrijke schakel zijn in de optimale koppeling van warmtevraag enerzijds en duurzame warmte anderzijds, zo ook voor het warmtenet in Tilburg en Breda, het Amernet. In de toekomst zal het net steeds verder verduurzaamd moeten worden. Door warmte van duurzame bronnen in de zomer op te slaan en deze in de winter weer te gebruiken, kunnen duurzame bronnen het hele jaar door zo optimaal mogelijk worden ingezet en kan in de winter (een deel van) de piekvraag worden ingevuld.

In het programma WINDOW zijn zes verkenningen uitgevoerd naar de haalbaarheid van HTO. De twee meest kansrijke verkenningen worden geselecteerd. In WarmingUP wordt voor de geselecteerde verkenningen een proefboring uitgevoerd en wordt een ontwerp gemaakt van de HTO. Voorzien wordt dat de ontworpen HTO's daarna gerealiseerd worden. Dit vervolg op WarmingUP dient nog nader vorm gegeven te worden.

Wat is HTO?

HTO is het opslaan van hoge temperatuurwarmte in de bodem. Bij een opslagtemperatuur van circa 60 - 90°C wordt gesproken van hoge temperatuur. HTO-systemen bestaan uit één of meerdere doubletten met een hete en een lauwe bron. Daarnaast hebben ze twee operatietypes per jaar. In de zomerperiode is de warmtevraag veelal beperkt of geheel afwezig bij de afnemer. De aanbieder van warmte heeft echter wel warmte beschikbaar. Deze wordt dat tijdelijk opgeslagen in de bodem. Gedurende de winterperiode draait deze operatie om. De aanbieder van warmte en de HTO voeden nu het warmtenet, doordat de vraag naar warmte in de winter relatief hoog is.

De opslag van warmte in de ondergrond gaat gepaard met warmteverliezen naar de omgeving. Om de warmteverliezen te beperken, is het van het belang dat het systeem zoveel mogelijk uren per jaar draait. Hoe groter het opgeslagen volume warm water is, hoe kleiner de relatieve warmteverliezen zijn. Gedurende het terugwinnen van de opgeslagen warmte (leveren/ontladen) zal de temperatuur van het grondwater dat wordt onttrokken uit de hete bron steeds verder afnemen. Om het mogelijk te maken om een constante gewenste temperatuur te leveren aan het warmtenet kan worden overwogen om een warmtepomp te installeren.

1.2 Doelstelling algemeen en specifiek voor locatie Tilburg

De algemene doelstelling van deze verkenning is tweeledig. Ten eerste speelt deze verkenning een rol in het WINDOW project. Ten tweede heeft Ennatuurlijk een doel met de inpassing van een HTO in het leveringsgebied van het Amernet.

Algemene doelstelling

Het doel vanuit het WINDOW project is om zes verkenningen parallel uit te voeren, en vanuit de gedachte 'learning-by-doing' te leren van de verschillende situaties en de kansrijkheid van HTO op verschillende locaties. De verkenningen worden zo ver uitgewerkt, dat we de twee meest kansrijke HTO-locaties kunnen selecteren. De twee geselecteerde HTO-locaties worden verder voorbereid richting uitvoering in het WarmingUP-programma, thema 5.

Specifieke doelstelling locatie Tilburg als voorbeeld voor Amernet

Ennatuurlijk wil met deze verkenning inzicht krijgen in de haalbaarheid van HTO in het Amernet. Ennatuurlijk staat voor een grote opgave en wanneer HTO technisch, financieel en juridisch interessant is, zien zij op meerdere plaatsen kansen voor HTO in hun warmtenetten.

Voor deze studie is met name de juridische haalbaarheid van belang. Al bij aanvang van deze verkenning was de juridische haalbaarheid als een belangrijk aandachtspunt geïdentificeerd, en als 'mogelijke showstopper' beoordeeld. Gezien de verwachte meerwaarde van warmteopslag voor het Amernet, is de verkenning wel binnen het WINDOW programma opgenomen.

De Provincie Noord Brabant heeft een strikt beleid met betrekking tot bescherming van aanwezig drinkwater. Ervaringen die in dit project worden opgedaan op het gebied van juridische haalbaarheid zijn ook interessant voor andere potentiële projecten in Noord Brabant.

1.3 Gevolgde aanpak verkenning Tilburg

Om de juridische haalbaarheid verder te kunnen beoordelen, is er in overleg met Ennatuurlijk voor gekozen om in deze verkenning één concrete locatie uit te werken. Binnen het Amernet kunnen meerdere potentiële locaties met kansen voor HTO worden geïdentificeerd, in de directe nabijheid van wijken die geschikt zijn voor warmte met een lage(re) temperatuur. De locaties bevinden zich bij voorkeur ook dicht bij een verdeelstation. Voor Breda zijn dit Haagse Beemden/Overkroeten en De Bouverijen, voor Tilburg is dat Reeshof Zuid. In deze haalbaarheidsstudie is gekeken naar de Reeshof Zuid in Tilburg, omdat inpassing van een HTO in dit deel van het warmtenet gunstig is.

Werkgroep Amernet

Parallel aan de uitwerking van deze verkenning binnen het WINDOW programma, is in het kader van het programma Verduurzaming Amernet een werkgroep geformeerd. Alle belanghebbenden zijn gevraagd deel te nemen in deze werkgroep, zodat deze verkenning ook het karakter van joint fact finding heeft gekregen. Deelnemers in de werkgroep: Provincie Noord Brabant, Ennatuurlijk, Gemeente Tilburg, Gemeente Breda, Gemeente Dongen, Enpuls/Enexis. Brabant Water en Vereniging Industriewater nemen deel als agendalid. De werkgroep is georganiseerd en voorgezeten door de programmaregisseur verduurzamen Amernet. De bevindingen van de 'Werkgroep verkennen haalbaarheid HTO' zijn opgenomen in bijlage VI van deze verkenning.

Tijdens uitwerking blijkt HTO in Tilburg niet verenigbaar met beleid

Bij de verdere uitwerking van de verkenning in Tilburg, blijkt uit besprekingen in de 'Werkgroep verkennen haalbaarheid HTO' dat op gekozen locatie Reeshof-Zuid een HTO systeem niet verenigbaar is met het grondwaterbeschermingsbeleid van de Provincie Noord Brabant. Ontheffing voor HTO in een groot deel van Tilburg is onwaarschijnlijk en vergt een beleidsdiscussie met beschouwing van zwaarwegende redenen voor de Amerwarmtenet ontwikkeling.

Verkenning Tilburg niet geheel uitgewerkt

In overleg met Ennatuurlijk is besloten om de verkenning op de locatie Tilburg niet verder uit te werken. Op dat moment was voor deze locatie de technische haalbaarheid uitgewerkt. De uitwerking van bijvoorbeeld de businesscase en CO₂ reductie ontbreken daarom in deze verkenning.

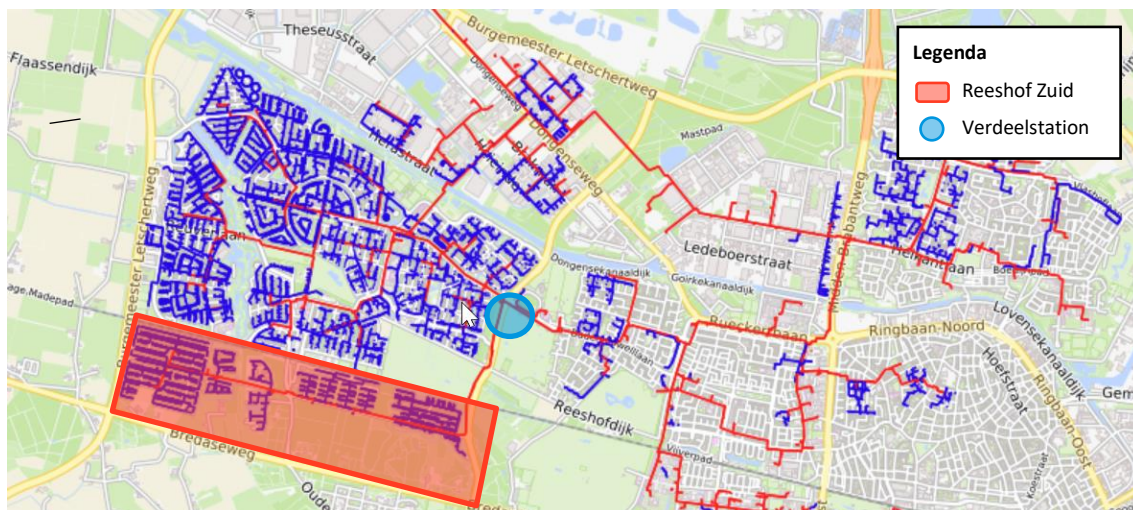
1.4 Over de indeling van deze verkenning

Voor de indeling van deze verkenning is dezelfde opbouw aangehouden als in de overige verkenningen van het WINDOW-project. Vanwege het aangepaste verloop van deze verkenning, zal de mate van uitwerking van paragrafen wisselend zijn. Bij de onderdelen die niet geheel zijn uitgewerkt, staat dit specifiek vermeld.

1.5 Studiegebied

Het warmtenet in Tilburg maakt onderdeel uit van een groot warmtenet dat wordt gevoed vanuit de Amercentrale. Naast Tilburg wordt ook Breda van warmte voorzien door de Amercentrale.

In deze studie is gekeken naar de Reeshof Zuid. Dit deel van het warmtenet kan van warmte met een lage temperatuur worden voorzien en ligt tevens aan de randen van het warmtenet. Het is daarom naar verwachting een geschikte locatie voor het toepassen van HTO. Ten noordoosten van de wijk ligt het verdeelstation voor Reeshof Zuid.



Figuur 1-1: Studiegebied HTO Reeshof Zuid in Tilburg

2 Geologische haalbaarheid

2.1 Hydrogeologische situatie

Voor de analyse van de geschiktheid van de ondergrond, is gebruikt gemaakt van de openbare modellen en datasets (DGM/REGIS II v2.2, NLOG, DINO, grondwatertools), aangevuld met boorbeschrijvingen van lokale boringen en/of informatie van open bodemenergiesystemen. TNO en IF Technology hebben deze informatie verzameld en geïnterpreteerd.

2.1.1 Beschrijving ondergrond

De aangewezen locatie in Tilburg ligt ten westen van Tilburg. Het gebied nabij de beoogde locatie is verbreukt. Ten westen van de locatie, op ~1 km afstand ligt de Gilze-Rijen breukzone (Figuur 2.1, Figuur 2-2, Figuur 2-3). Dit is een zogeheten open breuk die doorloopt tot aan het oppervlak, en waardoor vloeistofstroming plaats kan vinden. Het is onbekend of de Gilze-Rijen breukzone aan de oostzijde versmeerd (dicht) is. Hierdoor bestaat het risico op verbinding van het opslagreservoir met het oppervlak, met andere formaties en/of met het grondwaterbeschermingsgebied ten zuiden van de locatie. De kans op geïnduceerde seismiciteit door HTO wordt klein ingeschat, echter zijn de gevolgen voor een project wel groot. Dit moet in eventuele vervolgstappen gekwantificeerd worden. Algemeen advies is om zo ver mogelijk bij de breuken vandaan te blijven, andere beheersmaatregelen worden beschreven in hoofdstuk 'Risico-inventaristatie'.

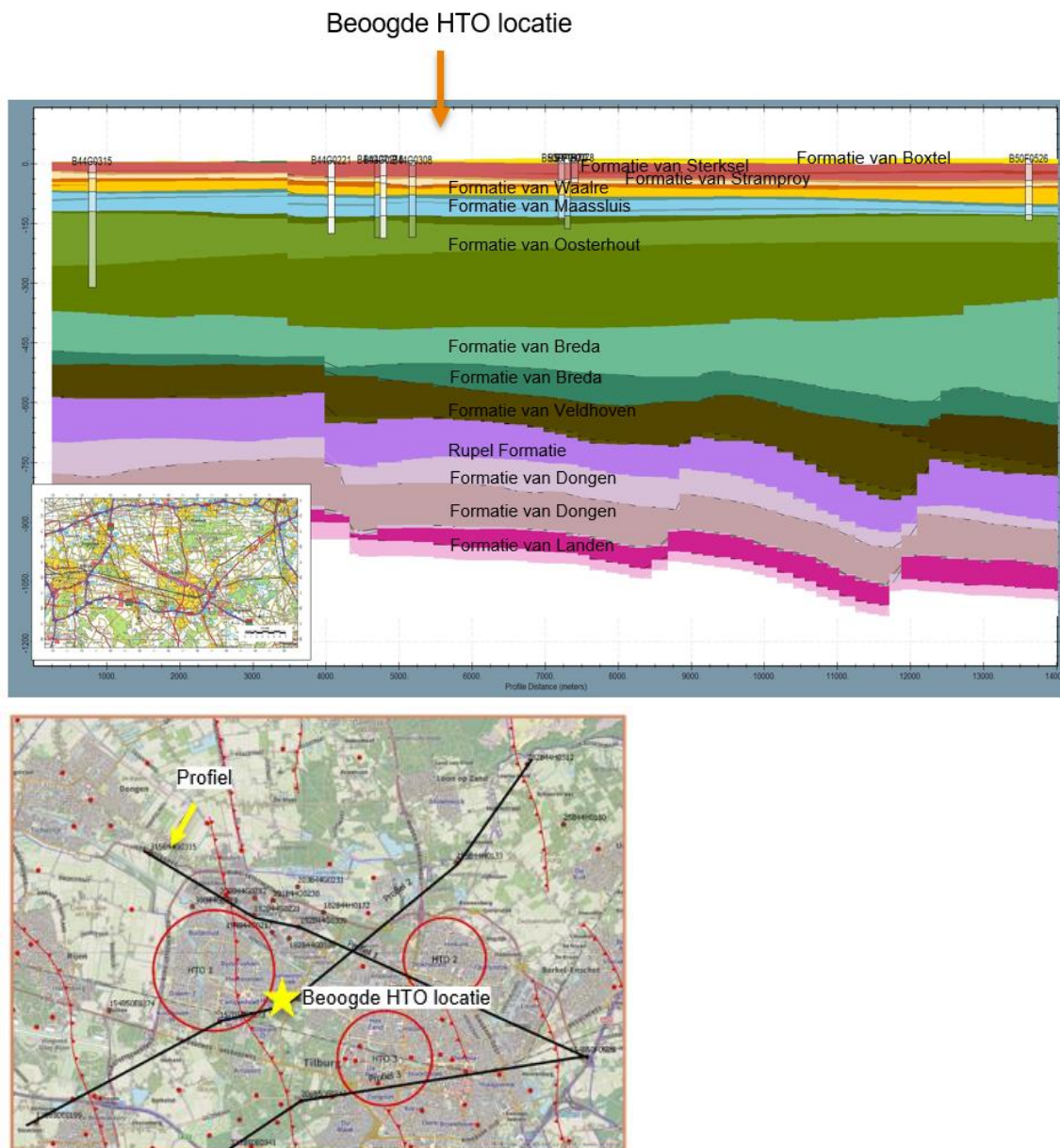
De beoogde HTO locatie ligt buiten de grondwaterbeschermingsgebieden (i.e. grondwaterbeschermingsgebied, boringsvrijzone, 100-jaarszone, waterwingebied drinkwater, Natura2000). Wel begint op ~1 km afstand ten zuiden de boringsvrije zone rondom het waterwingebied (Figuur 2-2). De brak-zout grens in Tilburg relatief diep (~300 m-mv), in de Formatie van Breda. Bovenliggende formaties bevatten zoet water, en uit de Formatie van Maassluis en Oosterhout wordt dan ook drinkwater gewonnen.

In de Provincie Noord-Brabant geldt op dit moment het algemene beleid dat er dieper dan 80 m-mv géén vergunningen voor bodemenergiesystemen worden verleend. Dit is verder beschreven in hoofdstuk 6 van deze verkenning.

De ondergrond in de omgeving van Tilburg bestaat uit een opeenvolging van verschillende formaties, die weer zijn opgesplitst in verschillende deellagen (hydrogeologische eenheden), zie doorsnede van het onderzoeksgebied in Figuur 2-1. De verwachte geologische eenheden op een diepte tot 50-500 m-mv zijn de Formatie van Waalre, Maassluis, Oosterhout en Breda. In verband met de bovengenoemde juridische aspecten is ook gekeken naar formaties dieper dan 500 m-mv met een zandpakket; de Rupel Formatie met daarin het Laagpakket van Berg, en de Formatie van Dongen met daarin het Zand van Brussel Laagpakket (~600-900 m NAP).

Tabel 2-1 geeft een overzicht van de verwachte geologische eenheden voor de locatie Tilburg tot een diepte van -500 m-mv.

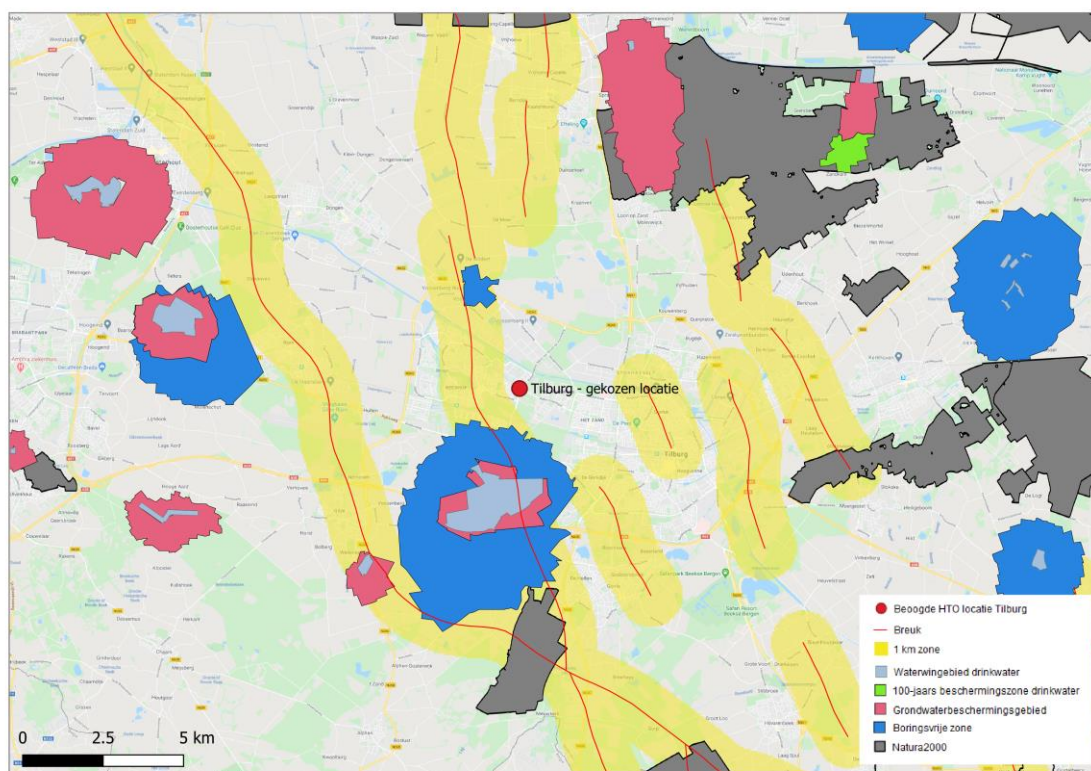
Voor meer gedetailleerde informatie over de ondergrond is gekeken naar boringen in de omgeving. De dichtstbijzijnde diepe boringen in de DINO database zijn weergegeven in Figuur 2-4. De boringen liggen op 1-5 km afstand van de HTO locatie, ook is voor het ondiepe deel gebruikt gemaakt van de WKO boring bij het Learning Centre University in Tilburg (tot 80 m-mv) op ~2 km afstand en twee WKO boringen op grotere afstand (+5 km). Voor informatie over de diepere lager >500 m-mv is gekeken naar boring HBV-01 (NLOG) en kaarten uit ThermoGIS (www.thermogis.nl).



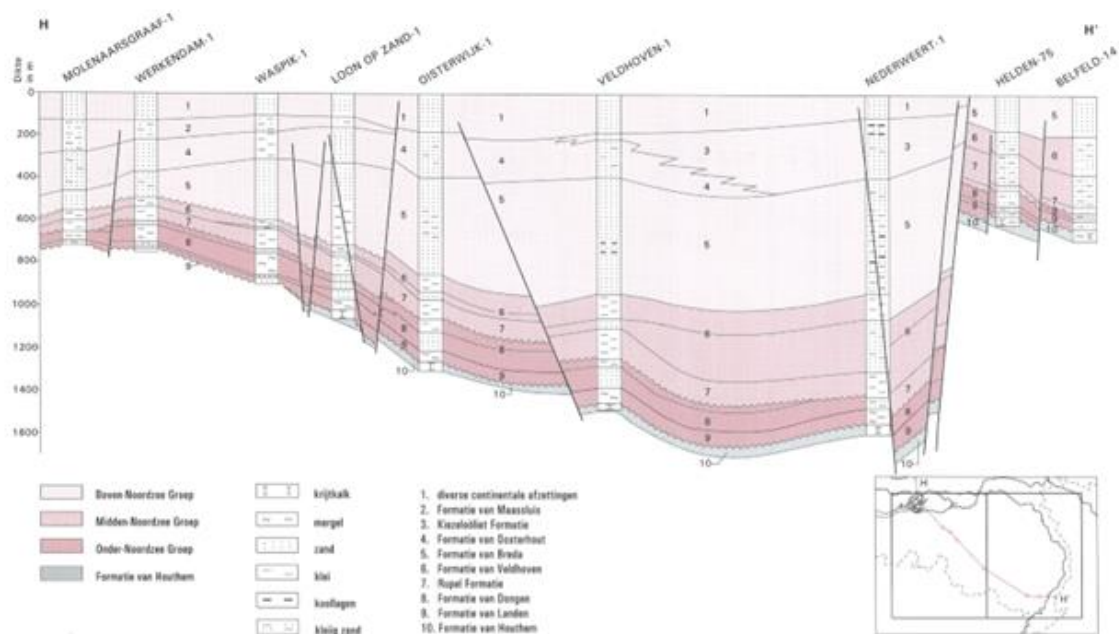
Figuur 2-1: Lokaal profiel door de ondergrond nabij de locatie Tilburg op basis van het REGIS II v2.2 model. Hier is de verbreuking van de ondergrond nabij de locatie zichtbaar.

Tabel 2-1: Overzicht van de verwachte hydrogeologische eenheden voor de beoogde HTO locatie tot een diepte van ~500 m-mv. Op basis van REGIS II v2.2.

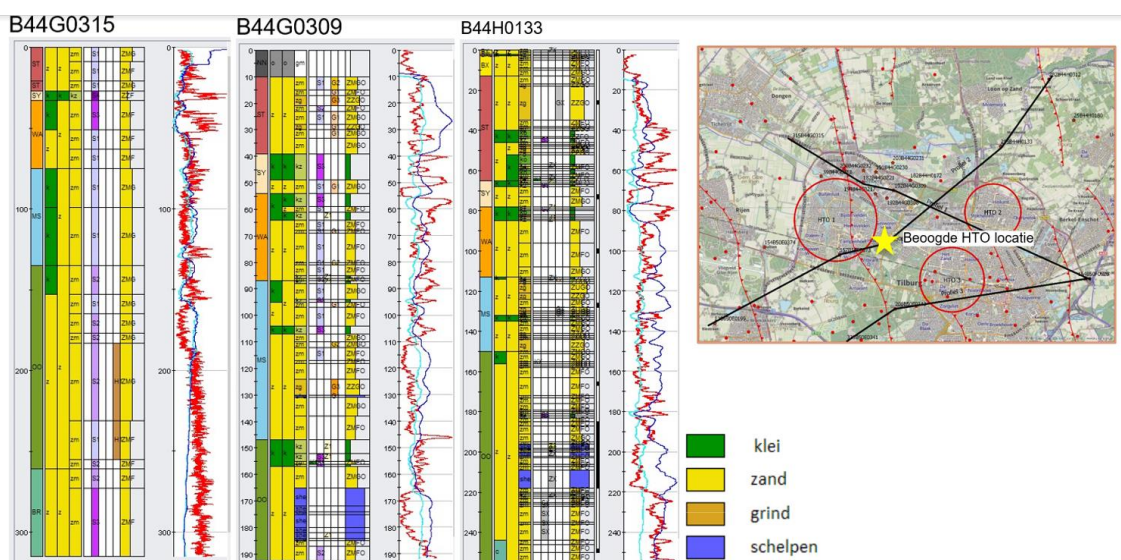
Hydrogeologische eenheid	Modeleenheid REGIS II v2.2	Opmerking
Fm. van Waalre, 1 ^e kleiige eenheid	WAK1	Scheidende laag
Fm. van Waalre, 2 ^e zandige eenheid	PZWAZ2	Ondiepe watervoerende laag
Fm. van Waalre, 3 ^e zandige eenheid	PZWAZ3	Watervoerende laag
Fm. van Waalre, 3 ^e kleiige eenheid	WAK3	Scheidende laag
Fm. van Waalre, 4 ^e zandige eenheid	PZWAZ4	Dunne watervoerende laag
Fm. van Maassluis, 1 ^e zandige eenheid	MSz1	Watervoerende laag
Fm. van Maassluis, 1 ^e kleiige eenheid	MSK1	Dunne scheidende laag
Fm. van Maassluis, 2 ^e zandige eenheid	MSz2	Watervoerende laag
Fm. van Maassluis, 2 ^e kleiige eenheid	MSK2	Dunne scheidende laag
Fm. van Maassluis, 3 ^e zandige eenheid	MSz3	Watervoerende laag
Fm. van Maassluis, 4 ^e zandige eenheid	MSz4	Watervoerende laag
Fm. van Oosterhout, 1 ^e kleiige eenheid	OOK1	Scheidende laag
Fm. van Oosterhout, 2 ^e zandige eenheid	OOz2	Watervoerende laag
Fm. van Oosterhout, complexe eenheid	OOc	Zowel watervoerende als scheidende lagen mogelijk
Fm. van Breda, 1 ^e zandige eenheid	BRz1	Watervoerende laag



Figuur 2-2: Breuken (incl. 1 km zone) en grondwaterbeschermingsgebieden rondom de locatie Tilburg (DGM/REGIS III v3.2 en RIVM).



Figuur 2-3: Regionaal West-Oost profiel door de ondergrond nabij de locatie Tilburg. Het profiel doorsnijdt de Roerdal Slenk en het Peel Blok in noord-Limburg. Het profiel laat goed het grote verschil in dikte en opbouw zien van de formaties. (uit TNO 2001, Kaartblad XIII en XIV, naar RGD, 1980)



Figuur 2-4: Boorprofielen van nabijgelegen boringen die de beoogde formaties bereikt hebben (uit de DINO database).

Uit het REGIS II v2.2 model, de boringen in de omgeving (DINO) en de boorstaten van de WKO-systemen (tot max. 87 m-mv) komen de volgende hydrogeologische eenheden naar voren die interessant kunnen zijn voor HTO. Hierbij is gekeken naar een zandige watervoerende laag met afsluitende kleilaag:

- Zandige eenheden in de Fm. van Waalre. Deze eenheden liggen ondiep waardoor er rekening moet worden gehouden met warmte uitstraling naar de oppervlakte/bovenliggende lagen.
- Twee/drie mogelijk geschikte zandige eenheden (MSz2, MSz3/MSz4) in de Fm. van Maassluis. De kleilaag boven de MSz3 en MSz4 (twee watervoerende lagen op elkaar) lijkt erg dun, waardoor opwarming van het bovenliggende pakket een risico vormt. De kleilaag boven de MSz2 lijkt ook dun (~8 m).
- De tweede zandige eenheid van de Fm. van Oosterhout (OOz2). Echter is er risico door aanwezigheid van glauconiet en evt. schelpenresten.

2.1.2 Nadere analyse potentieel geschikte hydrogeologische eenheden

Formatie van Waalre

De Formatie van Waalre ligt rondom Tilburg, ten oosten van de Gilze-Rijen breuk, op een diepte van 40-100 m-mv. Kleiige eenheden wisselen de zandige eenheden af. De zandige eenheden bestaan uit matig grove zanden. De tweede en derde zandige eenheden van de Fm. van Waalre (PZWaz2 en PZWaz3) worden niet gescheiden door een kleilaag en hebben gezamenlijk een dikte van ongeveer ~15 m met erboven een kleilaag van voldoende dikte. In deze grove zanden kan de buoyancy stroming door injectie van een hoge temperatuur erg groot zijn en zorgen voor warmteverliezen. Door de ondiepe ligging is risico op warmte uitstraling naar bovenliggende lagen en het oppervlak. De vierde zandige eenheid van de Fm. van Waalre (PZWaz4) is een dunne zandlaag, <10m, en wordt daarom minder geschikt geacht voor HTO.

Formatie van Maassluis

De Formatie van Maassluis ligt op een diepte tussen 80-150 m-mv. De formatie bestaat uit twee kleiige eenheden (MSk1 en MSk2) en drie zandige eenheden (MSz2, MSz3 en MSz4). Beide kleilagen zijn relatief dun, waardoor risico van warmte uitstraling naar bovenliggende pakketten aanwezig is. De MSz3 en MSz4 worden niet gescheiden door een kleilaag, waardoor deze samen een dikte hebben van ~15 m. Doorlatendheden in de omgeving worden aan de hand van REGIS II v2.2 geschat rond de 17-21 m/d, wat voldoet aan de criteria van minimaal 5 m/d. De formatie bevat zoet water en in de omgeving wordt drinkwater gewonnen uit de Formatie van Maassluis en Oosterhout, waardoor het juridisch gezien niet mogelijk is om HTO in deze formatie toe te passen (formatie ligt onder de 80 m-mv grens).

Opmerking: de juridische restricties zijn hier beschouwd overeenkomstig het huidige beleid, zie verder paragraaf 4.5.

Formatie van Oosterhout

De Formatie van Oosterhout ligt op een diepte van ongeveer 130-220 m-mv. In het zandpakket van de Formatie van Oosterhout bevinden zich mogelijk schelpenbanken op deze locatie, waardoor het zand kalkrijk kan zijn. Ook bevat het zand mogelijk glauconiet, dit in combinatie met de aanwezigheid van schelpenbanken maakt deze watervoerende laag op basis van lithologie bruikbaar voor HTO, maar met mogelijke onzekerheden. Ook hier geldt de juridische restrictie (formatie ligt onder de 80-90 m-mv grens).

Formatie van Breda

Onder de Formatie van Oosterhout ligt de Formatie van Breda met een dik zandpakket van waarschijnlijk 200 m dikte of meer. Het zand is over het algemeen glauconietrijk en er is waarschijnlijk geen afsluitende kleilaag aanwezig, waardoor deze formatie minder geschikt wordt geacht voor HTO. Ook hier geldt de juridische restrictie.

Extra verkenning: Zand van Brussel Laagpakket en Laagpakket van Berg

In de omgeving van Tilburg ligt het Zand van Brussel Laagpakket (in Formatie van Dongen) op een diepte van ongeveer 600-900 m NAP, de dikte is erg variabel in dit gebied en het Zand van Brussel Laagpakket dunt sterk uit naar het oosten rondom de locatie Tilburg, variërend van 100 tot <20 m dikte. Het Laagpakket van Brussel bestaat in het zuiden van Nederland over het algemeen zanden met glauconiet en calciet cementering. Boring HBV-01 ligt op ~3 km afstand ten noordwesten van de beoogde HTO locatie en hier is de Formatie van Dongen geïnterpreteerd tussen de ~700-900 m. De diepte, dikte en reservoirkwaliteit van het Zand van Brussel wordt momenteel onderzocht, maar wordt op basis van informatie uit ThermoGIS als ongeschikt geacht voor HTO. De permeabiliteit ligt waarschijnlijk rond de 200-500 mD (< 0.5 m/d). Ook is het bovenliggende Laagpakket van Asse (klei) afwezig rondom Tilburg, waardoor er geen afsluitende laag boven dit zandpakket zit.

Het Laagpakket van Berg (voorheen: Laagpakket van Vessem, in Rupel Formatie) ligt in dit gebied boven het Zand van Brussel door de afwezigheid van het Laagpakket van Asse. Het Laagpakket van Berg is over het algemeen relatief dun (20-30m dikte) en bestaat voornamelijk uit glauconiet-houdend fijn zand. Echter is er nog weinig over bekend over dit laagpakket. In ThermoGIS zijn reservoirkwaliteit inschattingen gemaakt, deze

laten een lage permeabiliteit zien (200-500 mD, <0.5 m/d). Boven het Laagpakket van Berg ligt waarschijnlijk wel een afsluitende kleilaag, maar ook hier is nog weinig over bekend. In WarmingUP thema 4 (ondiepe geothermie) is momenteel onderzoek gaande naar deze laagpakketten, deze kennis kan ook worden toegepast voor het inschatten van het potentieel voor HTO in o.a. de provincie Noord-Brabant.

2.1.3 Conclusie meest geschikte opslagpakket

De geohydrologische eenheden rondom te locatie Tilburg bieden lithologisch en geohydrologisch gezien mogelijk potentie voor toepassing van HTO in de Fm. van Maassluis en eventueel de Fm. van Oosterhout, echter wordt dit juridisch gezien lastig. Er is gekeken naar diepere laagpakketten rondom Tilburg, de reservoirkwaliteit van deze lagen wordt als ongunstig gezien voor HTO, ook gaan systemen in diepere lagen gepaard met aanzienlijk hogere boorkosten en vallen deze onder de Mijnbouwwet.

3 Uitgangspunten en ontwerp

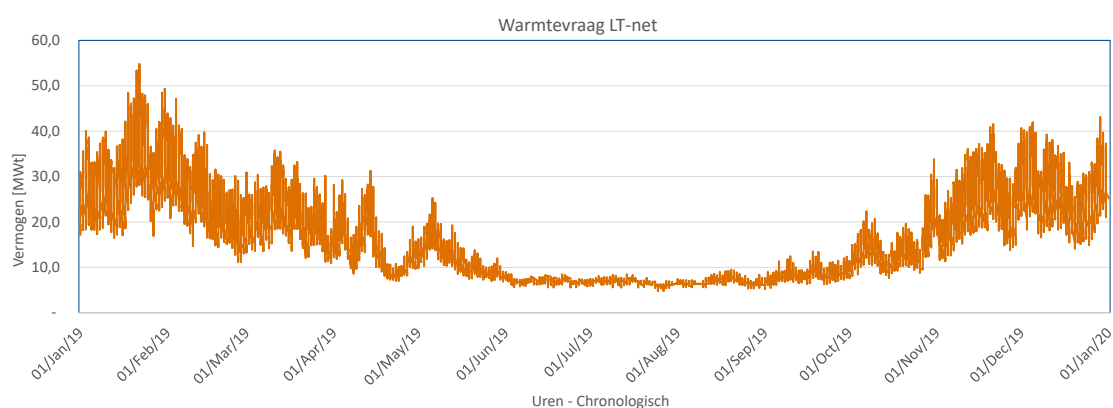
3.1 Energetische uitgangspunten warmte aanbod en vraag

Vraag

Gedurende de start van deze studie is gerekend met de warmtevraag van de wijk Reeshof. De Reeshof vormt een deel van het totale Amernet. In Figuur 3-1 is een jaarprofiel gegeven van deze warmtevraag. De totale warmtevraag bedroeg circa 520.000 GJ_t. Het minimale vermogen ligt rond de 5 MW_t en het maximale vermogen rond de 55 MW_t.

Later is ook de warmtevraag van alleen de Reeshof Zuid geïdentificeerd. Deze warmtevraag bevat ongeveer één derde deel van de warmtevraag van de gehele Reeshof. Herberekeningen op basis van de Reeshof Zuid zijn niet uitgevoerd in deze studie.

Het warmtenet zal in de toekomst groeien. Hier zijn momenteel geen prognoses van beschikbaar. De huidige warmtevraag van Reeshof is echter al voldoende om HTO technisch toe te kunnen passen. In deze studie is de huidige warmtevraag als uitgangspunt gebruikt. Naar verwachting is ook de omvang van de warmtevraag van Reeshof Zuid voldoende groot (circa 175.000 GJ). De benodigde warmtevraag om HTO toe te kunnen passen is namelijk ingeschat op circa 150.000 GJ.



Figuur 3-1: Jaarprofiel Reeshof van jaar 2019

In het Amernet wordt warmte via een aantal stappen naar de woningen gebracht. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 3-2.



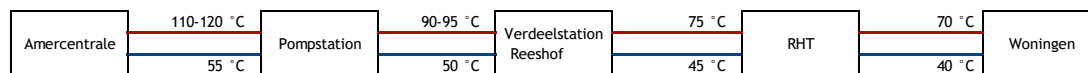
Figuur 3-2: Schematische weergave Amernet

Vanuit het Amernet wordt warmte van 110-120°C geleverd aan de hoofdtransportleiding. Via een pompstation wordt warmte van 90-95°C geleverd aan het verdeelstation. In deze studie wordt uitgegaan van 92°C, zodat de HTO geladen kan worden met 90°C.

Momenteel wordt vanaf het verdeelstation warmte geleverd op 80/85°C. Maar deze temperatuur zou naar 75°C kunnen. In deze studie wordt uitgegaan van 75°C.

Via RHT's wordt momenteel warmte aan woningen geleverd tussen de 75-80°C. Dit kan in de toekomst naar 70°C.

Over de retourtemperatuur zijn momenteel nog geen gegevens beschikbaar. De retour vanaf de woningen is ontworpen op 40. Wanneer dit als uitgangspunt wordt genomen, en ingeschat wordt dat bij elke stap een temperatuursprong van 5°C optreedt, en rekening houdend met de ingeschatte toekomstige aanvoertemperaturen, komt het plaatje met de temperaturen er als volgt uit te zien:



Figuur 3-3: Schematische weergave Amernet met ingeschatte temperaturen

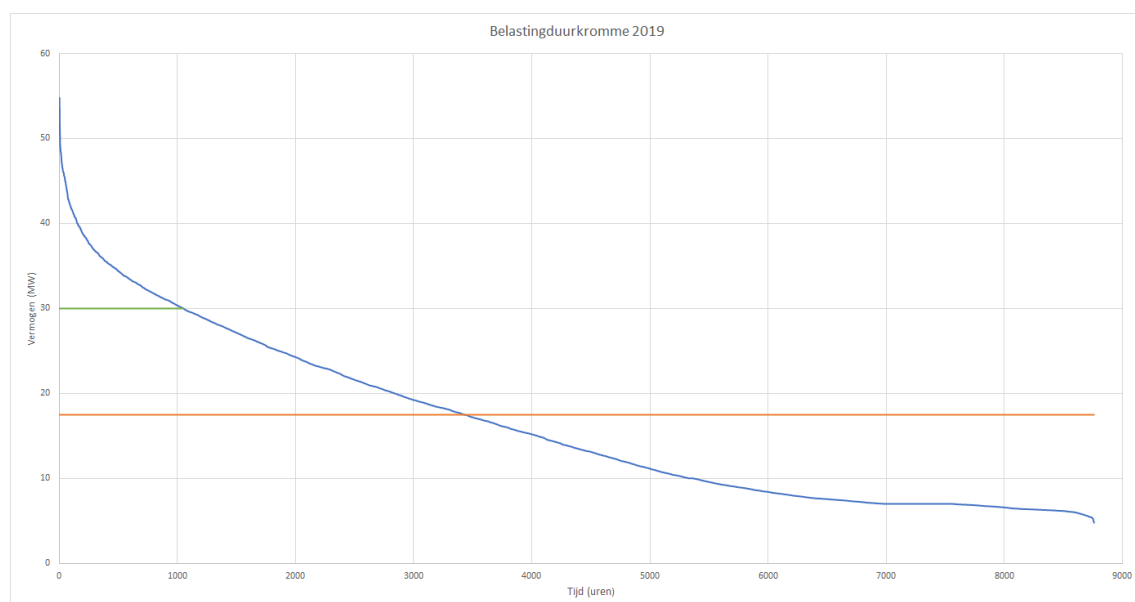
Belangrijk is wel dat de retourtemperaturen gecontroleerd worden en indien nodig, dat de berekeningen hierop worden aangepast.

Aanbod

In de zomer is restwarmte beschikbaar van de Amercentrale. De Amercentrale heeft een vermogen van 350 MW_t. Hoeveel vermogen uiteindelijk kan worden opgeslagen in de HTO, hangt ook af van de transportcapaciteit. In de huidige situatie kan in ieder geval 55 MW_t geleverd worden via het verdeelstation. De capaciteit van het aanbod vormt hierdoor geen bottleneck voor de inzet van de HTO.

HTO

Een eerste inschatting van de inzet van de HTO wordt gemaakt aan de hand van een jaarbelastingduurkromme (zie Figuur 3-4). Ennatuurlijk streeft naar een zo laag mogelijke pieklevering, die momenteel wordt ingevuld met gasketels. Met een HTO kan een basislast het hele jaar door worden ingezet (oranje lijn). In de winter draait de HTO in middenlast (groene lijn).



Figuur 3-4: Inschatting inzet HTO aan hand van jaarbelastingduurkromme.

Het minimaal gevraagde vermogen voor de Reeshof (in de zomer) is 5 MW. Wanneer de Amercentrale een basislast van 17,5 MW levert, kan de HTO geladen worden met maximaal 12,5 MW. In de winter wordt door de combinatie van HTO en de Amercentrale maximaal 30 MW_t geleverd.

De opgeslagen energie tussen uren 3429 en 8760 bedraagt 151.000 GJ (42.000 MWh). De geleverde energie is 97.000 GJ (27.000 MWh). Om de opgeslagen warmte in de winter te kunnen leveren dient het opslagrendement tenminste 65% te zijn (27/42). Ingeschat wordt dat dit haalbaar is. Het opslagvermogen zou naar verwachting nog wat hoger uit kunnen vallen. In dat geval hoeft er in de zomer minder warmte te worden opgeslagen, en kan in de winter meer warmte worden geleverd. Voor een eerste inschatting is in deze studie uitgegaan van een opslag van 150.000 GJ.

Het plan is om in de toekomst gefaseerd over te gaan op een laag temperatuur netwerk. Hierbij zal de Amercentrale als bron vervangen door duurzame en dus minder flexibele bronnen, deze temperaturen zijn vaak lager. Daartoe wordt het gebruik van warmtepompen voorzien om (tot dat alle woningen zijn aangepast voor lage temperaturen) de mogelijkheid te hebben om de aanvoer temperatuur te kunnen verhogen.

3.2 Uitvoeringsvarianten HTO

Er zijn op hoofdlijnen twee varianten denkbaar:

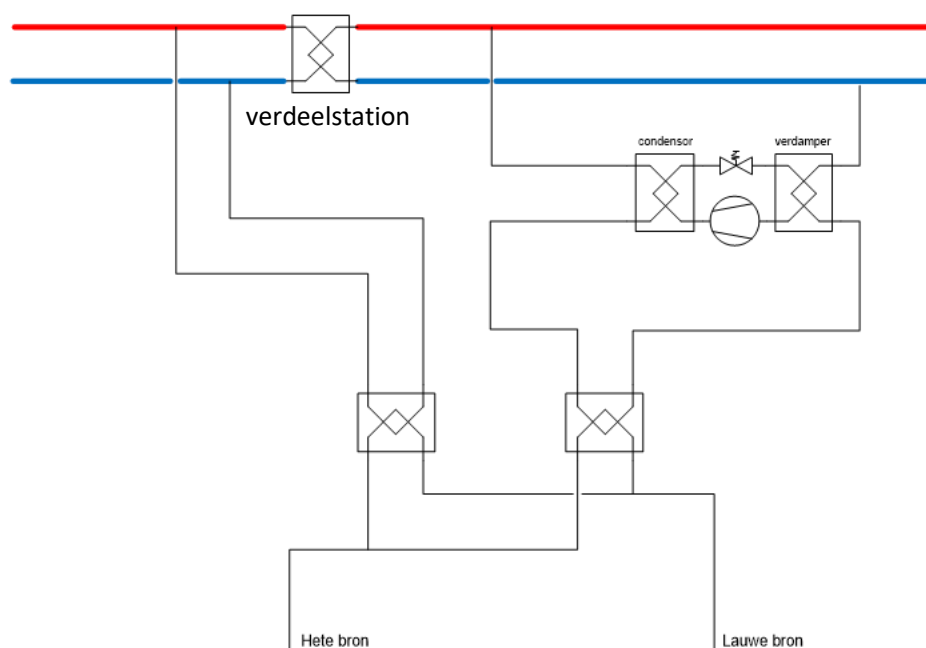
- HTO met warmtepomp
- HTO zonder warmtepomp

Beide varianten zijn uitgewerkt in de volgende paragrafen.

Opmerking: het systeemconcept vertoont grote overeenkomsten met de verkenning die is uitgevoerd voor Rotterdam Nesselande.

3.2.1 HTO met warmtepomp

De inpassing van HTO in het warmtenet is schematisch weergegeven in Figuur 3-5.



Figuur 3-5: Schematische weergave inpassing HTO et warmtepomp in warmtenet

De HTO wordt in de zomer geladen met 90°C met warmte afkomstig uit het netwerk voor het verdeelstation. In de winter levert de combinatie van HTO en de warmtepomp warmte aan het netwerk na het verdeelstation.

COP-warmtepomp

Door inzet van de warmtepomp kan de injectietemperatuur in de lauwe bron ‘gekozen’ worden en is deze niet afhankelijk van de temperaturen in het retourleidingen. Een lage temperatuur heeft als voordeel dat met de HTO veel vermogen geleverd kan worden en dat de warmteverliezen in de lauwe bron beperkt blijven. Een nadeel is dat de warmtepomp een grotere temperatuursprong moet maken waardoor het elektriciteitsverbruik toeneemt. In deze studie is in eerste instantie gekozen voor een injectietemperatuur in de lauwe bron van 30°C. Met een grondwater-injectietemperatuur van 30°C moet het retourwater afgekoeld worden tot 28°C en bedraagt het setpoint in de verdamper 26°C. Het setpoint aan de condensorzijde van de warmtepomp wordt gelijkgesteld aan de leveringstemperatuur (75°C). Uitgaande van 60% rendement (t.o.v. Carnot) verkrijgen we een COP = 4,3.

Bedrijfscondities warmtelevering

Uitgaande van de temperaturen in Tabel 2 en een maximale HTO-injectieflow in de lauwe bron van 47 kg/s en een afkaptemperatuur van 58°C (30°C verlies) worden de volgende bedrijfscondities verkregen gedurende de winterperiode (Tabel 3-1). Bij levering kort na opslag aan het begin van de winter is er nog geen temperatuurverlies in de warme bron en kan de HTO-bron 11,4 MW leveren.

Tabel 3-1: Bedrijfscondities bij warmtelevering

Locatie	T _{in} [°C]	T _{uit} [°C]	Flow [kg/s]	Vermogen [MW]	Opmerkingen
Aanvang winter					
TSA, HTO-zijde	88	30	47	11,4	
TSA, net-zijde	28	60	87	11,4	
Verdamper	40	28	87	4,4	
Condensor	60	75	87	5,7	
Totaal geleverd				12,8	
Einde winter					
TSA, HTO-zijde	58	30	47	5,5	
TSA, net-zijde	28	56	47	5,5	
Verdamper	40	28	57	2,9	
Condensor	56	75	47	3,8	
Totaal geleverd				6,9	

De flow door verdamper en condensor worden zodanig gekozen dat de productietemperatuur wordt gehaald. Dit betekent dat de flow aan de warmtenetzijde van de TSA aan het begin van de winter groter is dan aan de HTO-zijde. Op dit moment kan de HTO met warmtepomp het grootste vermogen leveren: 12,8 MW, waarbij de warmtepomp 4,4 MW onttrekt en 5,7 MW levert. Het thermische ontwerpvermogen van de warmtepomp bedraagt derhalve 5,7 MW. Gedurende de winter daalt de HTO-temperatuur en worden de flows aan beide zijden van de TSA aan elkaar gelijk. Bij een vaste flow in het grondwater wordt op dit moment het minimale warmtepompvermogen bereikt (3,3 MW). Vanaf een bepaalde temperatuurdaling in de HTO-bron moet de flow aan de verdamper-zijde gaan toenemen en wordt een deel van de flow aan verdamperzijde teruggevoerd naar de retourleiding (op 28°C). De retourleiding wordt dus verder uitgekoeld om de gewenste productietemperatuur te kunnen halen aan de condensor-zijde. Hierbij stijgt het warmtepompvermogen weer naar de ontwerpwaarde.

Het kantelpunt voor de bedrijfsvoering is het moment waarop de retourleiding verder uitgekoeld moet worden om de productietemperatuur te kunnen halen. Dit moment treedt pas op bij een HTO-temperatuurdaling van 27°C. De totale warmtelevering is dan gezakt tot 6,9 MW. Bij verdere daling van de HTO-temperatuur wordt dit vermogen gehandhaafd door een combinatie van uitkoeling van de retourleiding en elektrisch vermogen. Bij deze uitgangspunten zou de HTO-bron maximaal 39°C mogen afkoelen voordat de condensor haar maximale vermogen van 5,7 MW levert. De COP van de gehele HTO (gedefinieerd als de totale warmtelevering gedeeld door het elektriciteitsverbruik WP) is constant en gelijk aan 9 tot het kantelpunt. Als de retourleiding verder uitgekoeld wordt dan daalt de systeem-COP. Met bovenstaande bedrijfscondities (met 47 kg/s grondwaterflow en HTO vermogens tussen 5,5 en 11,4 MW) varieert het benodigde warmtepompvermogen tussen 3,3 en 5,7 MW.

Samenvatting uitgangspunten voor bepaling specificaties van warmtepomp en warmtewisselaars

Tabel 3-2: Specificaties warmtepomp

Condensor setpoint	75 °C	Leveringstemperatuur is ook 75 °C.
Verdamper setpoint	26 °C	Uitgangstemperatuur is 28 °C op de verdamper-uitgang, zodat het grondwater gekoeld kan worden naar 30 °C.
Ontwerpflow	87 kg/s	
Ontwerpvermogen	5,7 MW	

Tabel 3-3: Specificaties TSA HTO

	Warmtenet-zijde	HTO-zijde
Ontwerp-aanvoertemperatuur opslag/laden	90 °C	88 °C
Retourtemperatuur opslag	40 °C	30 °C
Ontwerpflow laden	60 kg/s	52 kg/s
Ontwerpvermogen	12,6 MW	12,6 MW
LMTD	10	
Ontwerp-aanvoertemperatuur levering / ontladen	56 °C (max 60 °C)	58 °C (max 88 °C)
Ontwerp-injectietemperatuur	28 °C	30 °C
Ontwerpflow ontladen	47 kg/s (max 87 kg/s)	47 kg/s
Ontwerpvermogen	5,5 MW (max 11,4 MW)	5,5 MW (max 11,4 MW)
LMTD	2 (max 10 , niet maatgevend)	

De hoge retourtemperatuur in de zomer in het warmtenet is nu bepalend voor de dimensionering van de TSA. Als deze retourtemperatuur verder verlaagd kan worden, kan de TSA kleiner gedimensioneerd worden.

De uitgangspunten voor het geohydrologisch ontwerp staan grotendeels in de TSA tabel hierboven (kolom HTO-zijde). De overige specificaties zijn gebaseerd op de energetische uitgangspunten in sectie 3.1 en staan hieronder samengevat.

Tabel 3-4: Overige specificaties HTO

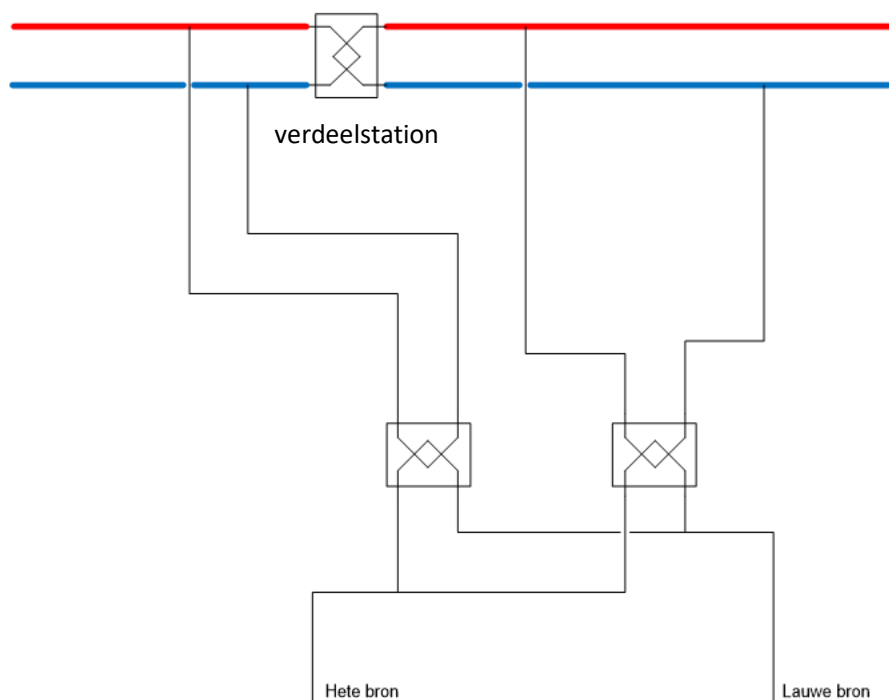
Parameter	Waarde	Opmerkingen
Opslagvolume laden	42.000 MWh (151.000 GJ)	
Waternverplaatsing	554.000 m ³	
Aantal uren beschikbaar voor laden	5300 hr	
Aantal uren beschikbaar voor ontladen	3500 hr	
Afkaptemperatuur	58 °C	

Tabel 3-5:

Variabele	Eenheid	Referentie	Variante 1	Variante 2
Opslag aquifer	-	-	Maassluis	Oosterhout
Opslag temperatuur (hete bron)	°C	-	88	88
Opslag temperatuur (lauwe bron)	°C	-	30	30
T afkap	C	-	58	58
Opslag volume HTO (2028)	m ³	-	554,000	554,000
Maximaal debiet laden	m ³ /h	-	52	52
Maximaal debiet leveren	m ³ /h	-	47	47

3.2.2 HTO zonder warmtepomp

De inpassing van HTO in het warmtenet is schematisch weergegeven in Figuur 3-6.



Figuur 3-6: Schematische weergave inpassing HTO zonder warmtepomp in warmtenet

De HTO wordt in de zomer geladen met 90°C met warmte afkomstig uit het netwerk voor het verdeelstation. In de winter levert de HTO warmte aan het netwerk na het verdeelstation. In het begin is de HTO voldoende warm (77-90°C) om rechtstreeks warmte van 75°C in te kunnen voeren. Wanneer de HTO te ver is afgekoeld, zal warmte van circa 90°C vanuit het netwerk voor het verdeelstation worden bijgemengd, zodanig dat de gemiddelde temperatuur 75°C bedraagt. Tijdens warmtelevering in de winter wordt water in de lauwe bron geïnjecteerd van 47°C (45°C retourtemperatuur + 2°C temperatuurverlies over de TSA).

In paragraaf 3.1 is ingeschat dat met 12,5 MW circa 150.000 GJ aan warmte geladen kan worden. Wanneer aangenomen wordt dat de lauwe bron tijdens het laden in temperatuur daalt van 47 naar 37°C, dan betekent dit het volgende:

- Bij het laden varieert het temperatuurverschil over de HTO tussen de 43 en 53°C
- Om een vermogen van 12,5 MWt te kunnen laden is een debiet tussen de 200 en 250 m³/h nodig (56 - 70 kg/s).
- Om 150.000 GJ aan warmte op te slaan, dient circa 750.000 m³ aan water te worden opgeslagen (bij een gemiddeld temperatuurverschil van 48°C).

3.3 Basisontwerp van de HTO

3.3.1 Uitgangspunten

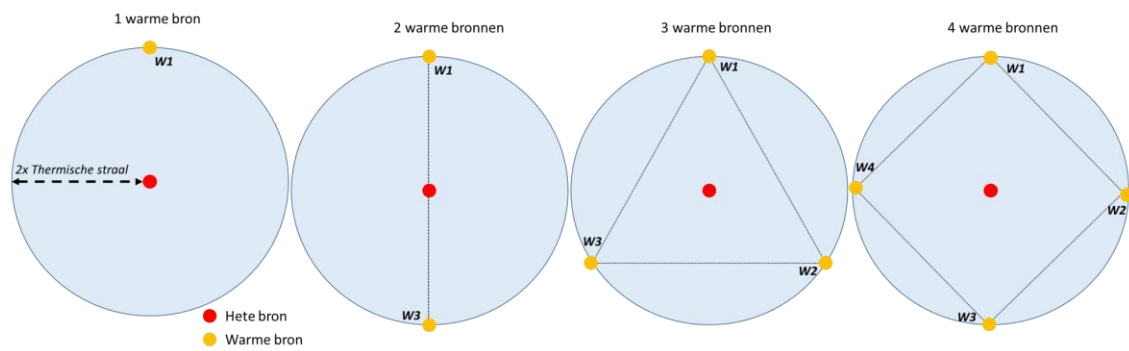
Het globaal principe van hoe de HTO wordt ingepast is reeds weergegeven in Het ontwerp betreffen het grondwatersysteem van de ondergrondse opslag, inclusief warmtepomp en koppeling met het transportnet. De HTO wordt gescheiden van het transportnet door middel van een warmtewisselaar. De warmtepomp is warmtenetzijdig ingepast.

Tabel 3-6 Gegevens simulaties varianten locatie Tilburg

	T _{heet} °C	T _{warm} °C	T _{cut-off} °C	V _{opslag} m ³	Opslagformatie	Laquifer (m)	Thermische straal (R _{th})	Bronnen _{heet}	Bronnen _{warm}
Variant 1	88	30	58	554,000	Maassluis	16	155	Niet bepaald	Niet bepaald
Variant 2	88	30	58	554,000	Oosterhout	53	85	Niet bepaald	Niet bepaald

3.3.2 3D putontwerp

De 3D opstelling van de warme putten rondom de hete bronnen zal in alle gevallen worden gedaan volgens de generieke methode getoond in Figuur 3-7. Eerste onderzoeksresultaten laten zien dat een afstand van 2*thermische straal (R_{th}) de meest gunstige afstand is om de efficiëntie van het systeem als geheel te optimaliseren. Deze afstand wordt in eerste instantie dus gebruikt om een 3D ontwerp te maken voor de bronnen van het warmteopslag systeem. Indien er andere stakeholders in de buurt van het systeem zitten waar rekening mee gehouden moeten worden of omdat dit ontwerp niet mogelijk is door beperkte bovengrondse inpassing zal het ontwerp in een later stadium (WINDOW fase 2) aangepast worden voor de specifieke case.



Figuur 3-7 Basisontwerp 3D plaatsing bronnen. Afstand Hete bronnen en warme bronnen is $2x$ de thermische straal van de hete bron.

4 Analyse van uitvoeringsvarianten

4.1 Thermische berekeningen

4.1.1 Model beschrijving

De numerieke simulaties worden uitgevoerd met het grondwatermodel SEAWATv4 (Langevin (2009)). Dit model is een koppeling tussen het grondwatermodel MODFLOW en het transport model MT3Ds (Harbough et al., 2000; Zheng & Wang, 1999). Een gedetailleerde beschrijving van de model opzet is gegeven in Bijlage III. SEAWATv4 heeft de capaciteit om dichtheidsstroming te simuleren bij verschillende temperaturen. Dit treedt op doordat viscositeit en dichtheid van het grondwater afhankelijk is van temperatuur. Een relatief lage dichtheid van het warme geïnjecteerd water leidt tot een dichtheid verschil met het omringede grondwater, het warmere water heeft dan de neiging op te drijven (van Lopik et al., 2016). De verliezen die hierdoor optreden, plus de verliezen die optreden door andere processen (e.g. conductie, dispersie), kunnen goed worden berekend met dit model.

Axisymmetrisch & 3D model

De simulatie worden gedaan met een axisymmetrisch model en een 3D model (Langevin, 2008). Met het axisymmetrische model wordt alleen de hete bron gesimuleerd, met het 3D model alle putten o.b.v. het putontwerp. Omdat het axisymmetrische model relatief weinig rekencapaciteit vergt, kan hierbij de gehele ondergrondse opbouw worden gemodelleerd (van maaiveld tot bijv. 500m diepte). Echter, de interactie tussen de verschillende bronnen en de ruimtelijke (x,y) invloed van het systeem kan dan niet inzichtelijk worden gemaakt.

Nadat het axisymmetrisch model heeft bepaald welke laag/lagen de meeste potentie hebben, wordt daarom met een 3D model het echte warmteopslag systeem gemodelleerd. Om de rekencapaciteit te verlagen wordt er alleen gekeken naar het opslagpakket en de daar boven en onderliggende laag.

Uitgangspunten model

Voor de modellen wordt een volume balans aangehouden. Dit houdt in dat het geïnjecteerde volume (V_{in}) tijdens laden gelijk is aan het onttrokken volume (V_{uit}) tijdens ontladen. Doordat er in de simulaties rekening wordt gehouden met een afkaptemperatuur kan het voorkomen dat tijdens ontladen de afkaptemperatuur wordt bereikt ($T_{bron} < T_{afkap}$), in dat geval kan $V_{uit} < V_{in}$ zijn. Er blijft dan dus volume achter (en dus energie) in de hete bron(nen).

De berekeningen worden uitgevoerd tot 20m in het Brussels zand (onderkant van model). Deze laag loopt door tot 600m diepte. Er wordt niet verwacht dat de laag meer dan enkele meters wordt beïnvloed, en, om de benodigde rekencapaciteit van het model te beperken wordt het model dus afgekapt op een diepte van -240 m (Brussels zand is aanwezig van -221 m tot -595 m – mv). Ter illustratie, zie **Error! eference source not found.**

4.1.2 Methode efficiëntie berekeningen

Bronrendement

De efficiëntie kan worden berekend voor een bron en voor het systeem als geheel.

Voor een bron wordt dit berekend als:

$$\eta_{bron} = \frac{V_{uit} \cdot \Delta T_{uit} \cdot c_w \cdot \rho_w}{V_{in} \cdot \Delta T_{in} \cdot c_w \cdot \rho_w}$$
$$\Delta T = T_{opslag} - T_{ambient}$$

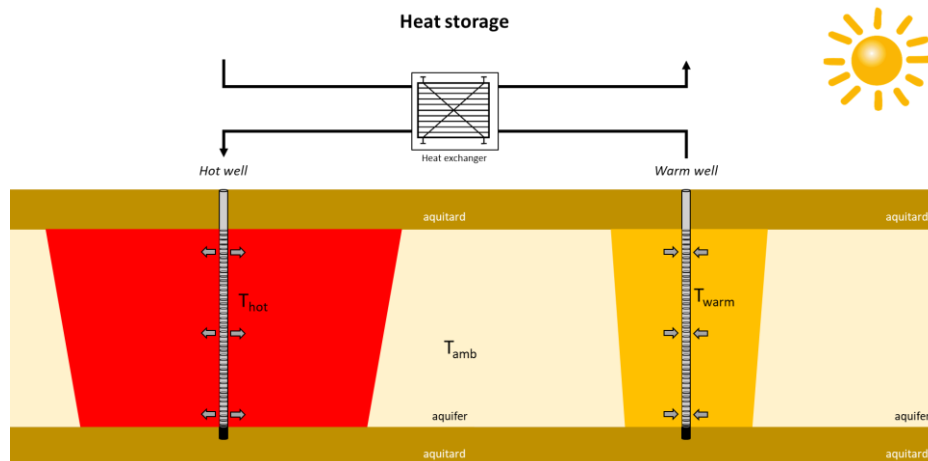
De ΔT is voor een bron berekend als het temperatuur verschil met de achtergrond temperatuur (T_{ambient}). Dit kan dus gedaan worden voor zowel de hete en de warme bron (Figuur 4-1).

Systemrendement

Omdat er zowel energie verloren gaat tijdens opslag in de hete en de warme bron bepalen de efficiëntie van de hete bron(nen) en de warme bron(nen) samen de efficiëntie van het systeem. Het temporele (door de tijd heen) temperatuur verschil tussen de hete en warme bron bepaalt het systeemrendement:

$$\eta_{HTO} = \frac{V_{uit} \cdot \Delta T_{uit} \cdot c_w \cdot \rho_w}{V_{in} \cdot \Delta T_{in} \cdot c_w \cdot \rho_w}$$

$$\Delta T = T_{\text{heet}} - T_{\text{warm}}$$



Figuur 4-1 Schematische weergave van een HTO met de temperatuur van de hete bron (T_{hot}), warme bron (T_{warm}) en de achtergrond temperatuur (T_{amb}).

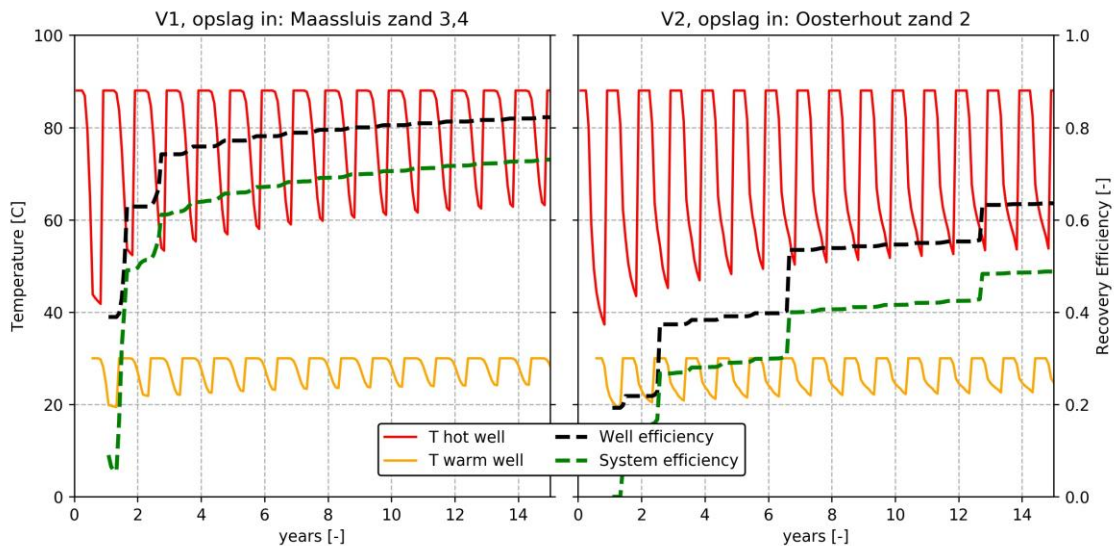
4.1.3 Resultaten

Axisymmetrisch – 50 jaar

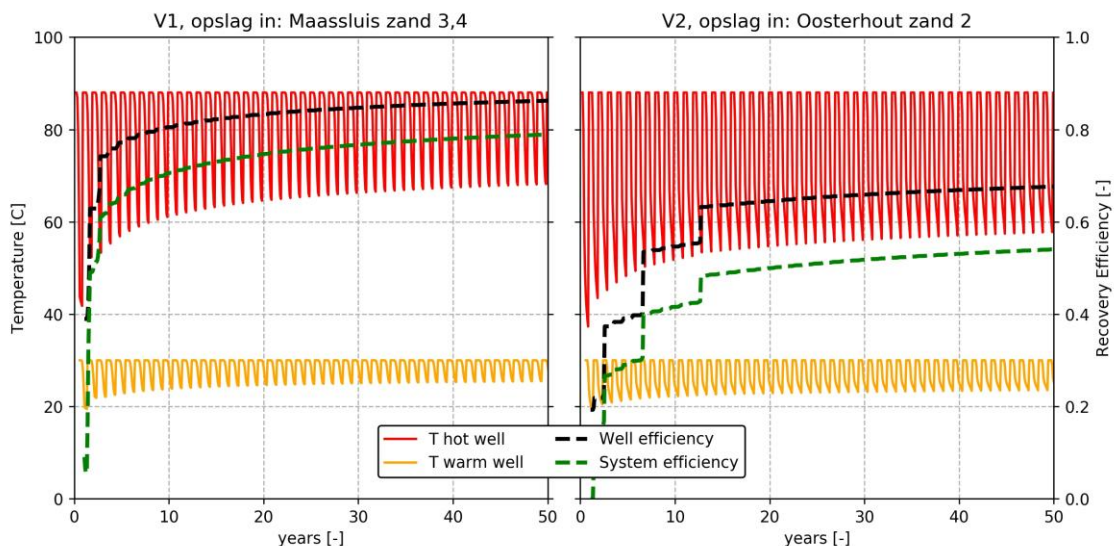
De resultaten zijn weergegeven voor de eerste 15 jaar (Figuur 4-2) en de volledige 50 jaar (Figuur 4-3). Er is een groot verschil zichtbaar tussen de twee opslag formaties. Opslag in de formatie van Maassluis leidt tot een hoog rendement t.o.v. opslag in de formatie van Oosterhout. Na 10 jaar is de efficiëntie van de warmteopslag >70% bij opslag in de formatie van Maassluis. Bij opslag in de formatie van Oosterhout bedraagt de efficiëntie op dat moment slechts 40%.

De formatie van Maassluis ondervindt na de eerste 3 jaar geen hinder meer van de cut-off temperatuur (De verminderende invloed van de cut-off temperatuur is zichtbaar als de 'knikken' die optreden bij de efficiëntie (Figuur 4-2)).

Bij de formatie van Oosterhout daarentegen is de cut-off temperatuur van invloed op het presteren van de HTO. De temperatuur in de hete bron daalt tijdens onttrekking bij opslag in de formatie van Oosterhout dus relatief snel. De samenvattende resultaten zijn weergegeven in Tabel 4-1.



Figuur 4-2 De bron temperatuur en daaruit volgende bron en systeem efficiëntie voor de 1^e 15 jaar. Links: opslag in Maassluis, Rechts: opslag in Oosterhout.

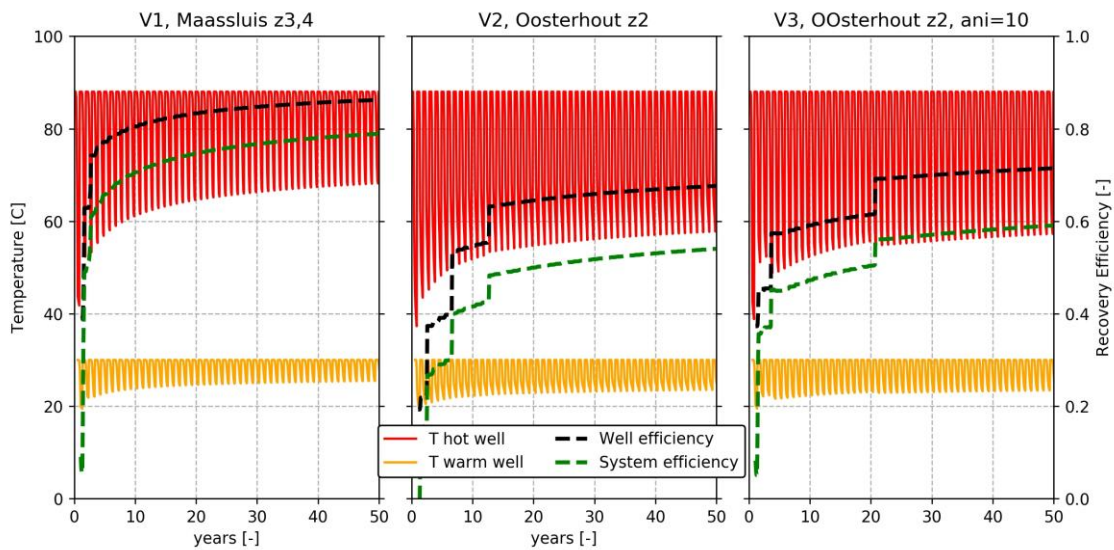


Figuur 4-3 De bron temperatuur en daaruit volgende bron en systeem efficiëntie voor de volledige 50 jaar. Links: opslag in Maassluis, Rechts: opslag in Oosterhout.

Aanvullende simulatie Formatie van Oosterhout

Het relatief grote temperatuur verlies dat in Figuur 4-2 en Figuur 4-3 is berekend voor de Formatie van Oosterhout, wordt veroorzaakt door een combinatie van een grote laagdikte, hoge temperatuur en hoge verticale doorlatendheid. Dit resulteert in een groot verlies door opdrijving. De lage anisotropie factor (nu 2) die de verticale doorlatendheid bepaald speelt hierbij een grote invloed. De exacte waarde van de anisotropie is niet bekend, en is nu ruw ingeschat. Op basis van eerdere studies kan worden aangetoond dat deze factor ook 10 of nog groter kan zijn. In een aanvullende simulatie is gekeken wat de invloed hiervan is.

Zoals verwacht leidt een hogere anisotropie (en dus een lagere verticale doorlatendheid) tot hogere efficiënties voor de warmteopslag (Figuur 4-4). Dit geeft dus aan dat het bij een relatief dikke opslag aquifer belangrijk is om een goede inschatting te hebben van de verticale en horizontale doorlatendheid. Echter, zelfs met deze aangepaste waardes blijft de efficiëntie van opslag in de formatie van Oosterhout laag ten opzichte van de formatie van Maassluis.



Figuur 4-4 Aanvullende simulatie (rechts) t.o.v. de twee originele simulaties

Tabel 4-1 Resultaten modellering warmteopslag systeem voor opslag in formatie van Maassluis en de formatie van Oosterhout.

Parameter	Variant 1 - Maassluis	Variant 2 - Oosterhout	Variant 2 – Oosterhout ani=10
Hete bron			
Efficiëntie (2 ^e jaar)	0.63	0.22	0.45
Efficiëntie (10 jaar)	0.80	0.55	0.59
Efficiëntie (50 jaar)	0.86	0.68	0.71
Systeem			
Efficiëntie systeem (2 ^e jaar)	0.5	0.15	0.36
Efficiëntie systeem (10 jaar)	0.71	0.42	0.47
Efficiëntie systeem (50 jaar)	0.79	0.54	0.59

4.2 Financiële analyse – niet uitgewerkt

Zoals beschreven in hoofdstuk 1, is in overleg met Ennatuurlijk er voor gekozen om de verkenning in Tilburg niet verder uit te werken met een financiële analyse, vanwege de juridische restricties voor toepassing van HTO.

4.3 CO₂-besparing – niet uitgewerkt

Net als de financiële analyse is ook de CO₂ besparing niet uitgewerkt in deze verkenning.

5 Milieu hygiënische aspecten

5.1 Grondmechanica: zetting en opheffing

5.1.1 Grond mechanische effecten

De grondmechanische risico's van een HTO-systeem zijn vergelijkbaar met die van de gangbare open bodemenergiesystemen (waarbij ook geen netto wateronttrekking plaatsvindt en de putten een seizoencyclus van injectie en onttrekking hebben. Eventuele verschillen worden veroorzaakt door de van effecten de hogere temperatuur.

In vergelijking met (drinkwater)onttrekkingen zijn de effecten kleiner doordat de onttrekking per put een beperkte duur heeft en wordt afgewisseld met injectie.

De grondmechanica wordt beïnvloedt door stijghoogteveranderingen en temperatuurveranderingen. In bijlage 4 is de invloed van deze veranderingen op de grond mechanische processen verder beschreven. Daarbij is een algemene beschrijving gegeven van grond mechanische processen bij HTO systemen. Een specifieke beschouwing per locatie is in deze verkenningen niet gemaakt.

5.1.2 Samenvatting grond mechanische risico's

Voor onttrekkingen is veel kennis beschikbaar over voorspellingen van zettingen en over daadwerkelijk opgetreden zettingen. Voor WKO's zijn er ook richtlijnen voor de geotechnische risico's. Dit kan ook gebruikt worden voor HTO. De risico's zullen minder zijn naar gelang de HTO dieper aangelegd. De consequenties van de hogere temperatuur zijn naar verwachting beperkt, maar hier is weinig informatie over beschikbaar zodat het is aan te bevelen om gerichte monitoring uit te voeren.

5.1.3 Aanbeveling

Op basis van deze kwalitatieve beschouwing kan geen belangrijk onderscheid gemaakt worden tussen de geselecteerde locaties wat betreft grondmechanische risico's. Na selectie van locaties voor verdere evaluatie dienen locatie specifieke berekeningen een inschatting geven van de verwachte effecten aan het maaiveld. Daarna kan in combinatie met een omgevingsscan het effect worden ingeschat waarbij mogelijk een ondiepere laag afvalt als optie voor HTO. Hiertoe dienen de mogelijke effecten van hogere temperaturen beter in beeld te worden gebracht, eventueel ondersteunt door experimentele observaties en gecombineerde modellen die grondmechanische, hydraulische, thermische en geochemische processen simuleren.

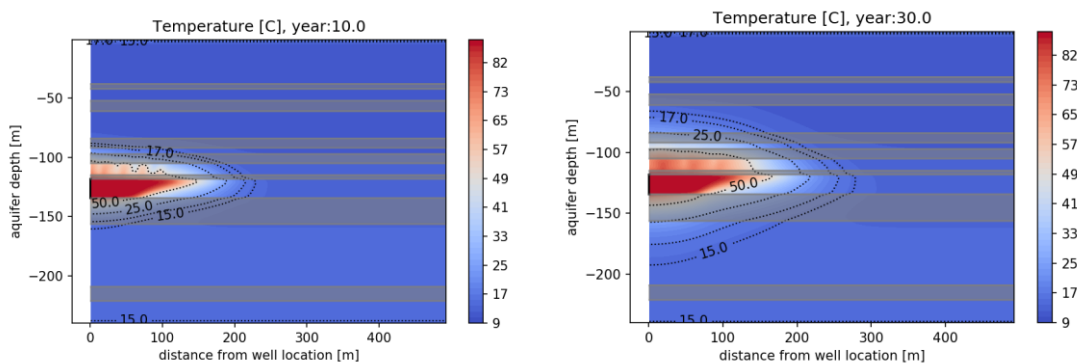
5.2 Thermische effecten

De grootste thermische effecten vinden plaats in de opslag-aquifer en de daaromheen liggende lagen. Daarnaast is er warmte-uitstraling vanuit de put naar de ondergrond rondom. De mate waarin thermische effecten door dit warmte verlies optreden, hangt voornamelijk af van de isolerende werking van de putconstructie. Op basis van eerder onderzoek kan worden ingeschat dat deze thermische verliezen relatief klein zijn t.o.v. de thermische verliezen vanuit de opslag. Nader onderzoek moet bepalen wat de exacte effecten zijn. Dat is in dit stadium nog niet bepaald.

In het vervolg van dit hoofdstuk worden alleen de thermische effecten beschouwd die optreden door de opslag van de thermische energie in de aquifer. In deze verkenningen is nog geen rekening gehouden met de natuurlijke grondwaterstroming.

5.2.1 Formatie van Maassluis

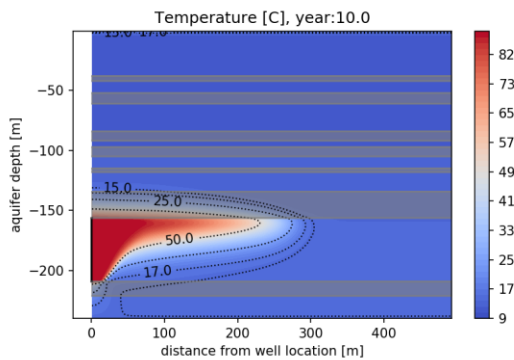
De thermische verspreiding van opgeslagen warmte in de Formatie van Maassluis is weergegeven in Figuur 5-1. Omdat de afdekkende laag boven de opslag formatie (tussen Maassluis zand 2 en Maassluis zand 3/4) relatief dun is, warmt de bovenliggende aquifer (Maassluis zand 2) al relatief snel op door de warmteopslag. In deze laag ontstaan convectie-cellen door het relatief grote temperatuur verschil tussen de onderliggende en bovenliggende temperatuur. De warmte verspreid zich daarom relatief snel door deze laag. Aan de onderkant van de Maassluis formatie bevindt zich een dikke klei laag. Warmte verspreiding naar onderliggende lagen is dus relatief klein. Let wel, het gaat hier om een worst-case benadering. D.m.v. analyse van de simulaties zijn de contouren van 15, 25 en 50 °C gemonitord in de aquifer. Dit geeft een beeld van de verspreiding van de warmte door de tijd heen (Figuur 5-3).



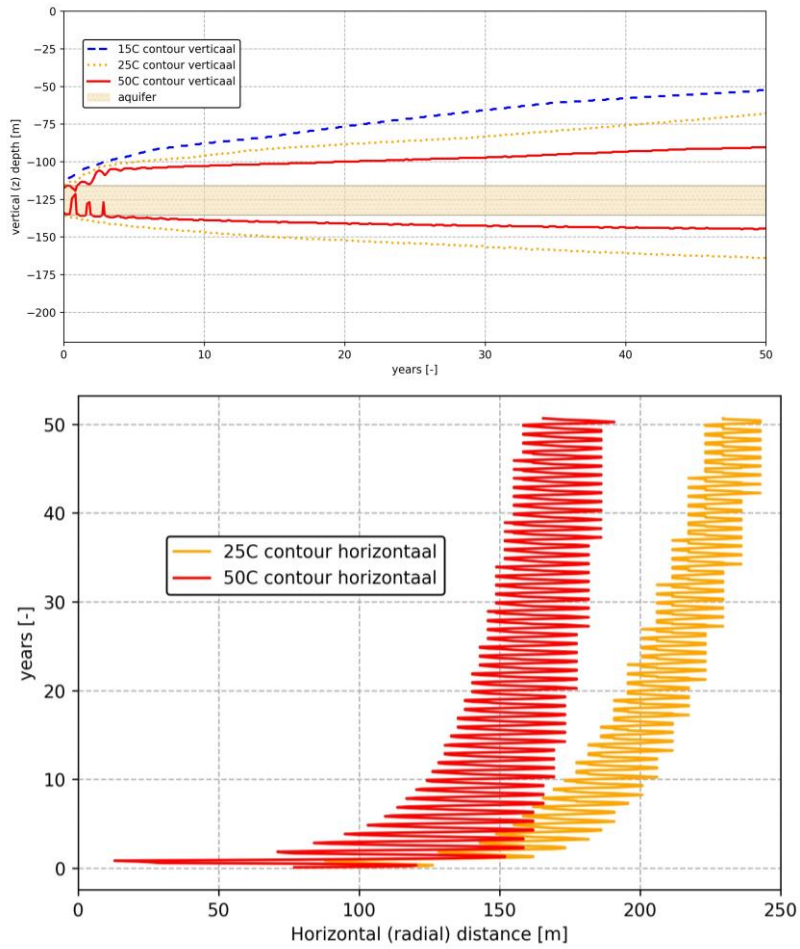
Figuur 5-1 Thermische verspreiding van de warmte in de Maassluis zand 3,4 formatie na 10 jaar (links) en 30 jaar (rechts).

5.2.2 Formatie van Oosterhout

Voor de Formatie van Oosterhout zijn enkel simulaties uitgevoerd gedurende 10 jaar.



Figuur 5-2 Thermische verspreiding van de warmte in de Oosterhout zand 2 formatie na 10 jaar



Figuur 5-3 Verspreiding van de warmte weergegeven d.m.v. verschillende temperatuur contouren voor 50 jaar. Boven: verticale verspreiding, onder: horizontale (radiale) verspreiding.

6 Juridische aspecten en omgevingscan

6.1 Wettelijk kader

Het wettelijke kader voor HTO tot 500 m-mv is vastgelegd in de Waterwet en het Wijzigingsbesluit Bodemenergie (AMvB Bodemenergie uit 2013). Vanaf 500 m-mv is de Mijnbouwwet van toepassing. In principe beperkt deze verkenning zich tot een diepte van 500 m-mv en daarom is hier de wet- en regelgeving in relatie tot de Waterwet weergegeven.

Waterwet en bevoegd gezag

WKO en HTO vallen onder de term 'open bodemenergiesystemen': systemen waarbij koude of warmte aan de bodem wordt onttrokken en waarbij grondwater wordt verplaatst. Het onttrekken en infiltreren van grondwater ten behoeve van een bodemenergiesysteem is vergunningplichtig in het kader van de Waterwet. Gedeputeerde staten van de provincie zijn hiervoor bevoegd gezag (artikel 6.4 van de Waterwet).

Wijzigingsbesluit Bodemenergie

Het Wijzigingsbesluit Bodemenergiesystemen (AMvB Bodemenergie) is sinds 1 juli 2013 van kracht. In artikel 6.11 van dit besluit wordt geregeld dat de infiltratietemperatuur bij open systemen maximaal 25 °C mag zijn en dat er geen lange termijn warmteoverschot mag zijn. Voor beide voorwaarden zijn uitzonderingen mogelijk indien het belang van de bescherming van de bodem zich daartegen niet verzet. Op basis daarvan kan HTO onder voorwaarden worden toegestaan. Hoe die afweging gemaakt moet worden is verder in de AMvB niet beschreven. Bij elke vergunningaanvraag HTO zal dit specifiek door gedeputeerde staten (GS) van de provincie, waarin de locatie zich bevindt, gemaakt moeten worden.

Richtlijnen voor vergunningverlening: de BUM

Om de provincies te helpen bij de vergunningverlening rond open bodemsystemen is een zogenaamde BUM (Besluitvorming Uitvoerings Methode) ontwikkeld (SIKB, 2015). Hierin zijn standaardvoorschriften opgesteld voor open bodemenergiesystemen met een infiltratietemperatuur tot 25 °C en een energiebalans in de ondergrond ('gangbare' WKO-systemen). Daarmee heeft de BUM de uniformiteit van beoordeling en vergunningverlening van vergunningaanvragen voor open bodemenergiesystemen door provincies bevordert. HTO voldoet niet aan deze standaardvoorschriften die zijn opgesteld in de BUM, vanwege de infiltratietemperatuur (>25°C) en het warmteoverschot in de bodem. De BUM geeft als richtlijn dat af kan worden geweken van de standaardvoorschriften mits het gaat om onderzoeksprojecten, en vermeldt expliciet dat HTO hier voorlopig ook onder valt. Bij het aanhouden van de BUM als richtlijn voor vergunningverlening wordt HTO dus vergund mits het een onderzoeksproject betreft en er geen andere belangen worden geschaad.

6.2 Vergunningprocedure HTO in Tilburg

Voor een HTO in Tilburg dient een vergunning Waterwet aangevraagd te worden. Hiervoor dienen de effecten van het bodemenergiesysteem in een effectenstudie te worden gekwantificeerd. Het bevoegd gezag voor deze vergunning is de provincie Noord-Brabant. Gedeputeerde Staten van de provincie Noord-Brabant hebben de beoordeling van de Waterwet neergelegd bij de Omgevingsdienst Zuid-Oost Brabant (ODZOB). De proceduretijd voor het aanvragen van de vergunning Waterwet bedraagt circa 8

weken. In het geval van complexe omgevingsbelangen kan de provincie hiervan afwijken en de uitgebreide procedure (6 maanden) van toepassing verklaren.

De ODZOB toetst de aanvraag aan het wettelijk kader, aan de optredende effecten op de omgeving, en aan het provinciaal beleid.

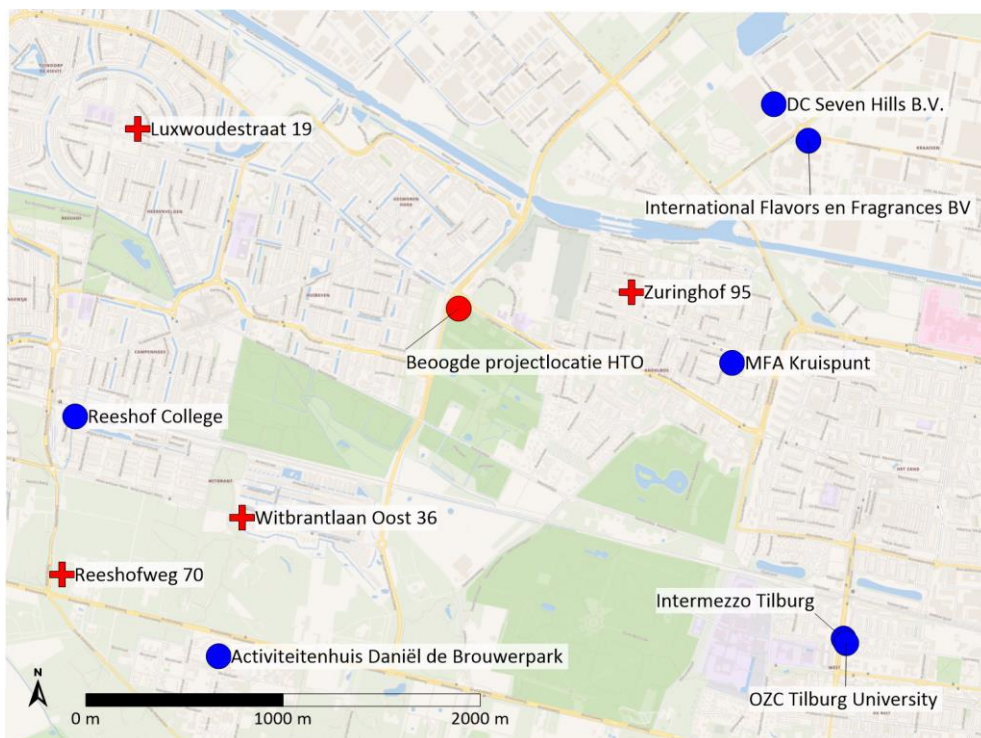
6.3 Omgevingscan

Stakeholderanalyse ondergrond

In de vergunningsprocedure zal het bevoegd gezag de noodzaak van HTO afwegen tegen de optredende effecten op de omgeving. Daarom is het belangrijk om een beeld te hebben van de stakeholders nabij de projectlocatie. Er is daartoe een stakeholderanalyse uitgevoerd om te zien welke belangen er zich in de ondergrond bevinden.

De beoogde HTO locatie ligt buiten de grondwaterbeschermingsgebieden (i.e. grondwaterbeschermingsgebied, boringsvrijzone, 100-jaarszone, waterwingebied drinkwater, Natura2000). Op ruim 2,5 km van de beoogde locatie is een waterwingebied aanwezig ('stroomopwaarts' van de grondwaterstromingsrichting). De boringsvrije zone om dat waterwingebied reikt tot circa 1 km ten zuiden van de beoogde locatie.

Er is een overzicht aangevraagd bij het bevoegd gezag (ODZOB) met de bestaande en aangevraagde open en gesloten bodemenergiesystemen nabij de beoogde locatie. Deze zijn weergegeven in onderstaande figuur. Voor dit project ligt de precieze bronlocatie nog niet vast, maar vermoedelijk wordt de HTO op of nabij de aangegeven beoogde locatie geplaatst (zie midden van kaart). Het meest nabijgelegen omgevingsbelang (het gesloten BES op Zuringhof 95) ligt op 900 m ten oosten van de projectlocatie. Het betreffen bodemlussen tot een einddiepte van 115 m-mv. Vanwege de afstand en de dieptes van de andere toepassingen in de ondergrond, wordt geen negatieve invloed verwacht van de HTO op deze stakeholders.



Figuur 6-1 Overzichtskartaal met bronlocaties nabijgelegen stakeholders van de ondergrond.

Scan bovengrond

Technisch en financieel gezien heeft het de voorkeur dat de HTO dichtbij een verdeelstation ligt. Er is hoge temperatuur beschikbaar om op te slaan en warmte kan op een relatief lage temperatuur geleverd worden. Ennatuurlijk heeft zelf aangegeven dat er rondom het verdeelstation redelijk veel ruimte is voor het inpassen van de bronnen en dat deze locatie wat hen betreft dus een goede optie lijkt. De ruimte die uiteindelijk nodig is om de bronnen in te passen hangt af van de omvang en bronconfiguratie. Bij een doublet liggen de bronnen al snel 150 - 300 meter uit elkaar. In Figuur 6-2 is ingezoomd om de locatie van het verdeelstation. Naar het zuiden toe is er een brede groenstrook die mogelijk in aanmerking voor het plaatsen van bronnen. De lengte van deze groenstrook is circa 400 meter. Ten oosten van deze groenstrook ligt wandelbos zuid, met ook de nodige open stroken grasland. Ook hier liggen, technisch gezien, mogelijkheden voor het plaatsen van bronnen.



Figuur 6-2: omgeving nabij het verdeelstation.

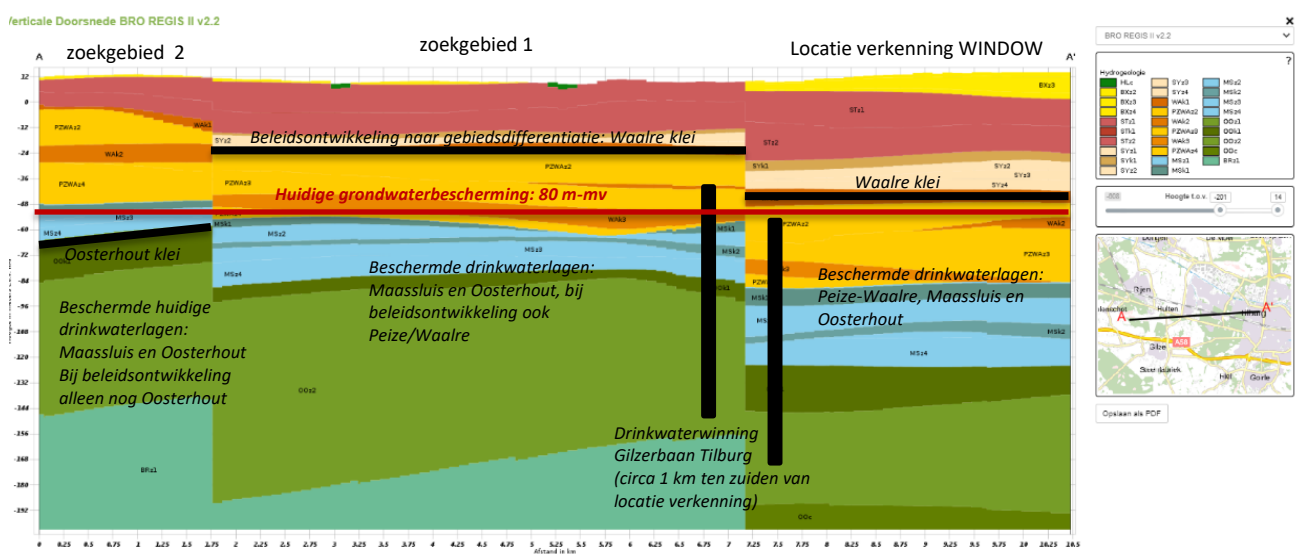
6.4 Provinciaal beleid

Huidig beleid open bodemenergiesystemen in Provincie Noord-Brabant

In de Provincie Noord-Brabant geldt op dit moment het algemene beleid dat er dieper dan 80 m-mv (m beneden maaiveld) géén vergunningen voor bodemenergiesystemen worden verleend. Dit geldt voor heel Noord-Brabant, en staat beschreven in de Beleidsregel grondwaterbeheer Noord-Brabant (laatste versie geldig sinds 09 april 2020). In Noord-Brabant ligt de zoet-zoutgrens relatief diep: 200 m-mv in het westen tot ca. 600 m-mv in het zuidoosten van de provincie. Daarmee is er een aanzienlijke hoeveelheid zoet water aanwezig in de provincie. Als beleid geldt dus voor heel Noord-Brabant dieper dan 80 m-mv een beleidsrestrictie op open bodemenergiesystemen.

Beleidsontwikkeling naar gebiedsdifferentiatie

De Provincie Noord-Brabant is bezig met verdere beleidsontwikkeling, waarbij gebiedsdifferentiatie wordt toegepast. Per 1 januari 2022 wordt een nieuwe omgevingsverordening ingevoerd, tegelijkertijd met de omgevingswet. In de nieuwe verordening zal de 'harde' 80 m-mv grens aangepast worden zodat deze aansluit bij de regionale diepte van de scheidende laag. In onderstaande figuur staat weergegeven, hoe deze beleidsontwikkeling voor de regio Tilburg mogelijk zal uitwerken. Hieruit blijkt dat de beleidsontwikkeling ter plaatse van Tilburg meer restricties zal gaan opleveren voor toepassing van HTO. Ten westen van de Gilze-Rijen breuk, op enkele km afstand ten westen van Tilburg ('zoekgebied 2', zijn wellicht meer mogelijkheden).



Figuur 6-3 Bodemopbouw op basis van dwarsdoorsnede Dinoloket van de omgeving Tilburg, met daarin weergegeven het huidige grondwaterbeschermingsbeleid en de beleidsontwikkeling naar gebiedsdifferentiatie. (<https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>),

Kleuren van meest relevante bodemlagen:

- Formatie van Peize/Waalre – oranje
- Formatie van Maassluis – blauw
- Formatie van Oosterhout - groen

Toelichting mogelijkheden voor HTO binnen het huidige beleid en volgens beleidsontwikkelingen in de verschillende gebieden:

- Locatie verkenning WINDOW (Reeshof Zuid): Bescherming vanaf de Waalreklei. De formaties van Peize/Waalre, Maassluis en Oosterhout, die qua bodemsamenstelling geschikt zouden zijn voor warmteopslag, zijn in huidig en voorgenomen beleid beschermde drinkwaterlagen.
- Zoekgebied 1 (Westkant Tilburg): In het huidige beschermingsbeleid zijn de formaties van Maassluis en Oosterhout, die qua bodemsamenstelling geschikt zijn voor warmteopslag, beschermde drinkwaterlagen. Bij toewerken naar gebiedsgedifferentieerd beleid zou ook Peize/Waalre in dit gebied een beschermde drinkwaterlaag worden.
- Zoekgebied 2 (Circa 5 km ten westen van Reeshof-Zuid, ten westen van de Gilze-Rijen breuklijn): In het huidige beschermingsbeleid zijn de formaties van Maassluis en Oosterhout, die qua bodemsamenstelling geschikt zijn voor warmteopslag, beschermde drinkwaterlagen. Bij toewerken naar gebiedsgedifferentieerd beleid zou de formatie van Maassluis in dit gebied géén beschermde drinkwaterlaag meer zijn, de formatie van Oosterhout wel. Dit biedt kansen voor toepassing van HTO in de formatie van Maassluis in dit gebied.

Afwijken van beleid

Voor Tilburg wordt gekeken naar HTO in de formatie van Maassluis of Oosterhout. Een HTO is een open bodemenergiesysteem en het plaatsen van een HTO in de formatie van Maassluis/Oosterhout is niet in lijn met het provinciale beleid. Voor het afwijken van vastgelegd beleid dient het initiatief (de HTO) beoordeeld te worden door Gedeputeerde Staten (GS) van de provincie. In de praktijk dient de initiatiefnemer (toekomstig vergunninghouder/operator van de HTO) een initiatief (HTO) in bij de Omgevingsdienst Zuid-Oost Brabant (ODZOB), die namens GS beleid m.b.t. bodemenergie in Tilburg uitvoert. ODZOB heeft periodiek overleg met GS in het 'Beleidsoverleg'. Hierin kan ODZOB (samen met beleidsmedewerkers van de provincie Noord-Brabant) het initiatief voorleggen aan de GS, die daar vervolgens wel of geen medewerking aan kan verlenen. Wanneer medewerking wordt verleend, wordt het initiatief nader uitgewerkt en onderzocht. GS zal aan het eind van dit proces een besluit nemen of er een uitzondering van toepassing is op het initiatief. GS kan afwijken van het beleid om twee redenen:

1. Het maatschappelijk belang voor het uitvoeren van het initiatief is groter dan het verbieden ervan.
2. Het initiatief is van dusdanige aard dat er geen (concreet) beleid voor is.

6.5 Conclusie juridische haalbaarheid

Op de locatie is de strijdigheid met het drink- en grondwaterbeschermingsbeleid een belangrijke belemmering. Het is onwaarschijnlijk dat de Provincie hier een ontheffing zal verlenen, en zal afwijken van het beleid. De provincie Noord-Brabant is bezig met voorbereiding van nieuw beleid, waarin het drink- en grondwaterbeschermingsbeleid voor Tilburg verder wordt aangescherpt.

Het inpassen van ondergrondse warmteopslag op de locatie Reeshof-Zuid en verder in Tilburg gaan tegen de huidige beleidsontwikkeling in. Aan een eventuele ontheffing zal een beleidsdiscussie vooraf moeten gaan, met een beschouwing van zwaarwegende redenen (voor de verduurzaming van / verbeteren van de balans in het Amernet) en onderbouwing dat er geen echt geschikte alternatieven zijn voor (ondergrondse) warmteopslag in dit deel van het Amernet (alternatieve locaties, dieptes of alternatieve technieken).

Concluderend: de nu gekozen locatie Reeshof-Zuid blijkt in het haalbaarheidsonderzoek niet verenigbaar te zijn met het grondwaterbeschermingsbeleid van de Provincie Noord Brabant. Ontheffing voor HTO in dit deel van de ondergrond (Reeshof Zuid) is onwaarschijnlijk en vergt een beleidsdiscussie met beschouwing van zwaarwegende redenen voor de Amerwarmtenet ontwikkeling.

7 Risico-inventarisatie en plan van aanpak vervolgstappen

7.1 Introductie

De belangrijkste risico's gerelateerd aan HTO projecten zijn geïdentificeerd op basis van projecten in het verleden (bijv. TNO, 2016; TNO & IF Technology, 2016, 2019) en op basis van studies zoals het WINDOW project. De indeling en beschrijving van de risico's zijn grotendeels gebaseerd op TNO & IF Technology (2019). In het algemeen zijn de geïdentificeerde risico's generiek voor elk HTO project, maar de specifieke risico's kunnen wel meer of minder relevant zijn voor de individuele projecten. Er is daarom gekozen voor een algemeen overzicht van de geïdentificeerde risico's, dat gelijk is in alle verkenningen, gevolgd door een locatie-specifiek overzicht waarin voor elk van de individuele verkenningen de relevantie is aangegeven. Voor die risico's die relevant worden geacht wordt per locatie een toelichting gegeven.

Risico's zijn onder te verdelen in:

- Risico's voor de business case (commercieel/economisch)
- Juridische haalbaarheid en draagvlak
- Technische en geohydrologische risico's
- Milieu- en veiligheidsrisico's
- Organisatorische risico's (inclusief commitment stakeholder)

Deze worden per categorie verder toegelicht in bijlage 5.

7.2 Inschatting relevantie van de projectrisico's

Een inschatting van de belangrijkste projectrisico's is weergegeven in Tabel 7-1. Hieruit komt naar voren welke risico's als belangrijkste projectrisico's worden gezien. De kans en het gevolg van projectspecifieke risico's zijn relatief ten opzichte van de andere uitgevoerde verkenningen bepaald. Hieruit komt naar voren welke risico's als belangrijkste projectrisico's worden gezien.

Door het stopzetten van de uitwerking van deze verkenning zijn niet bij alle risico's de kansen en gevolgen bepaald.

Voor de projectrisico's kunnen één of meer beheersmaatregelen worden vastgesteld en zijn daardoor lager ingeschaald. Het reduceren van projectrisico's zal het meest effectief zijn door een dialoog op te zetten met bevoegd gezag en belanghebbenden om het vergunning traject succesvol te laten verlopen, het laten uitvoeren van een proefboring en het opstellen van een robuuste strategie voor de operationele inpassing van de HTO. Naast het betrekken van het bevoegd gezag (de Provincie) kan het van belang zijn om ook andere belanghebbende partijen (zoals bijv. waterbedrijven) in het vervolgetraject te betrekken.

Tabel 7-1: Overzicht projectrisico's. Door het stopzetten van de uitwerking van de verkenning zijn niet bij alle risico's de kansen en gevolgen bepaald.

	Algemene risico omschrijving			Locatie specifieke beoordeling (relatief t.o.v. andere verkenningen)		
Nr.	Risico	Gevolg	Beheersmaatregel	Kans	Gevolg	Opmerkingen
Business case (commercieel/economisch)						
	Hogere investeringskosten door marktdruk boorbedrijven	Overschrijding CAPEX	Aanbesteding tijdens crisis Voldoende ruimte inbouwen in planning om te kunnen boren op gunstig moment.	Klein	Niet bepaald	Kans hang af van de diepte van de bronnen. Hoe dieper de bronnen, hoe minder partijen in de markt in staat zijn dit technisch te boren. Gevolg op CAPEX van de bronnen.
	Hogere investeringskosten of operationele kosten vanwege onvoldoende bewezen techniek	Hogere CAPEX/OPEX	Zoveel mogelijk aanhaken bij onderzoeksprojecten waarbij subsidie/leergeld beschikbaar is.	Groot	Niet bepaald	Met name risico hoger uitvallen opex door beperkte ervaring HTO. Door project Wieringermeer capex al beter inzichtelijk. Hoe hoger de opslagtemperatuur, hoe hoger de kans is ingeschat.
	Aanbodzijde duurzame energie blijft achter op verwachting of wordt niet gerealiseerd.	In toekomst onvoldoende duurzame warmte beschikbaar om te laden.	Tijdig inzetten op verschillende duurzame bronnen in aanbodportfolio	Klein	Niet bepaald	Kans bepaald op basis van huidige aanbod en gewenste aanbod in eindsituatie. Gevolg afhankelijk van opslagvolume Kleiner opslagvolumes reageren gevoeliger dan grotere opslagvolumes.
	Warmteafzet/ontwikkeling warmtenet blijft achter/zachte winters	Lagere opbrengsten dan verwacht.	- Robuuste operationele strategie voor verschillende stookseizoenen opstellen. - Gefaseerd aanleggen bronnen - Monitoren performance HTO	Klein	Niet bepaald	Kans bepaald op basis van huidige vraag en gewenste vraag in eindsituatie. Gevolg afhankelijk van opslagvolume Kleiner opslagvolumes reageren gevoeliger dan grotere opslagvolumes.
	Warmteverlies in de ondergrond groter dan verwacht, opslagrendement lager dan verwacht.	Lager vermogen en temperatuurniveau aan het einde van het stookseizoen. Lagere inkomsten en/of hogere operationele kosten.	Proefboring om met grotere zekerheid de opbouw en eigenschappen van de ondergrond te bepalen.	Niet bepaald	Niet bepaald	

		Grotere thermische effecten (en daaraan gekoppelde effecten op de grondwaterkwaliteit).	Optimalisatie van het ontwerp om het opslagrendement te maximaliseren (b.v. verlagen afkaptemperatuur of aanpassen putconfiguratie). Putafwerking met isolerend materiaal en/of dikkere omstorting.			
	Te hoge retourtemperatuur	Bijdrage directe warmtelevering kleiner, lagere inkomsten	Afnemers stimuleren tot lagere retourtemperaturen Voldoende aandacht bij ontwerp/uitrol warmtenet Duurdere warmtepomp installeren. Hogere temperatuur lauwe bron toelaten	Gemiddeld	Groot	Retourtemperatuur van 40 °C is gehanteerd voor het ontladen van de HTO.
	Bij toepassing warmtepomp: Aanvoertemperatuur hoger dan beoogd	Slechtere COP warmtepomp of naverwarming noodzakelijk vanuit backbone of piekvoorziening. Hogere operationele kosten.	Voldoende aandacht bij ontwerp/uitrol warmtenet. Duurdere warmtepomp installeren.	Klein	Gemiddeld	HTO wordt geladen vanuit de backbone (90° C) en levert aan het distributienet (75° C)
Juridische haalbaarheid en draagvlak						
	HTO niet vergunbaar (in het kader van de Waterwet)	Vergunning wordt niet verleend.	- Vroegtijdig betrekken en informeren van het bevoegd gezag	Groot	Generiek groot	Warmteopslag op de beoogde locatie en dieptes gaat in tegen bestaand beleid voor grondwaterbescherming. Afwijken van dit beleid vraagt om een uitgebreid traject waarin het bevoegd gezag en diverse stakeholders moeten worden betrokken. Daarmee werkt de vergunbaarheid als een

						showstopper binnen het WINDOW onderzoeksproject.
	Maatschappelijk draagvlak ontbreekt	Vergunning wordt niet (tijdig) verleend	- Voldoende tijdige communicatie richting stakeholders	Gemiddeld	Gemiddeld	Kans is locatie-afhankelijk en wordt mede bepaald door stedelijkheid omgeving en afstand tot drinkwaterproductiegebieden. Gevolg voor alle verkenningen gelijk aan algemeen gevolg.
Technisch en geohydrologisch						
	Onzekere ondergrond (<i>risico dat de ondergrond dusdanig afwijkt van de verwachting, zodat dit negatief uitpakt voor de businesscase</i>)	Debiet per bron lager, lagere opbrengst met negatief effect op businesscase. Overschrijding CAPEX en OPEX	- Proefboring - Aanpassen ontwerp: Aantal bronnen vergroten om vermogen te verhogen (grote invloed op investeringen) Bij geringe dikte opslagpakket, opslag in meerdere lagen, indien mogelijk (voorbeeld concept ECW)	Laag-gemiddeld	Gemiddeld	Bodemopbouw ondiepe lagen biedt mogelijkheden voor de toepassing van HTO (Fm. van Waalre, Maassluis en evt. Oosterhout). Over de dieper gelegen pakketten in dit gebied (Brussels zand en Vessem laagpakket) is nog veel onzekerheid m.b.t. dikte, diepte, kh-waarde.
	Lekkage door breuken (<i>risico op aanwezigheid breuk die vooraf niet geïdentificeerd is</i>)	Lekkage van diep grondwater naar ondiepere aquifers of oppervlak (crossflow)	- Goede lokale karakterisatie van het breuksysteem (locatie en de doorlaatbaarheid van de breuken) - Voldoende afstand houden tot de breuken; de invloedssfeer van de warmtebel moet buiten de breukzone blijven	Gemiddeld (<i>afhankelijk van exacte locatie HTO</i>)	Groot	M.b.t. de drinkwaterbescherming in dit gebied is het belangrijk het risico van lekkage naar bovenliggende lagen zo veel mogelijk te beperken, gevolg van lekkage/het niet geïdentificeerd hebben van een breuk zijn groot in dit gebied. Kleinere breuken zijn mogelijk niet identificeerbaar maar wel aanwezig, omdat er sprake is van een breuk systeem.
	Seismische risico's (<i>risico geïnduceerde seismiciteit door toepassing HTO</i>)	- Draagvlak kwijt - Volledige stillegging operaties	- Goede lokale karakterisatie van het breuksysteem (locatie en doorlaatbaarheid van de breuken) - Veel afstand houden tot breuken	Klein (<i>afhankelijk van exacte</i>)	Groot	Afhankelijk van de uiteindelijke locatie van de HTO. Voldoende afstand van breuken houden. Ook natuurlijke seismische activiteit kan gerelateerd worden aan de operaties,

			- Goede seismische risicoanalyse laten uitvoeren	<i>locatie HTO)</i>		omdat het soms lastig is om geïnduceerde en natuurlijke seismische activiteit van elkaar te onderscheiden. Kleinere breuken zijn mogelijk niet identificeerbaar maar wel aanwezig, omdat er sprake is van een breuk systeem.
	Verstopping van warmtewisselaar en bronnen door scaling	- Daling vermogen door lager debiet en slechtere warmteoverdracht. - hogere operationele kosten	- Proefboring om geo-chemische eigenschappen van grondwater en doelpakket te analyseren en ontwerp daarop afstemmen (materialen en waterbehandeling) - Gebruik waterbehandeling aanpassen - Systeem reinigen gedurende operatie	Gemiddeld	Gemiddeld	De locatie-specifieke geochemische eigenschappen zijn in dit stadium nog niet goed genoeg in te schatten doordat er onvoldoende grondwaterkwaliteit/bodem data beschikbaar is. De proefboring biedt de mogelijkheid voor evaluatie van dit risico.
	Bij toepassing warmtepomp: Storing(en) hoge temperatuur warmtepomp	- Hoger stroomverbruik - Hogere kosten onderhoud - Gewenste temperatuur wordt niet gehaald	- Ontwerpen op zo laag mogelijke temperatuur -	n.v.t.	n.v.t.	Voorkeursvariant zonder warmtepomp
Milieu en veiligheid						
	Onvoorziene impact op andere belangen	Vergunning wordt ingetrokken tijdens looptijd	-Zorgvuldige effectbeoordeling in ontwerpfase - Proefboring voor zekerheid bodemopbouw	Gemiddeld	Groot	Kans wordt bepaald door aanwezige omgevingsbelangen in ondergrond, waarbij drinkwaterbelangen hier het hoogste belang heeft. Gevolg is aanzienlijk omdat de beoogde opslagpakketten zijn aangewezen als grondwaterbeschermingsgebieden. Effecten zijn bekend vanuit ervaring WKO, maar er heersen nog onzekerheden over

						grondwaterkwaliteits-effecten die komen kijken bij opslag met hoge temperatuur.
	Verstoring bodemmilieu en integriteit in opslagpakket	Productie, mobilisatie en verspreiding verontreinigingen	Monitoringsprogramma	Gemiddeld	Gemiddeld - groot	In opslagpakket zal microbiologie en chemie aanzienlijk beïnvloed worden door HTO, maar effect zal vooral optreden in de bel van het geïnjecteerde water. Grondwater dat uit deze bel "ontsnapt" door natuurlijke stroming zal weer meer op de natuurlijke situatie lijken door redoxprocessen, neerslag van sulfide. Uitzondering is het effect van de dosering van HCl, wat zal leiden tot een hogere chlorideconcentratie en lokaal een lagere pH. Vermoedelijk is verhoging van de chlorideconcentratie aanzienlijk ten opzichte van de natuurlijke chlorideconcentratie, maar dit dient verder gekwantificeerd te worden in fase 2.
	Verstoring bodemmilieu en integriteit in bovenliggende pakketten	Mogelijke operationele consequenties: verlagen debiet, verlagen temperatuur	Risicomanagement Systeem Monitoringsprogramma BRL gecertificeerde partijen	Klein	Groot	Kans ingeschat op basis van diepte boringen en aantal putten. Een gedegen en robuust ontwerp put en monitoringsstrategie zodat de kans op lekkage klein is en snel wordt gedetecteerd tijdens of voor optreden verkleint de kans. Gevolg is fors door operationele consequenties; maar is kleiner bij systemen met meerdere hete putten.
Organisatorisch / commitment stakeholder						

	Onvoldoende vertrouwen en/of commitment	- Stop zetten project	- Regelmatig BuCa updaten en bespreken - Voldoende aandacht voor zo optimaal mogelijke inpassing - Duidelijke afspraken maken (zwart op wit) met betrokken partijen	Klein	Groot	Kans ingeschat op basis van gevoerde gesprekken met relevante consortiumleden.
	Inpassing ruimtebeslag lastig door grote aantal bronnen	- Vertraging bij vindengeschikte bronlocaties, mogelijk verder weg. Tijdvertraging en kostenverhogend. - Geen geschikte locatie kunnen vinden. Stop zetten project.	- Aantal bronnen minimaliseren door goed ruimte verhogen NVOE-normen te onderzoeken. - Tijdig grondpositie nemen of in overleg gaan met grondeigenaren/gemeente	Niet bepaald	Niet bepaald	Ingeschat op basis van benodigd aantal bronnen in relatie tot stedelijkheid. Relatief t.o.v. ander verkenningen.

7.3 Vervolgstappen voor warmteopslag in het Amernet

Zoals beschreven in hoofdstuk 1, is voor de locatie Tilburg de 'Werkgroep verkennen haalbaarheid HTO' ingesteld. In deze werkgroep is verder afgestemd over de mogelijkheden voor een vervolgonderzoek voor HTO in het Amernet. Dit heeft geleid tot een oproep aan de Stuurgroep van het Amernet: de werkgroep roept op tot een Brabant-breed onafhankelijk, integraal vervolgonderzoek naar de (on)mogelijkheden, alternatieven, condities en (strikte) voorwaarden voor HTO in de ondergrond, t.b.v. seizoensbuffering voor warmtenetten. De onderstaande conclusies en aanbeveling zijn ook opgenomen in de notitie van de 'Werkgroep verkennen haalbaarheid HTO' in bijlage 6.

Conclusies en aanbevelingen Werkgroep

1. De nu gekozen locatie Reeshof-Zuid blijkt in het haalbaarheidsonderzoek niet verenigbaar te zijn met het grondwaterbeschermingsbeleid van de Provincie Noord Brabant
2. Ontheffing voor HTO in dit deel van de ondergrond (Reeshof Zuid) is onwaarschijnlijk en vergt een beleidsdiscussie met beschouwing van zwaarwegende redenen voor de Amerwarmtenet ontwikkeling.
3. De mogelijkheden ten westen van de Gilze-Rijenbreuk lijken juridisch-procedureel iets eenvoudiger. Is HTO daar (ondergrond- en omgevings)technisch uitvoerbaar?
4. Onderzoek de haalbaarheid van HTO in geschikte diepere bodemlagen.

Oproep Stuurgroep Amernet tot vervolgonderzoek

Op 23 september 2020 zijn bovenstaande bevindingen besproken in de Stuurgroep Amernet, waarin bestuurders van Provincie Noord Brabant, de Gemeenten Tilburg, Breda, Oosterhout, Drimmelen en Dongen en van Ennatuurlijk en Enexis/Enpuls zitting hebben.

Vanwege het belang van een kritische, integrale afweging voor toekomstige uitdagingen in de energietransitie is door de Stuurgroep geconcludeerd dat HTO voor de verduurzaming van het Amernet te belangrijk is om nu te snel te concluderen dat de huidige (strikte) wet- en regelgeving voor de ondergrond HTO nu lastig of onmogelijk maken op daarvoor potentieel geschikte plaatsen in het (bestaande en toekomstige) warmtesysteem. De stuurgroep spreekt uit de uitdaging op te willen zoeken om integraler naar de opgave te kijken en daarbij te kijken welke (strikte) randvoorwaarden voor het inpassen van HTO kunnen worden overwogen.

De werkgroep HTO heeft vervolgens op 24 september aan de vertegenwoordiger van de Provincie Noord Brabant gevraagd de mogelijkheden voor een vervolgonderzoek als bedoeld door de Stuurgroep Amernet te verkennen en daarin Brabant Water te betrekken. De vervolgens uitgevoerde verkenning leidt tot de volgende aanbeveling.

Aanbeveling vervolgonderzoek HTO in de Brabantse ondergrond in 2021

Doe in 2021 een Brabant-breed onafhankelijk, integraal vervolgonderzoek naar de (on)mogelijkheden, alternatieven, condities en (strikte) voorwaarden voor HTO in de ondergrond, t.b.v. seizoensbuffering voor warmtenetten. Zoek daarbij de synergie met het (juridisch-procedurele deel van het) WINDOW programma. Doel van het onderzoek is: fact finding (door zo integraal mogelijk te kijken) en kennis delen en verbinden. Betrek vertegenwoordigers van alle relevante direct belanghebbenden in een begeleidingsgroep bij dit onderzoek (provincies, gemeenten, warmtebedrijven, Brabant Water, Vereniging Industriewater).

8 Conclusie

De verkenning Tilburg is met name juridisch en technisch/geohydrologisch uitgewerkt.

Conclusie juridische haalbaarheid

De juridische haalbaarheid vormt momenteel de grootste barrière voor de haalbaarheid van deze verkenning, omdat toepassing van open bodemenergiesystemen in de beoogde opslagpakketten in strijd is met bestaand grondwaterbeschermingsbeleid. Om af te wijken van dit beleid moet op het beleidsmatige vlak de discussie gevoerd worden, waarin verschillende ondergrondse belangen tegen elkaar worden afgewogen. Een dergelijke discussie zal tijdrovend zijn, waardoor de planning niet past in het tijdsplan dat beoogd is binnen WINDOW en WarmingUp.

De uitwerking van de verkenning voor ondergrondse warmteopslag in Tilburg is in het kader van het programma verduurzaming Amernet besproken in de 'Werkgroep verkennen haalbaarheid HTO'. Dit heeft geleid tot een oproep aan de Stuurgroep van het Amernet tot een Brabant-breed onafhankelijk, integraal vervolgonderzoek naar de mogelijkheden en (strikte) voorwaarden voor HTO in de ondergrond, t.b.v. seizoensbuffering voor warmtenetten.

Conclusie technische/geohydrologische haalbaarheid

- De ondergrond bij Tilburg biedt mogelijkheden voor toepassing van HTO. De Formatie van Waalre, Maassluis en mogelijk Oosterhout kunnen, afhankelijk van de exacte locatie, geschikt zijn voor warmteopslag. Over diepere formaties (500-800 m NAP) is op het moment grote onzekerheid m.b.t. geometrie en reservoir-eigenschappen, toekomstige resultaten van WarmingUP kunnen hier meer inzicht in geven.
- Door de breuken in het gebied moet bij het plannen van een HTO voldoende afstand worden gehouden van de breuken, voor een zo klein mogelijk risico op lekkage naar bovenliggende pakketten of het oppervlak en geïnduceerde seismiteit. Ook het karakteriseren van het breuksysteem en het uitvoeren van een seismische risicoanalyse zijn belangrijke beheersmaatregelen.
- Technisch gezien liggen er wel goede kansen voor deze verkenning. Punten die hieraan bijdragen zijn:
 - Zowel vraag als warmte-aanbod zijn reeds aanwezig, waardoor na realisatie de HTO direct "op volle kracht" kan draaien.
 - Door de temperatuursprong bij het verdeelstation kan de HTO met een hoge temperatuur (88 °C) geladen worden en kan de warmte op een lage temperatuur (75 °C) geleverd worden. Hierdoor is toepassing van een warmtepomp niet of nauwelijks nodig. Uit andere verkenningen waarbij dit ook het geval is, is duidelijk dat dit de meest economische inpassing is van HTO.
 - De locatie ligt aan het einde van het bestaande transportnet. Plaatsing van de HTO hier geeft mogelijkheden voor verdere groei van het bestaande warmtenet.

Referenties

Fleuchaus, P., Schüppler, S., Bloemendal, M., Guglielmetti, L., Opel, O., & Blum, P. (2020). Risk analysis of High-Temperature Aquifer Thermal Energy Storage (HT-ATES). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110153.

TNO, IF Technology, 2019. Haalbaarheidsstudie ondergrondse hoge temperatuur opslag (HTO) voor tuinbouwgebied NEXTgarden

TNO, 2016. Feasibility study of a High Temperature Aquifer Thermal Energy Storage at AVR Duiven. Utrecht.

TNO, IF Technology, 2016. Analyse effecten van Hoge Temperatuur Opslag op voorraad zoet grondwater. Utrecht

Harbough, A. W., Banta, E. R., Hill, M. C., & McDonald, M. G. (2000). Modflow-2000, the U.S. Geological Survey modular groundwater model - User guide to modularization concepts and the Groundwater Flow Process. (Open-File Report 00-92).

Langevin, C. (2009). SEAWAT: A Computer Program for Simulation of Variable-Density Groundwater Flow and Multi-Species Solute and Heat Transport (2009-3047).

Langevin, C. D. (2008). Modeling Axisymmetric Flow and Transport. *Ground water*, 46(4), 579-590. doi:10.1111/j.1745-6584.2008.00445.x

Sharqawy, M. H., Lienhard, J. H., & Zubair, S. M. (2012). Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data. *Desalination and Water Treatment*, 16(1-3), 354-380. doi:10.5004/dwt.2010.1079

van Lopik, J. H., Hartog, N., & Zaadnoordijk, W. J. (2016). The use of salinity contrast for density difference compensation to improve the thermal recovery efficiency in high-temperature aquifer thermal energy storage systems. *Hydrogeology Journal*, 24(5), 1255-1271. doi:10.1007/s10040-016-1366-2

Zheng, C., & Wang, P. (1999). MT3DMS v5.3. A modular three-dimensional multispecies transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems. Documentation and User's Guide.

Bijlagen

Bijlage I. Ontwerpnorm bronnen

NVOE norm WKO

De bronnen voor het warmteopslag systeem worden ontworpen aan de hand van de geldende NVOE normen, ontworpen voor WKO systemen. De onttrekkingsnorm of de infiltratienorm zijn, afhankelijk van de geldende situatie, de limiterende factor voor het debiet dat kan worden gehaald.

Onttrekkingsnorm

De onttrekkingsnorm is bedoeld om zandlevering te voorkomen. Hieruit volgt een maximale Darcy snelheid in de aquifer. Voor WKO-bronnen wordt een minder conservatieve onttrekkingsnorm gehanteerd dan voor winputten ten behoeve van drinkwater. Bij de NVOE-onttrekkingsnorm (2006) hangt de maximale Darcy snelheid in de formatie af van de doorlatendheid:

$$v_b = \frac{K}{12} \quad (I.1)$$

Waarin v_b de ontwerpsnelheid op de boorgatwand is (in m/uur) en K de gemiddelde doorlatendheid in m/d. Deze formule laat een veel hogere snelheid op de boorgatwand toe dan de conservatieve formule van Huisman die wordt gebruikt voor conventionele winputten ten behoeve van grondwateronttrekking. Met name in grovere zandpakketten met een doorlatendheid K van meer dan 40 m/d kan er significant meer onttrokken worden met deze infiltratienorm.

infiltratienorm

De infiltratienorm is bedoeld om de verstopping van de infiltratieput te beperken. Hieruit volgt de maximaal toelaatbare Darcy snelheid op de boorgatwand en daarmee ook het maximale debiet bij infiltratie. De maximaal toelaatbare Darcy snelheid op de boorgatwand bij infiltratie (NVOE, 2006) is niet alleen afhankelijk van de doorlatendheid (k-waarde), maar ook van de mate waarin het infiltratiewater een verstoppende werking heeft (uitgedrukt in de MFI-waarde), de hoeveelheid grondwater die geïnfiltrerd wordt (uitgedrukt in het aantal equivalente vollasturen) en hoe snel de bron mag verstopen (uitgedrukt in de specifieke verstoppingsnelheid).

$$v_{max} = 1000 \left(\frac{k}{150} \right)^{0,6} \cdot \sqrt{\frac{v_v}{2 \cdot MFI \cdot U_{eq}}} \quad (I.2)$$

v_{max}	=	ontwerpsnelheid op de boorgatwand bij infiltratie [m/uur]
k	=	doorlatendheid van het watervoerende pakket [m/d]
v_v	=	specifieke verstoppingsnelheid [m/jaar]
MFI	=	MFI [s/l^2]
U_{eq}	=	aantal equivalente vollasturen per jaar [uur]

De afleiding van deze ontwerpnorm is beschreven in IF Technology (2001). Als geen MFI bekend is kan voor energieopslag (waarbij grondwater wordt geïnfiltrerd, en geen oppervlaktewater) uitgegaan worden van een MFI van 2. In de meeste gevallen is de MFI van grondwater dat onttrokken wordt aan goed schoon gepompte bronnen lager dan 2. Incidenteel worden hogere MFI-waarden gemeten (3 tot 4). In dat geval zou iets vaker onderhoud plaats moeten vinden.

Voorgesteld wordt om als standaard toegelaten verstoppingsnelheid een waarde van 0,1 m/jaar aan te nemen. Indien gewenst kunnen hogere of lagere verstoppingsnelheden worden aangehouden, dit vertaalt zich dan in een infiltratiebron met een kleinere respectievelijk grotere diameter (als wordt uitgegaan van hetzelfde debiet en dezelfde filterlengte).

De NVOE normen kunnen worden beschouwd als een conservatieve manier om het debiet per meter filterlengte uit te rekenen. In eerste instantie worden deze normen gehanteerd om het aantal bronnen te bepalen. Deze conservatieve methode resulteert voor een warmteopslag vaak tot een groot aantal bronnen, wat leidt tot hoge investeringskosten. Echter, er zijn verschillende aanwijzingen die erop duiden dat deze normen bij opslag met hogere temperaturen verhoogd kunnen worden.

Kans voor ruimere normen

1. Hogere hydrologische conductiviteit

Voor hoge temperatuuropslag is het van belang, dat de doorlatendheid van de aquifer geen constante waarde heeft, maar afhankelijk is van de temperatuur. Dat komt doordat de doorlatendheid niet allen wordt bepaald door de eigenschappen van het poreuze medium (de intrinsieke permeabiliteit), maar ook door de eigenschappen van de vloeistof. De eigenschappen van de vloeistof (dichtheid en viscositeit) zijn afhankelijk van de temperatuur (en in geringe mate ook van het zoutgehalte en de druk).

$$k = \frac{\rho_f \cdot g}{\mu} \cdot K_i \quad (1.3)$$

k =	doorlatendheid [m/s]
ρ_f =	dichtheid van de vloeistof [kg/m ³]
g =	de valversnelling [9,8 m/s ²]
μ =	dynamische viscositeit van de vloeistof [Pa*s]
K_i =	de intrinsieke permeabiliteit [m ²]

Bij hoge temperatuuropslagssystemen hebben het zoutgehalte en de druk geen grote invloed op de viscositeit en dichtheid. De viscositeit van water neemt echter sterk af bij hogere temperaturen. Bij het dimensioneren van bronnen voor hoge temperatuur opslag is het dus noodzakelijk om rekening te houden met de invloed van de temperatuur op de doorlatendheid. De doorlatendheid in de reeds bestaande normen dient hiertoe vervangen te worden door de intrinsieke permeabiliteit. Verder dient de dichtheid en de viscositeit van het water bij de temperatuur van het onttrokken en geïnfiltreerde te worden meegenomen. Zowel voor de onttrekkingsnorm als de infiltratienorm zal de ontwerpsnelheid bij een hogere temperatuur hoger zijn.

Als de invloed van de temperatuur op de doorlatendheid meegenomen wordt, ziet de onttrekkingsnorm er als volgt uit (IF Technology, 2012):

$$v_b = 7200 * \frac{\rho_f \cdot g}{\mu} \cdot K_i \quad (1.4)$$

v_b = ontwerpsnelheid op de boorgatwand bij onttrekking [m/uur]

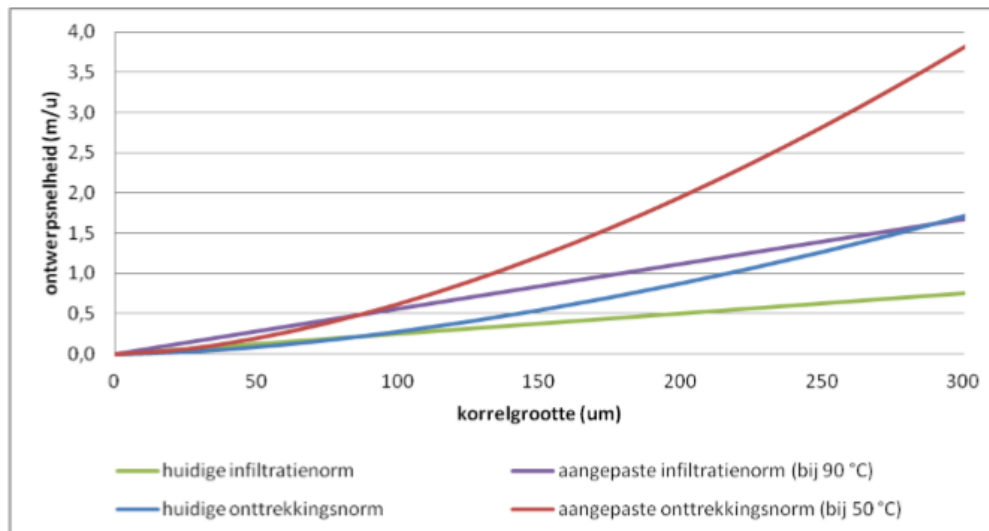
Als de invloed van de temperatuur op de doorlatendheid meegenomen wordt, ziet de infiltratienorm er als volgt uit (IF Technology, 2012):

$$v_{max} = 1000 \left(576 * \frac{\rho_f \cdot g}{\mu} \cdot K_i \right)^{0,6} \cdot \sqrt{\frac{v_v}{2 \cdot MFI \cdot U_{eq}}} \quad (1.5)$$

- v_{max} = ontwerpnelheid op de boorgatwand bij infiltratie [m/uur]
- ρ_f = dichtheid van de vloeistof [kg/m³]
- g = de valversnelling [9,8 m/s²]
- μ = dynamische viscositeit van de vloeistof [Pa*s]
- K_i = de intrinsieke permeabiliteit [m²]
- v_v = specifieke verstoppingsnelheid [m/jaar]
- MFI = MFI [s/l²]
- U_{eq} = aantal equivalente vollasturen per jaar [uur]

In fijnzandige aquifers is de norm voor infiltratie minder kritisch dan de norm voor onttrekking. Verder kan de infiltratienorm positief worden beïnvloed door het te infiltreren water bovengronds te filteren voorafgaande aan de infiltratie (verlagen van de MFI waarde).

In Figuur I-1 is de huidige onttrekkings- en infiltratienorm vergeleken met de aangepaste normen. De weergegeven norm is gebaseerd op de warme bron van de case in Gorinchem. Hierin bedraagt de onttrekkingstemperatuur uit de warme bron 50°C en de infiltratietemperatuur 90°C. Uit de vergelijking blijkt dat door het integreren van de temperatuur in de ontwerpnormen in deze case de ontwerpnelheid ruim twee keer zo groot mag zijn in vergelijking met de huidige ontwerpnormen.



Figuur I-1: Vergelijking tussen de ontwerpnormen voor WKO-systemen, en de ontwerpnormen voor HTO-systemen (met afhankelijkheid van viscositeit) (IF Technology, 2012)

2. Praktijkervaringen met betrekking tot de onttrekkings- en infiltratie norm

Van enkele bronnen is bekend dat er zandlevering optreedt. De oorzaak van deze zandlevering hoeft niet direct te liggen bij het overschrijden van de ontwerpnormen. Mogelijke oorzaken kunnen ook zijn een verkeerde keuze van filtergrind en -spleten, grote variatie in korrelgrootte, filters in kalksteen en scheve debietverdeling over het filtertraject of een combinatie van deze oorzaken. Een directe relatie tussen het overschrijden van de norm en zandlevering is (nog) niet gevonden (IF Technology en Universiteit Utrecht, 2012).

Volgens onderzoek naar de ontwerpnormen voor putten bij ondiepe geothermie projecten (IF Technology, 2019), mede gebaseerd op ervaringen in de olie- en gasindustrie, kunnen op grotere dieptes hogere snelheden worden toegepast zonder dat daarbij (onacceptabele) zandlevering optreedt. De spanningen in de ongeconsolideerde lagen in de ondiepe ondergrond worden hoofdzakelijk bepaald door het gewicht van de bovenliggende lagen en de zwaartekracht. Daardoor nemen de spanningen in de ondergrond steeds verder toe met toenemende diepte. Hoe groter de krachten op de korrels, hoe moeilijker de korrels te mobiliseren zijn. Hieruit volgt dat op grotere dieptes hogere debieten mogelijk zijn dan in ondiepere aquifers (als wordt aangenomen dat de eigenschappen van de gebruikte bodemlaag gelijk blijven).

Met dit aspect wordt in de bestaande onttrekkingsnorm voor open bodemenergiesystemen geen rekening gehouden. De onttrekkingsnorm voor open bodemenergiesystemen is op grote schaal toegepast voor het ontwerp van deze systemen (>> 1.000 systemen) en het aantal projecten met zandlevering is zeer gering. De bronsystemen voor open bodemenergiesystemen staan bekend als robuust en onderhoudsarm. Dit geeft enerzijds aan dat de ontwerpnormen veilig zijn en anderzijds dat er wellicht ruimte is om hogere snelheden toe te staan.

Praktijktesten ECW (Wieringermeer)

Het overgrote deel van de open bodemenergiesystemen maakt gebruik van zandlagen in het dieptebereik van 20 tot 250 meter. Bij ECW in de Wieringermeer polder is een hoge temperatuur opslag project beoogd in een watervoerende zandlaag tussen 360 en 383 m diepte. Aangezien bij ECW gebruik wordt gemaakt van een aquifer op aanzienlijk grotere diepte dan gebruikelijk, is de verwachting dat aanmerkelijk hogere debieten mogelijk zijn. Om dit nader te onderzoeken zijn testen uitgevoerd in het bronfilter van de proefboring die ten behoeve van het project is gerealiseerd. Bij deze testen is het onttrekkingsdebiet in een aantal stappen verhoogd tot ruim boven de huidige onttrekkingsnorm. Uit de praktijktesten blijkt, dat de zandlevering minimaal is bij snelheden op de boorgatwand tot 2,44 maal de huidige onttrekkingsnorm. Hogere snelheden konden vanwege praktische beperkingen niet worden getest (IF Technology, 2020). Deze ervaringen suggereren dat er, met name op grotere dieptes, hogere debieten kunnen worden gerealiseerd dan wat de huidige ontwerpnormen aangeven. Het is echter nog te vroeg om bij andere projecten op grotere dieptes “zomaar” hogere snelheden toe te passen. Bij het HTO project van ECW is de keuze voor een hoger debiet gebaseerd op een combinatie tussen theorie en (kortdurende) praktijktesten. Die resultaten zijn positief, maar geven nog geen zekerheid. Een punt van aandacht is bijvoorbeeld nog het functioneren van de putten op de lange termijn.

Bij eventuele andere projecten op grotere dieptes wordt aanbevolen om vergelijkbare testen uit te voeren om de haalbaarheid van sterk verhoogde debieten voor de betreffende formatie op die locatie te onderzoeken. Als de haalbaarheid van verhoogde debieten op meerdere locaties middels praktijktesten is aangetoond en de praktijkervaring met de betreffende putten tijdens bedrijfsvoering op de langere termijn ook positief is, dan kan dit aanleiding zijn voor een aanpassing van de ontwerpnormen. Mogelijk ontstaat daarmee dan ook ruimte om in ondiepere aquifers hogere debieten toe te staan.

Door de relatief hoge stroomsnelheden in de directe omgeving van de onttrekkingsput worden deeltjes in de aquifer gemobiliseerd en meegevoerd met het grondwater dat in de richting van de put stroomt. Bij hoge stroomsnelheden (hoger dan waar tot op heden ervaring mee is bij open bodemenergiesystemen), ontstaan hogere sleepkrachten en is de verwachting dat er meer deeltjes gemobiliseerd gaan worden. Bovendien wordt het gebied waarbinnen een bepaalde stroomsnelheid optreedt groter. Dit leidt naar verwachting ook tot een toename van de concentratie aan deeltjes in het toestromende water. Bij hogere concentraties aan deeltjes en hogere stroomsnelheden neemt de kans op de brugvorming toe (deeltjes lopen vast als ze tegelijkertijd door dezelfde poriehal willen: de deeltjes vormen bruggetjes die een verstoppend effecten hebben). Dit fenomeen is bekend uit onderzoek dat is uitgevoerd in de drinkwatersector (zie b.v. Timmer et al., 2000 en 2003; De Zwart, 2007 en Van Beek et al., 2009).

In de metingen van de tot nu toe uitgevoerde putproeven zijn geen aanwijzingen gevonden voor het optreden van putverstopping: de verlaging in de proefboring neemt niet of nauwelijks toe ten opzichte van de verlaging die wordt berekend aan de hand van de eigenschappen van het watervoerende pakket die zijn afgeleid uit stopproeven. De testen waren echter van relatief korte duur (6 uur). Hiermee is dus nog niet duidelijk in hoeverre er op de langere termijn wellicht toch merkbare effecten van putverstopping door brugvorming verwacht mogen worden.

In het vervolg van WINDOW binnen WarmingUP zal moeten worden onderzocht in hoeverre verhoogde normen van toepassing kunnen zijn voor een optimaal functionerend warmteopslag systeem.

Bijlage II. Brontechniek

De bronnen worden gemaakt met de zogenaamde zuigboortechniek. Dit type boring is op duizenden plaatsen de afgelopen twintig jaar uitgevoerd; van zeer drukke binnensteden, natuurgebieden tot bedrijventerreinen. Geluidsoverlast is beperkt zodat in de directe omgeving van eventuele bebouwing kan worden geboord (mogelijk alleen overdag boren).

De benodigde ruimte voor het boren bedraagt 300 tot 400 m² (zie Figuur II-1) voor opstellingsruimte). Het gehele boorproces inclusief het schoonmaken van de bron kost circa 1 maand.



Figuur II-1: Boorstelling zuigboren

De bronnen worden geboord met een diameter van 800 mm. De warme bronnen krijgen een GVK stijgbuis en RVS wikkeldraad filter; de temperatuur in de lauwe bronnen blijft onder de 60 °C vandaar dat stijgbuis en filter in PVC kunnen worden uitgevoerd. Hierbij moeten er beveiligingen worden ingebouwd om te voorkomen dat er ooit water van meer dan 60°C in de koude bronnen komt. De lauwe bronnen worden aan maaiveld afgewerkt met een half bovengrondse putbehuizing (2x2 m, zie Figuur II-2). De warme bronnen dienen volledig bovengronds te worden afgewerkt. Dit is een kleine constructie die past binnen een ruimte van 2x1,5x1,5 m. Deze bovengrondse afwerking is nodig omdat al het leidingwerk heet is en de ruimte in een half bovengrondse put te klein is om er veilig te kunnen werken. Daarnaast dient er naast de bovengrondse put voldoende ruimte beschikbaar te zijn voor vrachtwagens en hijskranen. Positionering naast een parkeerplaats o.i.d. heeft dan ook de voorkeur.



Figuur II-2 Afwerking bron met half-bovengrondse putbehuizing

Waterbehandeling

Specifiek voor hoge temperatuur is de neerslag van carbonaten. Dit effect is bekend vanuit de dagelijkse praktijk: ketelsteen in de fluitketel en kalkaanslag bij het verwarmingselement van de wasmachine. Het risico op carbonaatneerslag is afhankelijk van de kalkverzadigingsgraad van het oorspronkelijke grondwater, de mate waarin de temperatuur wordt verhoogd en de aanwezigheid en concentraties van stoffen die de neerslagreacties vertragen. Aangezien de aanwezigheid van kalkverzadigd grondwater in de te gebruiken bodemlaag aannemelijk is en sprake is van opslag met 90 °C, is carbonaatneerslag waarschijnlijk als geen tegenmaatregelen worden genomen. Om carbonaatneerslag te voorkomen kan waterbehandeling worden toegepast.

De sterke en zwakke punten en de kansen en bedreigingen van de verschillende technieken zijn opgesomd in Tabel II-1.

Tabel II-1 Afweging waterbehandelingstechnieken

	ionenwisseling	(zout)zuurdosering	inhibitors
sterke punten	invloed op de grondwaterkwaliteit relatief klein	werkt goed goed beheersbaar invloed op de grondwaterkwaliteit relatief klein	relatief goedkope oplossing
zwakke punten	waterbehandeling vergt veel aandacht aanvoer veel zout nodig in de praktijk putverstopping opgetreden relatief hoge kosten	veiligheidsmaatregelen i.v.m. zuur zoutzuur nodig, veel transport bewegingen.	nog geen praktijkervaring
alternatief		CO ₂ -dosering	
bedreigingen	risico op kleizwelling bij overbehandeling niet verkrijgen toestemming zoutlozing	kwetsbare sturing/beveiliging Publieke opinie	risico neerslag na adsorptie aan de bodem effect grondwaterkwaliteit onduidelijk Publieke opinie

Omdat ionenwisseling te duur is en de toepassing van inhibitoren onzeker is door gebrek aan praktijk ervaring, is zuurdosering de beste optie voor de waterbehandeling van de HTO.

Er zijn verschillende opties voor het type zuur dat kan worden gebruikt. Vooral nog wordt gekozen voor de toepassing van zoutzuurdosering, met name omdat deze techniek zich in de praktijk heeft bewezen (HTO Zwammerdam) en de grondwaterkwaliteitseffecten relatief klein zijn. Deze waterbehandelingstechniek is beproefd en goed beheersbaar. Nadeel zijn de grote hoeveelheden zoutzuur die nodig zijn en de extra zorg voor opslag en gebruik. Op basis van de HTO Zwammerdam en het ontwerp van de HTO bij GEOMECV (Brielle) wordt verwacht dat een zoutzuurdosering van 0,3 l/m³ (30 % HCl) nodig is (exacte dosering wordt bepaald aan de hand van de grondwaterkwaliteit gemeten tijdens de proefboring). Zoutzuurdosering hoeft alleen plaats te vinden tijdens het laden van de ondergrondse opslag. Naast zoutzuur kan er ook worden gekozen voor 99,9% pure CO₂, dit wordt toegepast op de HTO te Middenmeer. Tests moeten uitwijzen of deze vorm van dosering zoutzuur kan vervangen.

Transportleiding en technische ruimte

De bronnen worden via ondergrondse transportleidingen (min 0,6 m-mv) met de warmtewisselaar in de technische ruimte verbonden. De transportleiding is van geïsoleerd glasvezel versterkt kunststof (GVK). In de technische ruimte staan de warmtewisselaars, regelkasten, filterinstallatie en waterbehandeling van het grondwatersysteem. De leidingen zijn van GVK. Dit neemt meer inbouwruimte in beslag dan RVS leidingen. De warmtewisselaars zijn van titanium. Hiermee wordt voorkomen dat de warmtewisselaars binnen korte tijd door corrosie defect raken.

De technische ruimte wordt opgenomen in een warmte-overdrachtsstation (WOS). Vanwege het gebruik van chemicaliën bij de waterbehandeling en de hoge temperaturen, zal de technische ruimte aan strikte veiligheidseisen moeten voldoen.

Bijlage III. Beschrijving numerieke model SEAWATv4

De numerieke simulaties worden uitgevoerd met het grondwatermodel SEAWATv4 Langevin (2009). Dit model is een koppeling tussen het grondwatermodel MODFLOW en het transport model MT3Ds (Harbough et al., 2000; Zheng & Wang, 1999). Een nog gedetailleerde beschrijving van de model opzet is beschreven in de rapportage van werkpakket C2- geohydrologisch ontwerp. SEAWATv4 heeft de capaciteit om dichtheidsstroming te simuleren bij verschillende temperaturen. Dit treedt op doordat viscositeit en dichtheid afhankelijk zijn van temperatuur, Figuur III-1. Een relatief lage dichtheid van het warme geïnjecteerd water leidt tot een dichtheid verschil met het omringede grondwater, het warmere water heeft dus de neiging op te drijven (van Lopik et al., 2016). Doordat de viscositeit ook sterk afneemt met hogere temperatuur kan water makkelijker door de ondergrond stromen waardoor het opdrijf effect versterkt wordt. Dit wordt in SEAWATv4 berekend d.m.v. de volgende vergelijkingen.

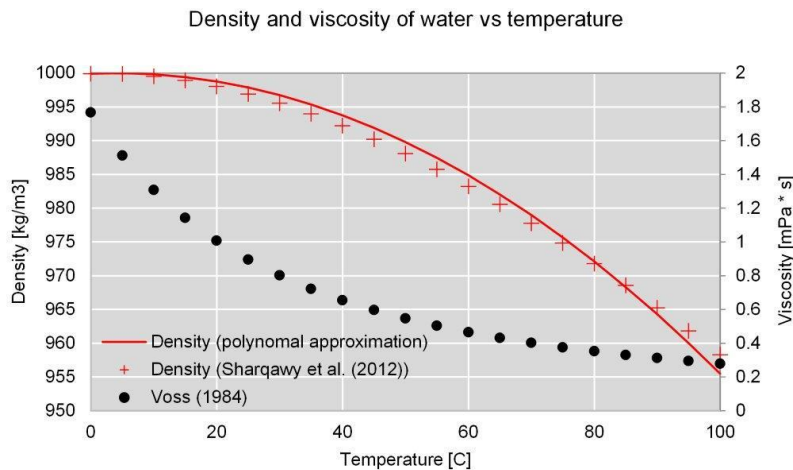
Viscositeit is berekend volgens is (Langevin, 2009):

$$\mu(C, T) = 2.494 \cdot 10^{-5} \cdot (10^{\frac{248.37}{T+133.15}}) + 1.92 \cdot 10^{-6} (C - C_0)$$

De dichtheidsverandering van water bij oplopende temperaturen is berekend volgens:

$$\rho(T) = \rho_f - \frac{(T - 4)^2}{207}$$

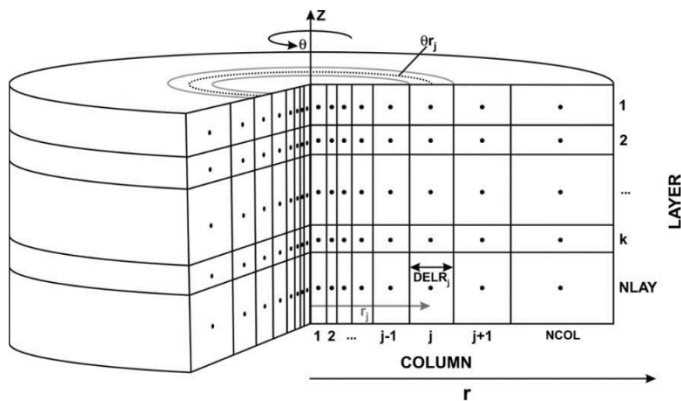
Dit is een benadering van de vergelijking opgesteld door Sharqawy et al. (2012) waarbij ook verschil in zoutconcentratie wordt meegenomen. Bij deze simulaties wordt er vanuit gegaan dat er geen water wordt gemengd van verschillende kwaliteiten (e.g. uit verschillende grondwaterpakketten). Daardoor is alleen een verschil in temperatuur van invloed op de berekende dichtheid.



Figuur III-1 Afhankelijkheid van viscositeit en dichtheid van water bij oplopende temperatuur.

Axisymmetrisch model

De simulaties worden op twee manieren uitgevoerd, axisymmetrisch en in 3D. Axisymmetrische simulaties hebben als voordeel dat rekestijden relatief klein zijn vergeleken met een simulatie in 3D. Met axisymmetrische simulaties is het dus mogelijk om een hoge verticale resolutie te gebruiken zonder dat de rekestijden te omvangrijk worden. Echter, een nadeel bij axisymmetrische simulaties is dat slechts 1 put gesimuleerd kan worden en het niet mogelijk is om ruimtelijke verschillen te implementeren zoals grondwaterstroming en horizontale heterogeniteit.



Figuur III-2 Schematische weergave van een axisymmetrisch grid. De gemodelleerde put bevindt zich in het midden. De cellen in de radiale richting (r) worden groter naar buiten toe. Van (Langevin, 2008)

Discretisatie en randvoorwaarden

Voor zowel het axisymmetrisch model als het 3D model is een vaste discretisatie gebruikt voor de simulaties (Tabel III-1). Het grid bestaat rondom de putten uit cellen met dezelfde grootte (Min horizontaal), vanaf een bepaalde afstand (minimale lineaire afstand) vanaf de putten worden de cellen logaritmisch groter tot de grootste celgrootte (max horizontaal) is bereikt. Het totale grid moet een minimaal afstand van 1000m vanaf de dichtstbijzijnde put hebben. Dit resulteert in een gemiddelde model grootte van 2,5x2,5 km.

Tabel III-1 Discretisatie Axisymmetrische- en 3D-modellen

	Axisymmetrisch	3D
Min horizontaal	1 m (r)	2.5 m (x,y)
Max horizontaal	25 m (r)	25 m (x,y)
Min afstand linear	150 m (r)	150 m (x,y)
Verticaal	0.5 m (z)	0.5 m (z)
Buitenste rand	1000 m (r)	1000 m (x,y)
Minimaal aantal cellen (linear -> logaritmisch)	50	50

Geohydrologische & thermische model parameters

De thermische eigenschappen van de aquifers en de aquitards in de ondergrond zullen gekozen en berekend worden gebaseerd op het materiaal en de porositeit van de specifieke laag (Tabel III-2). We variëren hier alleen tussen zandig (aquifer) en kleig materiaal (aquitard). De volgende aannames worden gedaan:

- Homogene aquifers en aquitards
- Constante thermische conductiviteit (niet beïnvloed door druk of temperatuur)
- Anisotropie tussen horizontale en verticale conductiviteit is constant (zand=2, klei=3)

Tabel III-2: geohydrologische parameters SEAWATv4 model

Parameter	symbol	Value	Bron
Laterale dispersie	-	0.5 m	Bloemendal & Hartog (2018)
Transversale dispersie	-	0.05 m	Bloemendal & Hartog (2018)
Dichtheid water (0°C)	ρ_{H2O}	1000 kg/m ³	
Dichtheid vast materiaal	ρ_{solids}	2640 kg/m ³	
Specifieke warmte capaciteit zand	c_{zand}	710 J/kg °C	www.engineeringtoolbox.com
Specifieke warmte capaciteit klei	c_{klei}	1381 J/kg °C	www.engineeringtoolbox.com
Specifieke warmte capaciteit water	c_{H2O}	4183 J/kg °C	www.engineeringtoolbox.com
Thermische geleidbaarheid zand	λ_{zand}	1.9 W/m °C	Dalla Santa et al. (2020)
Thermische geleidbaarheid klei	λ_{klei}	1.1 W/m °C	Dalla Santa et al. (2020)
Thermische geleidbaarheid water	λ_{H2O}	0.58 W/m °C	Dalla Santa et al. (2020)
Bulk thermal diffusivity*	D_{m_temp}	0.05 – 0.08 m ² /d	# relatief lage waarde
Porositeit zand (-z=0)	ϕ_{zand}	0.41	Hantschel & Kauerauf (2009)
Porositeit klei (-z=0)	ϕ_{klei}	0.6	Hantschel & Kauerauf (2009) &
Horizontale hydraulische conductiviteit*	K_h	. m/d	
Verticale hydraulische conductiviteit*	K_v	. m/d	

* Dit is specifiek voor iedere laag in het model

Bijlage IV. Grond mechanische processen

Algemeen

De grondmechanische risico's van een HTO-systeem zijn vergelijkbaar met die van de gangbare open bodemenergiesystemen (waarbij ook geen netto wateronttrekking plaatsvindt en de putten een seizoencyclus van injectie en onttrekking hebben. Eventuele verschillen worden veroorzaakt door de effecten van de hogere temperatuur.

In vergelijking met (drinkwater)onttrekkingen zijn de effecten kleiner doordat de onttrekking per put een beperkte duur heeft en wordt afgewisseld met injectie.

Grond mechanische processen: invloed grondwaterstijghoogteverandering

De verlaging van de grondwaterstijghoogte bij onttrekking zorgt voor verlaging van de waterdruk en toename van de korrelspanning, waardoor de korrels dichter naar elkaar toegedrukt worden en water uitgedreven wordt wat gepaard gaat met zetting. Deze zetting is grotendeels permanent. Dat betekent dat de opheffing veel kleiner is dan de zetting als vervolgens de stijghoogte toeneemt door stoppen van de onttrekking en ook als deze vervolgens groter wordt dan de oorspronkelijke waarde door injectie.

In zandlagen treedt weinig relatief zetting op in vergelijking met kleilagen.

In ondiepe veenlagen kan nog meer zetting optreden, maar speelt ook een tweede proces waardoor de bodem daalt, namelijk de afbraak van veen. Dat laatste zorgt bij veen aan het oppervlak vaak voor meer bodemdaling dan de zetting. Basisveen en in sterkere mate bruinkoollagen zijn minder zettingsgevoelig door stijghoogteverlaging omdat deze lagen al sterk gecompacteerd zijn. Verhoging van de stijghoogte leidt tot een uitzetting die veel kleiner is dan de zetting bij verlaging en die bovendien reversibel is.

De duur van de stijghoogteverlaging speelt ook een rol. Het water kan slechts langzaam uit dikke kleilagen geperst worden, waardoor het zettingsproces geremd wordt. Dit wordt vaak uitgedrukt in de hydrodynamische periode: de tijd die het duurt voordat een evenwichtssituatie bereikt is waarbij praktisch alle potentiële zetting bij de gegeven stijghoogteverlaging opgetreden is. Voor een kleilaag van bijvoorbeeld 10 meter dikte kan de hydrodynamische periode in de orde van jaren liggen, wat veel langer is dan het seizoen van een HTO en daardoor de zetting veel kleiner is dan de potentiële zetting bij de optredende verlaging in het watervoerend pakket waaruit de HTO onttrekt.

HTO-systemen combineren onttrekking en injectie waardoor er netto geen water onttrokken wordt aan de ondergrond. Hierdoor treden stijghoogteverlagingen op in een beperkt deel van de ondergrond (zowel lateraal als verticaal). Bij de volumes die genoemd worden en onttrekking onder een kleilaag met grote weerstand zijn de verlagingen rond een put die onttrekt wel groot in de gepompte laag (meer dan 10 meter), maar deze nemen snel af naar buiten en in verticale richting (maximaal in de orde van decimeters in de boven- en onderliggende watervoerende pakketten).

De kleilaag direct boven het gepompte pakket zal daarbij de meeste zetting opleveren. In ondiepere lagen is de verlaging veel minder en diepere lagen hebben meer bovenbelasting waardoor de stijghoogtedaling minder relatieve korrelspanningstoename oplevert. Bovendien neemt de stijfheid van kleilagen in het algemeen toe met de diepte door geologische bovenbelasting en opgetreden lagere stijghoogten. Naast de duur van de onttrekkingsfase, wordt de zetting beperkt door de driedimensionale samenhang in de bodem. De zettingen vlakbij de put

bij deze diepere kleilaag werken naar boven toe door over een groter gebied (waarbij de verticale verplaatsing minder wordt).

In generieke zin kan gesteld worden dat zettingen kleiner worden in de diepte. Enerzijds door de grotere bovenbelasting (waardoor de relatieve toename van de korrelspanning kleiner is) en anderzijds doordat de lagen stijver zijn doordat er meer compactie heeft plaatsgevonden. De zetting in een kleilaag op 200 m diepte is in het algemeen dus minder dan eenzelfde soort laag op 20m diepte. De eigenschappen zullen ook verschillen per soort klei, maar hier is geen systematische informatie beschikbaar over en er kan geen verschil aangegeven worden tussen kleien per formatie.

Grond mechanische processen: invloed temperatuur

Over de invloed van injectie en productie van hoge temperatuur water ($> 25^{\circ}\text{C}$) op de grondmechanica in ongeconsolideerd materiaal is relatief weinig bekend. De directe invloed van de temperatuur op de grondmechanica is naar verwachting beperkt. Het belangrijkste effect is dat door de lagere viscositeit van water, zettingen sneller optreden en een grotere fractie van de potentiële eindzetting bereikt wordt in een onttrekkingsseizoen. Dit zal vooral plaatsvinden in het eerste onttrekkingsseizoen omdat de zetting grotendeels irreversibel is. Ook de opheffing in het injectieseizoen kan sneller optreden, deze is naar verwachting ongeveer even groot als het reversibele deel van de zetting. De potentiële eindzetting zelf hangt niet direct van de temperatuur af.

Een verhoging van de temperatuur veroorzaakt ook thermische uitzetting van het ondergrondmateriaal en het water. De hier aan gerelateerde bodembeweging van een ondergrond die wordt opgewarmd en afgekoeld, bestaat uit twee componenten (van Dalfsen, 1984):

1. Een gedurige bodembeweging, door toenemende opwarming van het sediment/gesteente.
2. Een op en neer gaande bodembeweging, als gevolg van de opslag en winning van warmte.

De thermische uitzetting treedt op in de opslagaquifer voor HTO, en de aangrenzende lagen die opwarmen op door geleiding. Vooral voor klei zijn de thermische uitzettingscoëfficiënten afhankelijk van de samenstelling (soort klei en hoeveelheid bijmenging van bijvoorbeeld silt of zand).

De volumetrische uitzettingscoëfficiënt van kleimineralen heeft een ordegrootte van $0.0034 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ (Ghabezloo, 2010). De volumetrische uitzettingscoëfficiënt van kwarts (hoofdbestanddeel van zand) kan variëren van ongeveer 0.0024 tot $0.0033 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ (Ghabezloo, 2010).

Indirecte effecten van de temperatuur kunnen zijn extra afbraak van ondiep veen en verandering van mechanische eigenschappen door geochemische veranderingen. Oxidatie van organische stof (met name veen) boven de grondwaterspiegel en microbiologische afbraak er onder worden gestimuleerd door hogere temperaturen (Brons e.a., 1991). Vanaf een graad of zestig wordt de microbiologische afbraak echter weer geremd zodat dit vooral in de perifere zone van de warmteopslag zal spelen. Geochemische veranderingen kunnen de structuur van klei veranderen wat de grondmechanische eigenschappen beïnvloedt. Ook kunnen hoge temperaturen een effect hebben op glauconiet (korrelige kleimineralen ontstaan in een ondiep marien afzettingmilieu), waar echter nog weinig over bekend is. In de Formatie van Oosterhout en de Formatie van Breda komt vaak glauconiet voor. Deze glauconiethoudende zanden bevatten 10-40% glauconiet. In ondiepe lagen is glauconiet vaak instabiel en heeft het een hoge verbrijzelbaarheid, wat kan zorgen

voor zetting in een pakket. Meer onderzoek is nodig naar de effecten van hoge temperaturen op glauconiet.

Bij hogere temperatuur verlaagt de oplosbaarheid van gassen. Ontstaan van gasbelletjes beïnvloedt de doorlatendheid en ontgassing van CO₂ leidt tot kalkneerslag dat bovendien tot putverstopping kan leiden.

Monitoring van vervorming van de put kan hierbij misschien meer inzicht verschaffen, bijvoorbeeld met rekstrookjes op de buis. Daarnaast kunnen grondwaterstijghoogten gemeten worden met automatische drukopnemers; voor kleilagen zonder peilbuis, maar direct in de klei geplaatst. Misschien dat het meten van geochemische parameters via minifilters in de omstorting extra informatie kan verschaffen naast analyseren van de chemische verandering in het onttrokken en geïnjecteerde water. Het is goed ook de maaiveldhoogte regelmatig te meten om de totale bodembeweging te kunnen bepalen.

Samenvatting

Voor onttrekkingen is veel kennis beschikbaar over voorspellingen van zettingen en over daadwerkelijk opgetreden zettingen. Voor WKO's zijn er ook richtlijnen voor de geotechnische risico's. Dit kan ook gebruikt worden voor HTO. De risico's zullen minder zijn naar gelang de HTO dieper aangelegd. De consequenties van de hogere temperatuur zijn naar verwachting beperkt, maar hier is weinig informatie over beschikbaar zodat het is aan te bevelen om gerichte monitoring uit te voeren.

Aanbeveling

Op basis van deze kwalitatieve beschouwing kan geen belangrijk onderscheid gemaakt worden tussen de geselecteerde locaties wat betreft grondmechanische risico's. Na selectie van locaties voor verdere evaluatie dienen locatie specifieke berekeningen een inschatting geven van de verwachte effecten aan het maaiveld. Daarna kan in combinatie met een omgevingsscan het effect worden ingeschat waarbij mogelijk een ondiepere laag afvalt als optie voor HTO. Hiertoe dienen de mogelijke effecten van hogere temperaturen beter in beeld te worden gebracht, eventueel ondersteunt door experimentele observaties en gecombineerde modellen die grondmechanische, hydraulische, thermische en geochemische processen simuleren.

Bijlage V. Generieke risico-inventarisatie voor HTO

Introductie

De belangrijkste risico's gerelateerd aan HTO projecten zijn geïnventariseerd op basis van projecten in het verleden (bijv. TNO, 2016; TNO & IF Technology, 2016, 2019) en op basis van studies zoals het WINDOW project. De indeling en beschrijving van de risico's zijn grotendeels gebaseerd op TNO & IF Technology (2019). In het algemeen zijn de geïdentificeerde risico's generiek voor elk HTO project, maar de specifieke risico's kunnen wel meer of minder relevant zijn voor de individuele projecten. Er is daarom gekozen voor een algemeen overzicht van de geïdentificeerde risico's, dat gelijk is in alle verkenningen, gevolgd door een locatie-specifiek overzicht waarin voor elk van de individuele verkenningen de relevantie is aangegeven. Voor die risico's die relevant worden geacht wordt per locatie een toelichting gegeven.

Risico's zijn onder te verdelen in:

- Risico's voor de business case (commercieel/economisch)
- Juridische haalbaarheid en draagvlak
- Technische en geohydrologische risico's
- Milieu- en veiligheidsrisico's
- Organisatorische risico's (inclusief commitment stakeholder)

Deze worden per categorie hieronder toegelicht.

Commerciële en economische risico's

De belangrijkste commerciële en economische projectrisico's zijn:

- A) Volume en prijsrisico's
- B) Hoge onvoorziene kosten
- C) Rendement en kwaliteit van de geproduceerde warmte
- D) Inpassing in het warmtenet

Ad A) Een van de belangrijkste risico's zijn volume- en prijsrisico's van de warmtelevering. In de praktijk is het lastig om bij nieuwbouw en geplande ontwikkelingen de warmtevraag nauwkeurig in te schatten. De vraag is sterk afhankelijk van gedrag en projecten kunnen om allerlei renden vertraging oplopen. Bij bestaande warmtenetten bestaat het risico dat een deel van de warmtevraag wegvalt, bijvoorbeeld door faillissement van zakelijke gebruikers die op het warmtenet zijn aangesloten. Daarnaast zal ook de klimaatverandering een impact hebben op de toekomstige warmtevraag.

Kosten voor exploitatie kunnen in de toekomst sterk fluctueren door allerlei invloeden. Wanneer de kosten voor elektriciteit toenemen, heeft dit een direct gevolg op het financiële resultaat, omdat dit een belangrijke kostenpost is. Ook kan veranderende regelgeving en subsidie-beleid van invloed zijn op de kosten en baten. Dit kan zowel effect hebben op de eigen kosten en baten, als ook op concurrerende energiebronnen.

Volume en prijsrisico's dienen zoveel mogelijk afgedekt te worden, bijvoorbeeld door regelmatig en voldoende aandacht te hebben voor een optimaal en robuust ontwerp op basis van de ingeschatte warmtevraag en aanbod. Prijsrisico's kunnen worden afgedekt door warmte-afnameovereenkomsten.

Ad B) De techniek HTO staat sinds de jaren 80 van de vorige eeuw in de belangstelling. Tot op heden zijn slechts een paar HTO-systemen gerealiseerd in Nederland. De kostenschattingen in het

WINDOW project zijn gemaakt op basis van kennis uit gerealiseerde projecten en recent uitgevoerde ontwerpen. Echter, de kostenschattings voor de investeringen en exploitatie kunnen in realiteit afwijken (zeker +/- 25%). Na het doen van de proefboring en de terrein-inventarisatie kunnen de investeringskosten veel nauwkeuriger (+/- 10 %) worden ingeschat. Het risico is dat de kosten te hoog uitvallen waardoor deze niet volgens verwachting kunnen worden terugverdiend.

Ad C) De marginale kosten van de HTO wordt voor een groot deel bepaald door het rendement van HTO-systeem en de inpasbaarheid in het warmtenet (risicogroep D). Het risico is dat het rendement van het HTO-systeem lager is (dus het warmteverlies groter) dan verwacht. Het opslagrendement is de verhouding tussen de opgeslagen warmte en de nuttig geleverde warmte. Warm water heeft een lagere dichtheid dan koud water. Hierdoor ontstaan dichtheidsstromingen, waarbij warm water naar boven stroomt en koud water in het onderste deel van het opslagpakket wordt aangetrokken. Een deel van de opgeslagen warmte gaat verloren. Dit uit zich als niet teruggewonnen warmte en temperatuurdaling van teruggewonnen warmte. Het rendement van de HTO kan tegenvallen door tegenvallers in de ondergrond, door een hogere retourtemperatuur in het warmtenet, door een hogere benodigde aanvoertemperatuur, door suboptimale inzet of extreme seizoensvariëaties tussen verschillende jaren. De verhouding tussen geïnjecteerde warmte en teruggewonnen warmte moet goed worden afgestemd (geen jaarlijkse over-injectie of onderproductie van warmte). De afkaptemperatuur dient ook zo laag mogelijk te zijn, zodat ook productie van lagere kwaliteit warmte aan het einde van het stookseizoen nog nuttig kan worden ingezet. Dit kan door het combineren van de HTO met een (industriële) warmtepomp of (hulp)warmtebron.

Ad D) De retourtemperatuur en benodigde productietemperatuur ter plaatse van de HTO zijn mede bepalend voor de investeringen in de warmtepomp, als deze in het systeemconcept zit. In het voorontwerp kunnen deze conservatief ingeschat worden; d.w.z. hoge retour- en productietemperatuur. Dan zijn de gevolgen bij optreden van dit risico beperkt. Als de retourtemperatuur en productietemperatuur optimistisch ingeschat worden, dan zijn de gevolgen van het optreden van hogere retour- en productietemperaturen groot. Een hogere productietemperatuur kan met een piekvoorziening opgevangen worden of door het bijmengen met heet water uit het warmtenet. Een hogere retourtemperatuur kan in het detail-ontwerp gemitigeerd worden door een duurder warmtepomp of door een hogere temperatuur in de lauwe bron toe te laten met meer verliezen in de ondergrond tot gevolg.

Juridische haalbaarheid en draagvlak

Voor HTO-systemen tot een diepte van 500 m beneden maaiveld is een vergunning Waterwet nodig. De gedeputeerde staten van de Provincie is het bevoegd gezag en daarmee de vergunningsverstrekker (zie artikel 6.4 Waterwet). Volgens de wijzigingsbesluit Bodemenergiesystemen (Schultz-van Hagen, 2013) is de infiltratie van water boven de 25 °C toegestaan, onder de voorwaarde dat het belang van de bescherming van de bodem zich daartegen niet verzet. In de vergunningprocedure kan het bevoegd gebruik maken van standaardvoorschriften uit de Besluitvorming Uitvoeringsmethode (BUM). Echter, HTO kan niet voldoen aan twee van deze standaardvoorschriften. Afwijken van de standaardvoorschriften is toegestaan in het kader van een onderzoeksproject, en in de BUM is opgenomen dat HTO daar voorlopig ook onder valt. Het bevoegd gezag kan eisen aan onderzoek en monitoring stellen om mogelijk nadelige effecten van hogere injectietemperatuur en het warmteoverschot beter in kaart te brengen en, indien noodzakelijk, te mitigeren.

De aandachtspunten vanuit vergunningverlening voor HTO-systemen tot 500 m diepte zijn:

- A) De aanwezigheid van omgevingsbelangen in de ondergrond nabij de HTO.
- B) De (onzekerheid over) effecten die optreden in de ondergrond door toepassing van HTO.
- C) Er kunnen strenge voorschriften in de vergunning worden opgenomen, die onzekerheid en/of hoge (monitorings)kosten kunnen meebrengen voor de gebruiker van het systeem.
- D) Het verwachte en gerealiseerde energierendement;
- E) Draagvlak onder omgeving/gebruikers

Ad A) De effecten die de HTO heeft op de ondergrond, en de mogelijke gevolgen die dit heeft voor omgevingsbelangen dienen door het bevoegd gezag te worden afgewogen. Daarbij is de bescherming van drinkwaterproductiesystemen het hoogste belang.

Ad B) De hogere infiltratietemperatuur, het warmteoverschot in de ondergrond en de effecten die dit meebrengt voor de grondwaterkwaliteit zijn belangrijke risico's die de provincie beoordeeld wil zien, voor een vergunning Waterwet verleend kan worden. Echter, sommige effecten, zoals de geochemische effecten op het grondwater, zijn locatie-afhankelijk en niet altijd op voorhand in te schatten wanneer er weinig bodeminformatie beschikbaar is. Net als bij alle open bodemenergiesystemen is het van belang dat er geen/beperkte nadelige gevolgen optreden voor andere belangen en/of voor de intrinsieke waarde van de ondergrond door toepassing van HTO.

Ad C) Wanneer het bevoegd gezag strenge voorschriften opneemt voor de monitoring van het systeem, brengt dat hoge kosten met zich mee voor de gebruiker. Het is wenselijk om duidelijke monitoringsdoelen te stellen en te bespreken op welke manier hier redelijkerwijs aan kan worden voldaan. Wanneer vergunningen voor bepaalde tijd worden verleend, of wanneer er in de vergunning wordt opgenomen dat het bevoegd gezag het systeem te allen tijde kan beëindigen, kan dit leiden tot financiële risico's die voor een initiatiefnemer onacceptabel zijn. Tijdens het vooroverleg kan besproken worden onder welke voorwaarden tegelijkertijd aan de wensen van vergunningverlener en -aanvrager kan worden voldaan.

Ad D) De regels stellen dat er doelmatig gebruik wordt gemaakt van de ondergrond. Gerelateerd daaraan kan een eis worden gesteld m.b.t. het warmteoverschot in de ondergrond, dat direct afhangt van het terugwinrendement van het systeem ('system efficiency' in Hoofdstuk 4). Als een warmteopslag een te laag terugwinrendement heeft, kan het bevoegd gezag oordelen dat er geen doelmatig gebruik wordt gemaakt van de ondergrond.

Ad E) Het maatschappelijk draagvlak bij omwonenden en andere belanghebbenden kan zowel een kans als risico betekenen voor het project. Het is van belang om in een vroeg stadium een volledige stakeholderanalyse uit te voeren, zodat duidelijk is welke partijen belanghebbende kunnen zijn tijdens het realiseren, vergunnen en exploiteren van een HTO-project. Wanneer de verwachte effecten daar reden toe geven, kan er een communicatie- en participatieplan worden opgesteld, zodat in een vroeg stadium mogelijke bezwaren kunnen worden weggenomen. Dit kan de benodigde basis bieden aan het bevoegd gezag om de vergunning (al dan niet) te verlenen, omdat zij de toepassing van warmteopslag (en de bijkomende effecten daarvan) af moet wegen tegen de aanwezige belangen.

Technische en geohydrologische risico's

De belangrijkste risico's van technische aard zijn:

- A) Onzekerheid eigenschappen doelpakket en bovenliggende lagen
- B) Operationele prestaties en integriteit van componenten, met name bronmaterialen en pompen
- C) Integriteit van bronnen

Indien de beoogde locatie in de nabijheid van (actieve) breuk ligt is er mogelijk sprake van additionele technisch risico's:

- D) verticaal transport (lekkage) naar bovenliggende watervoerende lagen
- E) Geïnduceerde seismische activiteit

Ad A) Een onzekere factor is de doorlaatbaarheid van het beoogde opslagpakket, leidend tot het risico dat deze te laag is. De doorlatendheid is zeer belangrijk voor de prestatie van het HTO project. Een lage verticale en horizontale doorlatendheid is gunstig voor het thermische rendement (dichtheidsstroming wordt sterk geremd). Een lage doorlatendheid kan er echter ook toe leiden dat het meer kracht kost om het grondwater te onttrekken en te infiltreren. Als de injectiedruk (kracht) te groot wordt kan dit leiden tot onacceptabele gronddrukken. Verder kan een te grote benodigde kracht om te onttrekken leiden tot het extra produceren van zanddeeltjes waardoor het systeem sneller slijt en de injectiebron verstopt. De ontwerpnormen voor WKO-systemen zijn bedoeld om deze nadelige effecten te voorkomen, maar hebben tot gevolg dat bij een lage doorlatendheid het debiet dat kan worden behaald per put ook lager is. Vanwege economische redenen mag de doorlatendheid daarom ook weer niet te laag zijn.

Om de bovengenoemde onzekerheden te ondervangen zijn de volgende oplossingen mogelijk:

- Het aanpassen van de bronconfiguratie- Het dicht bij elkaar plaatsen van de warme en koude bron. Hierdoor worden de drukken verder uitgevlakt. Te dicht bij elkaar plaatsen kan echter leiden tot thermische kortsluiting en verlaging van rendement.
- Het verlagen van het maximale debiet.

De doorlaatbaarheid is afgeleid van informatie van nabijgelegen putten of van regionale informatie. Gezien de natuurlijke variatie blijft er daarom sprake van onzekerheid in de inschatting van deze essentiële informatie.

Datzelfde geldt voor de inschatting van de dikte van de bovenliggende kleilagen wat ook van groot belang is voor elke beoogde locatie. Deze kleilagen hebben namelijk sterk invloed op de verwachte temperatuurstijging in bovenliggende lagen. Het risico hier is dat de kleilagen te dun zijn waardoor er a) meer warmteverlies is, dus een lager rendement wordt gehaald, en b) hogere temperaturen worden bereikt in de overliggende pakketten.

De belangrijkste mitigatiemaatregel is het uitvoeren van een proefboring en capaciteitstest. Hiermee kunnen de eigenschappen van het doelpakket en die van bovenliggende lagen beter worden gekarakteriseerd, zodat de performance van de HTO en de mogelijke effecten op bovenliggende lagen in meer detail kunnen worden berekend.

Ad B en C) Een proces dat de operationele prestaties van de HTO kan beïnvloeden is scaling (met name carbonaatneerslag) en/of kleizwelling leidend tot de verstopping van de bron. Het risico is dat hierdoor de productie/injectie van water lager is dan verwacht. De geochemie van het doelpakket en de temperaturen in de operationele fase van de HTO zijn belangrijke parameters die de scaling en verstopping kunnen voorspellen. Afhankelijk van de gekozen opslagtemperatuur en de watersamenstelling in het gebruikte watervoerende pakket kan waterbehandeling nodig zijn, in combinatie met een goed monitoringssysteem. Materiaalkeuze is hier ook een belangrijke mitigatiemaatregel om problemen met scaling en kleizwelling te voorkomen.

Ad D) Er zijn diverse breuken in de ondergrond die ook ondiep aanwezig zijn, soms tot aan het oppervlak. Op verschillende locaties in Nederland heeft er verzet (verplaatsing) langs deze breuken

plaatsgevonden. Deze breuken kunnen “dicht” zijn, dat wil zeggen dat er geen vloeistof transport kan plaatsvinden omdat de breuk bijvoorbeeld versmeerd is met klei, of “open”. In dat laatste geval kan er wel lekkage vanuit diepere lagen plaatsvinden.

Ad E) In Nederland zijn er op sommige plaatsen actieve breuken aanwezig, dat wil zeggen dat er nog actieve verplaatsingen van sedimenten langs deze breuk voorkomen. Dit is een natuurlijk proces, maar kan wel gepaard gaan met trillingen (seismische activiteit) die ook aan het oppervlak gevoeld kunnen worden. Het bereik dat hier in ogenschouw wordt genomen voor de HTO-activiteiten is ondieper dan de wettelijke 500 m grens voor geothermie, waarvoor de mijnwet geldt. De huidige risico-analyses (bijv. het SHRA protocol van IF/Q-Con) die momenteel zijn en worden opgesteld zijn echter gerelateerd aan de diepere toepassingen. In deze risico-analyses wordt o.a. gekeken naar de nabijheid van de locatie t.o.v. een tektonisch actief gebied (zoals bijv. de Roerdal Slenk in Limburg en Noord-Brabant). Daarnaast is de verwachting dat (geothermie) systemen in breuk gerelateerde permeabiliteits systemen een hoger risico profiel krijgen. Hier is echter bij de geëvalueerde HTO-systemen geen sprake van, omdat er wordt uitgegaan van de matrix permeabiliteit van de zandlagen. Hierbij moet wel voldoende afstand van breuken worden gehouden om te voorkomen dat het beïnvloedingsgebied van het systeem (wat betreft druk en temperatuur) niet overlapt met breuken. Het is dus van belang om de breuken goed in kaart te hebben en gebieden met weinig ondergrond data hebben daarom een hoger risico. Mogelijk dat een verlaging of een verhoging van de temperatuur rondom een breuk kan leiden tot beïnvloeding van breukstabiliteit.

Een algemeen risico is dat een verkeerde materiaalkeuze leidt tot een suboptimale operatie van de HTO. Hier zal dan ook uitgebreid aandacht aan moeten worden besteed in de ontwerpfase. Ook hier is het temperatuurniveau van de opgeslagen een belangrijke randvoorwaarde. Bij lage opslagtemperaturen (45 °C) kan nog gewerkt worden met standaard materialen die gebruikelijk zijn bij “lage temperatuur WKO-systemen”. Als de opslagtemperaturen verder oplopen, moet worden overgeschakeld op andere materialen, die bestand zijn tegen de hogere temperaturen. Belangrijke componenten in het ontwerp van de HTO zijn de pompen. Ook voor de keuze van de pompen geldt dat een verkeerde keuze kan leiden tot een suboptimale operatie. De meest waarschijnlijke keuze voor een pompsysteem is een submersible pump (ESP). Het ontwerp en configuratie voor de pompinstallatie is van groot belang voor de continuïteit van de operatie van de HTO en verdient dus extra aandacht in de ontwerpfase. Het vervangen van een pomp tijdens operationele fase is een kostbare en tijdrovende situatie. Redundantie in het ontwerp (bijvoorbeeld door capaciteit middels meerdere injectie en productiebronnen), O&M planning en monitoring van de pompen tijdens operationele fase zijn belangrijke mitigatiemaatregelen.

Het optreden van erosie en corrosie zijn belangrijke faalfactoren voor geothermische systemen, zo mogelijk ook voor HTO. Het risico is dat deze processen leiden tot beschadigde of falende apparatuur in het totale systeem waardoor de productie/injectie stil komt te liggen of de gezondheid, veiligheid, of milieu in gevaar brengt. In de geothermie zijn er verhoogde corrosierisico's door de combinatie van het gebruik van koolstofstalen casings met zout water. Bij de HTO projecten uit het verleden is voor de casings gebruik gemaakt van Glasvezelversterkt Kunststof en is daardoor geen sprake van een risico op corrosie van de casings. Wel is er in het ontwerp aandacht nodig voor corrosierisico's voor andere componenten in het systeem. De hoge temperaturen en het toevoegen van zuur ten behoeve van de waterbehandeling zijn hierbij risico verhogende factoren.

Een kwalitatieve analyse van de mogelijke risico's van bronfalen (verlies bronintegriteit) is reeds onderzocht in eerdere haalbaarheidsstudies (TNO, 2016) en omvat de belangrijkste faalscenario's

voor de bronnen in de HTO: interne en externe corrosie; materiaalstress; en productiefouten van de bron(materialen). Deze scenario's kunnen in theorie lekkage van formatiewater uit de reservoirs in bovenliggende watervoerende pakketten als gevolg hebben. Dit kan vervolgens thermische, chemische en microbiologische effecten hebben. Er zijn beproefde methoden beschikbaar om bovenstaande faalscenario's en hun mogelijke effecten nauwkeurig te identificeren en monitoren. Tenslotte zijn de effecten te corrigeren doormiddel van technische en operationele maatregelen. Tijdens detail engineering van een HTO-project zullen de risico's in meer detail worden uitgewerkt in een HAZID/HAZOP proces (TNO, IF Technology, 2016). Ervaringen en "Lessons Learned" uit de WKO, geothermie en olie en gassector zullen worden toegepast in dit proces.

Samenvattend, de belangrijkste mitigatiemaatregelen voor de genoemde technische risico's zullen zijn:

- Proefboring om in detail eigenschappen van de ondergrond in kaart te brengen
- Toepassing laatste inzichten omtrent materialen, ontwerp en componentenkeuze opgedaan in onderzoeksprogramma's voor (hoge temperatuur) geothermie projecten en olie- en gasprojecten.
- Een HAZID/HAZOP proces is integraal onderdeel van het project om samen met stakeholders de belangrijkste risico's voor milieu, techniek en mensen te identificeren, karakteriseren en mitigeren.
- Specifiek monitoringprogramma

Milieu- en veiligheidsrisico's

HTO-systemen kunnen effecten hebben op de milieuhygiënische toestand van de ondergrondse omgeving waarbinnen ze geïmplementeerd zijn. De hoge temperaturen van een HTO systeem kunnen tot gevolg hebben dat de effecten op de chemie en de microbiologie van het grondwater duidelijk groter zijn dan bij "lage temperatuur" WKO.

De belangrijkste aandachtspunten in de vergunningverlening zijn:

- A) Fysische/chemische eigenschappen van het grondwater
- B) Microbiologie
- C) Grond mechanische effecten
- D) Effecten waterbehandeling op waterkwaliteit
- E) Warmteverlies van de put naar ondiepe lagen
- F) Lekkage van boorvloeistoffen of radioactieve vloeistoffen voor loggingsdoeleinden
- G) Lekkage van reservoir water naar ondiepe lagen

Ad A) De toename in temperatuur van de ondergrond, die komt kijken bij opslag van warmte in de ondergrond op hoge temperatuur, kan tot verandering in de samenstelling van het grondwater leiden. Wanneer er andere grondwatergebruikers binnen het invloedsgebied van de warmteopslag gelegen zijn, kunnen deze nadelig beïnvloed worden. Op basis van mogelijke nadelige beïnvloeding van andere grondwatersystemen kan het bevoegd gezag weigeren om een vergunning Waterwet af te geven voor het warmteopslagsysteem.

Ad B) Ook de samenstelling van de microbiologische populatie in de ondergrond is temperatuurgevoelig. Vanuit milieutechnische hoek is het van belang om het grondwater, dat van nature anaeroob (zuurstofloos) is, ook anaeroob te houden, zodat pathogene microben geen kans krijgen. Een technisch risico m.b.t. microbiologie is de kans op productie van waterstofsulfidegas, dat door sulfaatreducerende bacteriën kan worden geproduceerd wanneer er voldoende voedingsstoffen en sulfaat aanwezig zijn in het grondwater.

Ad C) Grondmechanische effecten treden op door de stijghoogteveranderingen van een open bodemenergiesysteem. Bij een warmteopslag komt daar een aanvullend effect van de opwarming van de ondergrond bij.

Ad D) Voor opslag van warmte met een temperatuur hoger dan 45 °C is vermoedelijk zuurdosering nodig om verstopping van de putten door kalkneerslag te voorkomen. Wanneer waterstofchloride (HCl) wordt gedoseerd, kan lokaal de chlorideconcentratie toenemen.

Ad E) De stijgbuis van de warmteopslag warmt op wanneer er warm water doorheen stroomt. Naar verwachting treedt er enige opwarming van de directe omgeving van de stijgbuis op.

Ad F), G) Een eerder uitgevoerde haalbaarheidsstudie voor een HTO-project liet een kwalitatieve analyse van de mogelijke risico's van putfalen zien. Deze omvatte de belangrijkste faalscenario's voor de bronnen in de HTO: Interne en externe corrosie; materiaalstress; en productiefouten. Deze scenario's kunnen lekkage van formatiewater in bovenliggende watervoerende pakketten als gevolg hebben. Dit kan vervolgens thermische, chemische en microbiologische effecten hebben. Er zijn beproefde methoden beschikbaar om bovenstaande faalscenario's en hun mogelijke effecten te monitoren. Tenslotte zijn de effecten te corrigeren doormiddel van technische en operationele maatregelen. Mochten er milieueffecten optreden dan lijken deze niet onomkeerbaar.

Organisatorische risico's

A. Ontbreken of onvoldoende commitment stakeholders

B. Inpassing systeem lastig of niet mogelijk

Ad A) HTO is een techniek die nog in een ontwikkelfase zit. Dit zorgt voor onzekerheid over hoe het systeem in de praktijk gaat functioneren, terwijl er wel een forse investering gedaan moet worden om het systeem te realiseren. Wanneer stakeholders onvoldoende vertrouwen hebben in een succesvol project, bestaat het risico dat het project voortijdig wordt stop gezet. Het is van belang om regelmatig een update uit te voeren van zowel de business case als risico-analyse, zodat in een zo vroeg mogelijk stadium bijgestuurd kan worden op een positief resultaat.

Ad B) In veel gevallen zullen bronnen en leidingwerk niet op het eigen terrein geplaatst kunnen worden. In dat geval moet gekeken worden of bronnen op grond van derden gerealiseerd kan worden, of dat grond aangekocht kan worden. Vanuit de WKO-markt is de ervaring dat dit in veel gevallen wel mogelijk is, maar dat dit het project welk kan vertragen. HTO systemen hebben een grotere omvang nodig dan een gemiddeld WKO-systeem, en hebben daardoor vaak meer bronnen, waardoor de complexiteit van het vinden van geschikte boorlocaties verder toeneemt. Reeds in een vroeg stadium van het onderzoek dient gezocht te worden naar de meest optimale locatie voor de HTO. Dit is een samenspel van bestaande infrastructuur, ligging van bronnen en bovengrondse situatie.

Bijlage VI. Bevindingen Werkgroep verkennen haalbaarheid HTO

Bevindingen Werkgroep verkennen haalbaarheid HTO

September 2020, Job van den Berg en Murette Zwamborn

Aanleiding en doel

Het programma WINDOW van de gezamenlijke Nederlandse warmtebedrijven onderzoekt de kansrijkheid van Hoge Temperatuur Warmteopslag (HTO) in de diepere ondergrond. Daarvoor zijn zes locaties geselecteerd voor het verkennen van de haalbaarheid en het mogelijk voorbereiden van een pilot. Een van die locaties is het Amerwarmtenet. Het programma WINDOW is voortgekomen uit een TKI gefinancierd onderzoeksproject; TNO, KWR, Deltares maken o.a. deel uit van het consortium. Het programma WINDOW heeft de verkenning van de haalbaarheid voor het Amernet in de periode maart – september 2020 uitgevoerd. De verkenning betreft alle belangrijke haalbaarheidsaspecten (o.a. (geot)technisch, milieu, juridisch-procedureel en financieel).

Voor de verduurzaming van het Amernet is het de moeite waard om seizoensbuffering van warmte te onderzoeken en ontwikkelen, omdat dit de balans in het warmtenet kan verbeteren en een belangrijke verduurzamings- en efficiencybijdrage kan zijn. Ennatuurlijk wil met deze studie voornamelijk inzicht krijgen in de haalbaarheid van HTO in warmtenetten. Bij aanvang van de verkenning voor het Amernet is de juridische haalbaarheid al als een belangrijk aandachtspunt geïdentificeerd, en als ‘mogelijke showstopper’ beoordeeld. Gezien de verwachte meerwaarde van warmteopslag voor het Amernet, is de verkenning wel binnen het WINDOW programma opgenomen.

Op verzoek van Ennatuurlijk is vanuit de programmaregie Amernet in overleg met Murette Zwamborn, programmamanager van WINDOW een werkgroep samengesteld waarin alle belanghebbenden zijn gevraagd deel te nemen, zodat de haalbaarheidsverkenning ook het karakter van joint fact finding heeft gekregen. Deelnemers in de werkgroep: Provincie Noord Brabant, Ennatuurlijk, Gemeente Tilburg, Gemeente Breda, Gemeente Dongen, Enpuls/Enexis. Brabant Water en Vereniging Industriewater nemen deel als agendalid. De werkgroep wordt georganiseerd en voorgezeten door de programmaregisseur verduurzamen Amernet.

Betekenis HTO voor Amerwarmtenet en voor Noord Brabant

Ennatuurlijk staat voor een grote opgave en wanneer HTO financieel en technisch interessant is, zien zij op meerdere plaatsen kansen voor HTO in hun warmtenetten. Voor deze studie is ook de juridische haalbaarheid van belang. De Provincie Noord Brabant heeft een strikt beleid met betrekking tot bescherming van aanwezig drinkwater. Ervaringen die in dit project worden opgedaan op het gebied van juridische haalbaarheid zijn ook interessant voor andere potentiële projecten in Noord Brabant.

Potentiele locaties met kansen voor HTO in het Amernet zijn door Ennatuurlijk geïdentificeerd in de directe nabijheid van wijken die geschikt zijn voor warmte met een lage(re) temperatuur.

De locaties bevinden zich bij voorkeur ook dicht bij een verdeelstation. Voor Breda zijn dit Haagse Beemden/Overkroeten en De Bouverijen, voor Tilburg is het Reeshof Zuid.

In de haalbaarheidsstudie is gekeken naar de Reeshof Zuid. Dit deel van het warmtenet kan van warmte met een lage temperatuur worden voorzien en ligt tevens aan de randen van het warmtenet. Het is daarom naar verwachting een geschikte locatie voor het toepassen van HTO. Ten noordoosten van de wijk ligt het verdeelstation voor Reeshof Zuid. Inzichten uit de haalbaarheidsstudie voor Reeshof Zuid kunnen naar verwachting worden 'vertaald' naar de Bredase locaties.

Bevindingen haalbaarheid HTO voor Amernet

In de bijlage bij deze notitie is een samenvatting opgenomen van voor deze bevindingen relevante resultaten uit het tussenconcept van het haalbaarheidsonderzoek. Op basis van eerste bespreking van de (concept)resultaten in de werkgroep vergadering van 20 augustus en bilateraal overleg met werkgroepleden van de Provincie Noord Brabant en de gemeente Tilburg, zijn nog enkele nieuwe figuren en beschrijvingen in de bijlage toegevoegd.

Naar aanleiding van de besprekingen, kan een aantal bevindingen worden geformuleerd (en in de werkgroepbijeenkomst op 24 september nader worden besproken en aangevuld).

1. De locatie Reeshof-Zuid ligt in een gebied met een verbreukte ondergrond, enkele kilometers ten oosten van de Gilze-Rijen breuk. Op de locatie is de strijdigheid met het drink- en grondwaterbeschermingsbeleid een belangrijke belemmering. Het is onwaarschijnlijk dat de Provincie hier een ontheffing zal verlenen. De provincie Noord-Brabant is bezig met voorbereiding van nieuw provinciaal beleid voor bodemenergiesystemen, ter vervanging van de tot nu geldende '80 meter regel'. Het nieuwe beleid stelt voor om in plaats van deze fictieve grens de belangrijkste scheidende kleilaag aan te houden. Die lagen liggen in sommige delen van Brabant hoger, en in andere delen lager dan 80 meter. Daarmee komt het beschermingsregime in de regio Tilburg voor grondwater ondieper te liggen dan in het huidige grondwaterbeleid.

Het inpassen van ondergrondse warmteopslag op de locatie Reeshof-Zuid en verder in Tilburg gaan tegen de huidige beleidsontwikkeling in. Aan een eventuele ontheffing zal een beleidsdiscussie vooraf moeten gaan, met een beschouwing van zwaarwegende redenen (voor de verduurzaming van / verbeteren van de balans in het Amernet i.r.t. grondwaterbescherming) en onderbouwing dat er geen echt geschikte alternatieven zijn voor (ondergrondse) warmteopslag in dit deel van het Amernet (alternatieve locaties, dieptes of alternatieve technieken).

- a. *Actie Ennatuurlijk: onderbouwen van het belang van HTO/seizoensbuffering voor het toekomstig functioneren van het Amernet.*
 - b. *Voor WINDOW programma – dat als doel heeft in de komende twee jaar twee concrete demonstratieprojecten t/m vergunningverlening voor te bereiden – past een lang durend ontheffingstraject niet in de planning. Is het te overwegen (als ad a. zwaarwegend is) om buiten WINDOW programma/in kader van Amernet programma zo'n traject op te pakken?*
2. Ten westen van de Gilze-Rijen breuk (circa 5 km ten westen van Reeshof-Zuid locatie) liggen de lagen waaronder het beschermingsregime voor grondwater geldt, dieper dan in de regio

Tilburg. Daarentegen is de voor HTO geschikte bodemlaag daar ondieper aanwezig. Dat geldt ook voor de locaties bij Breda.

Binnen WINDOW zijn op dit moment al potentieelkaarten beschikbaar, waar de bodemtechnische geschiktheid voor ondergrondse warmteopslag in kaart is gebracht voor heel Nederland. In de vervolgfase van WINDOW worden de potentieelkaarten uitgebreid met de juridische geschiktheid. De haalbaarheid van warmteopslag in het hele Amergebied kan dan geëvalueerd worden.

- a. Is het te overwegen om in het kader van het Amernet programma de haalbaarheid van warmteopslag in het hele Amergebied te evalueren, gebruik makend van de te ontwikkelen potentieelkaarten in het WINDOW programma?*
3. Voor de Provincie Noord Brabant is relevant om ook de haalbaarheid van HTO in diepere lagen (>500m) te onderzoeken, omdat dit in de gehele Provincie beter in overeenstemming kan worden gebracht met het drink- en grondwaterbeschermingsbeleid, en omdat HTO voor de energietransitie een serieus te overwegen optie is.
 - a. Dit is niet in de scope van het WINDOW programma opgenomen. In hoeverre worden deze bodemlagen onderzocht binnen het thema Geothermie van WarmingUP, of ander lopend onderzoek in Noord-Brabant?*

Conclusies en aanbevelingen

5. De nu gekozen locatie Reeshof-Zuid blijkt in het haalbaarheidsonderzoek niet verenigbaar te zijn met het grondwaterbeschermingsbeleid van de Provincie Noord Brabant
6. Ontheffing voor HTO in dit deel van de ondergrond (Reeshof Zuid) is onwaarschijnlijk en vergt een beleidsdiscussie met beschouwing van zwaarwegende redenen voor de Amerwarmtenet ontwikkeling.
7. De mogelijkheden ten westen van de Gilze-Rijenbreuk lijken juridisch-procedureel iets eenvoudiger. Is HTO daar (ondergrond- en omgevings)technisch uitvoerbaar?
8. Onderzoek de haalbaarheid van HTO in geschikte diepere bodemlagen.

Oproep Stuurgroep Amernet tot vervolgonderzoek

Op 23 september 2020 zijn bovenstaande bevindingen besproken in de Stuurgroep Amernet, waarin bestuurders van Provincie Noord Brabant, de Gemeenten Tilburg, Breda, Oosterhout, Drimmelen en Dongen en van Ennatuurlijk en Enexis/Enpuls zitting hebben.

Vanwege het belang van een kritische, integrale afweging voor toekomstige uitdagingen in de energietransitie is door de Stuurgroep geconcludeerd dat HTO voor de verduurzaming van het Amernet te belangrijk is om nu te snel te concluderen dat de huidige (strikte) wet- en regelgeving voor de ondergrond HTO nu lastig of onmogelijk maken op daarvoor potentieel geschikte plaatsen in het (bestaande en toekomstige) warmtesysteem. De stuurgroep spreekt uit de uitdaging op te willen zoeken om integraler naar de opgave te kijken en daarbij te kijken welke (strikte) randvoorwaarden voor het inpassen van HTO kunnen worden overwogen.

De werkgroep HTO heeft vervolgens op 24 september aan de vertegenwoordiger van de Provincie Noord Brabant gevraagd de mogelijkheden voor een vervolgonderzoek als bedoeld

door de Stuurgroep Amernet te verkennen en daarin Brabant Water te betrekken. De vervolgens uitgevoerde verkenning leidt tot de volgende aanbeveling.

Aanbeveling vervolgonderzoek HTO in de Brabantse ondergrond in 2021

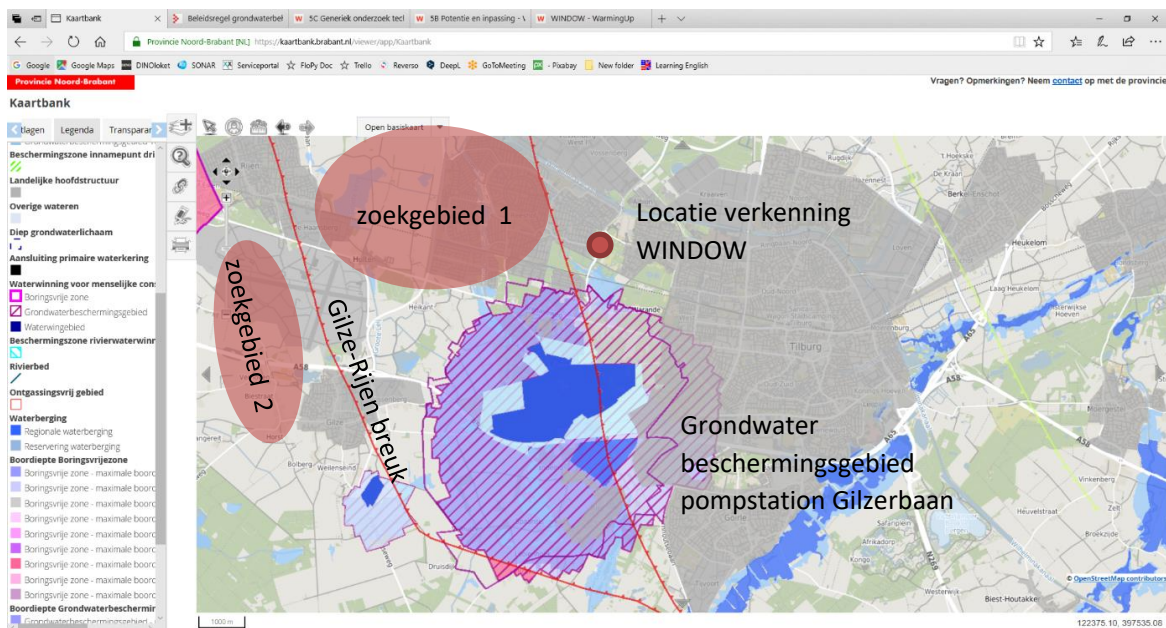
Doe in 2021 een Brabant-breed onafhankelijk, integraal vervolgonderzoek naar de (on)mogelijkheden, alternatieven, condities en (strikte) voorwaarden voor HTO in de ondergrond, t.b.v. seizoensbuffering voor warmtenetten. Zoek daarbij de synergie met het (juridisch-procedurele deel van het) WINDOW programma. Doel van het onderzoek is: fact finding (door zo integraal mogelijk te kijken) en kennis delen en verbinden. Betrek vertegenwoordigers van alle relevante direct belanghebbenden in een begeleidingsgroep bij dit onderzoek (provincies, gemeenten, warmtebedrijven, Brabant Water, Vereniging Industriewater).

Bijlage 1 bij bevindingen notitie Samenvatting resultaten haalbaarheidsonderzoek

De haalbaarheid van HTO staat of valt bij de geschiktheid van de ondergrond en de juridische mogelijkheden om daar in verband met het grond- en drinkwaterbeschermingsbeleid voor het HTO-doel gebruik van te mogen maken (juridisch, vergunningvoorwaarden). Daarom beperkt deze samenvatting zich tot die aspecten. Deze inzichten uit het haalbaarheidsonderzoek voor Reeshof Zuid kunnen als volgt kort worden samengevat:

- **De beoogde HTO locatie Reeshof Zuid** Het gebied nabij de beoogde locatie is verbreukt. Ten westen van de locatie, op enkele km afstand van de beoogde locatie ligt de Gilze-Rijen breuk. Op korte afstand van de Reeshof Zuid (~1 km) ligt een andere breuklijn (rode lijnen in onderstaande figuur).

De locatie ligt buiten de grondwaterbeschermingsgebieden (i.e. grondwaterbeschermingsgebied, boringsvrijezone, 100-jaarszone, waterwingebied drinkwater, Natura2000). Wel begint op ~1 km afstand ten zuiden de boringsvrije zone rondom het waterwingebied (Figuur 2-1 uit het 1^e concept haalbaarheidsonderzoek).

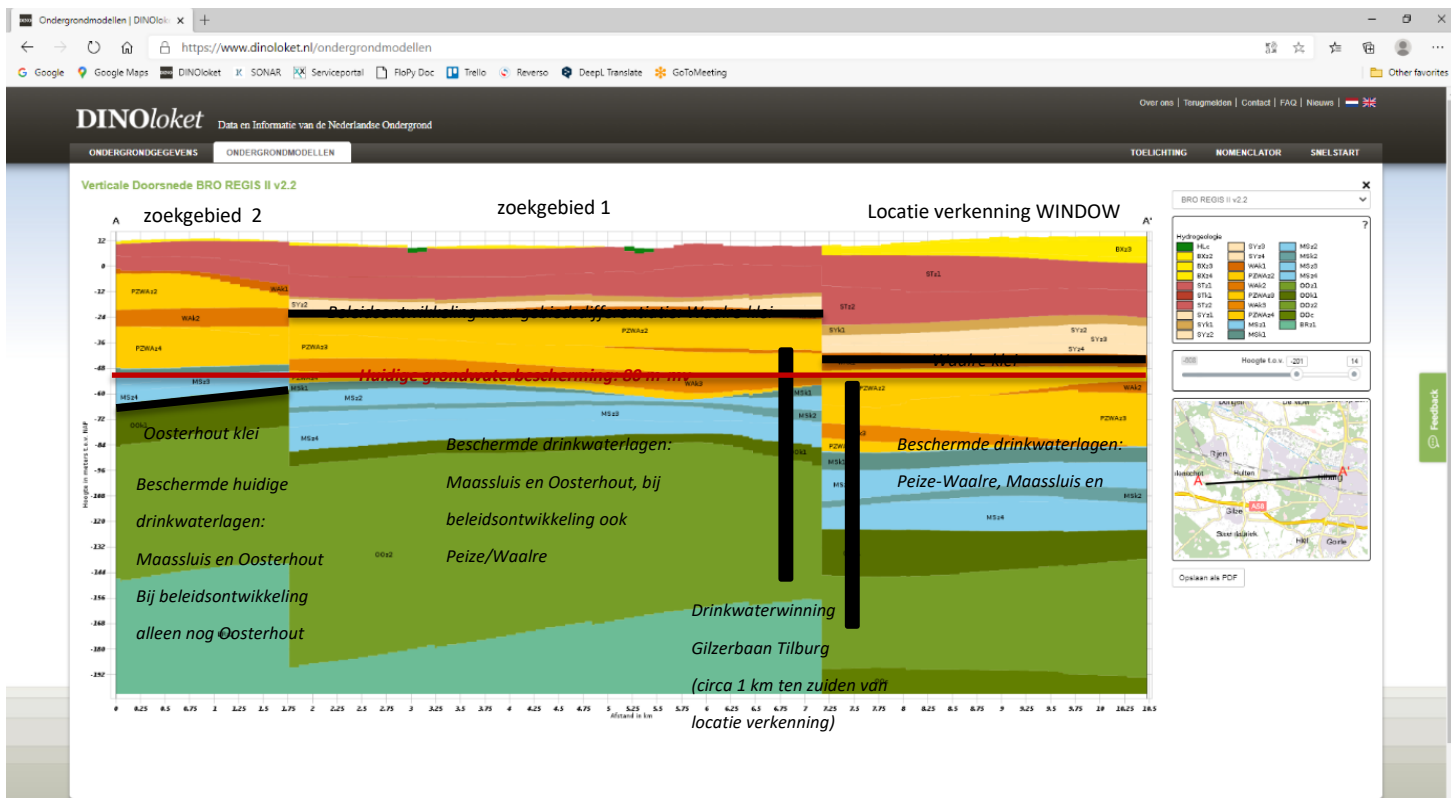


Figuur 1: Ligging beoogde HTO locatie in de verkenning van WINDOW (Reeshof Zuid), en de ligging van twee zoekgebieden.

Bron: kaartbank provincie Noord-Brabant <https://kaartbank.brabant.nl/viewer/app/Kaartbank>

- **De geschikte bodemlaag.** De Maassluis formatie (MSz2, MSz3, MSz4) en Oosterhout (OOz1) formatie zijn de meest opportune lagen (zie figuur aan het einde van deze bijlage). Omdat de dikte van de Maassluis formatie slechts gering is worden de onderste 2 lagen van de Maassluis formatie gecombineerd, dit resulteert in een laag van 16m dikte, wat voldoende kan zijn voor een warmteopslag systeem. De Formatie van Maassluis ligt op een diepte variërend tussen 80-150 m-mv. De Oosterhout formatie is een laag met een ruime dikte van >50m (Tabel 2-2 haalbaarheidsonderzoek).

- **Thermische verspreiding.** Omdat de afdekkende laag boven de opslag formatie (tussen Maassluis zand 2 en Maassluis zand 3/4) relatief dun is, warmt de bovenliggende aquifer (Maassluis zand 2) al relatief snel op door de warmteopslag. In deze laag ontstaan convectie-cellen door het relatief grote temperatuurverschil tussen de onderliggende en bovenliggende temperatuur. De warmte verspreid zich daarom relatief snel door deze laag. Aan de onderkant van de Maassluis formatie bevindt zich een dikke kleilaag. Warmte verspreiding naar onderliggende lagen is dus relatief klein. Let wel, het gaat hier om een worst-case benadering.
- **Het huidige grondwaterbeschermingsbeleid.** In de Provincie Noord-Brabant geldt op dit moment het algemene beleid dat er dieper dan 80 m-mv (m beneden maaiveld) géén vergunningen voor open bodemenergiesystemen worden verleend. Dit geldt voor heel Noord-Brabant, en staat beschreven in de Beleidsregel grondwaterbeheer Noord-Brabant (laatste versie geldig sinds 09 april 2020). In Noord-Brabant ligt de zoet-zoutgrens relatief diep: 200 m-mv in het westen tot ca. 600 m-mv in het zuidoosten van de provincie. Daarmee is er een aanzienlijke hoeveelheid zoet water aanwezig in de provincie. *Als beleid geldt dus voor heel Noord-Brabant dieper dan 80 m-mv een beleidsrestrictie op open bodemenergiesystemen dieper dan 80 m-mv.* Voor het afwijken van vastgelegd beleid dient het initiatief (de HTO) beoordeeld te worden door Gedeputeerde Staten (GS) van de provincie. In de praktijk dient de initiatiefnemer (toekomstig vergunninghouder/operator van de HTO) een initiatief (HTO) in bij de Omgevingsdienst Zuid-Oost Brabant (ODZOB), die namens GS werkzaamheden uitvoert m.b.t. bodemenergie
- **Beleidsontwikkeling naar gebiedsdifferentiatie.** De Provincie Noord-Brabant is bezig met verdere beleidsontwikkeling rondom zowel open als gesloten bodemenergiesystemen, waarbij gebiedsdifferentiatie wordt toegepast. Per 1 januari 2022 wordt de definitieve omgevingsverordening ingevoerd, tegelijkertijd met de omgevingswet. In de definitieve verordening zal de 'harde' 80 m-mv grens aangepast worden zodat deze aansluit bij de regionale diepte van de scheidende kleilaag. In figuur 2 op de volgende bladzijde staat weergegeven, hoe deze beleidsontwikkeling voor de regio Tilburg mogelijk zal uitwerken. Hieruit blijkt dat de beleidsontwikkeling ter plaatse van Tilburg meer restricties zal gaan opleveren voor toepassing van HTO. Ten westen van de Gilze-Rijen breuk, op enkele km afstand ten westen van Tilburg, zijn wellicht meer mogelijkheden.
- **CONCLUSIE:** Er is een (vanuit het perspectief van het WINDOW onderzoeksprogramma zeer) lange termijn van toepassing op de procedure die nodig is om een vergunning Waterwet te krijgen voor een HTO in de formatie van Maassluis/Oosterhout in Tilburg. Een HTO op die diepte is niet in lijn met het huidige beleid en evenmin met voorziene beleidsontwikkeling, en daarom moet een uitzondering worden verleend door Gedeputeerde Staten, in een traject dat veel tijd zal kosten (ga uit van een extra jaar). Pas na ontvangen van goedkeuring van het initiatief van GS kunnen de werkzaamheden voor de procedure Waterwet worden opgestart, die vervolgens ook de nodige tijd vraagt.



Figuur 2: Bodemopbouw op basis van dwarsdoorsnede Dinoloket van de omgeving Tilburg (<https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>), met daarin weergegeven het huidige grondwaterbeschermingsbeleid en de beleidsontwikkeling naar gebiedsdifferentiatie.

Kleuren van meest relevante bodemlagen:

- Formatie van Peize/Waalre – oranje
- Formatie van Maassluis – blauw
- Formatie van Oosterhout - groen

Toelichting mogelijkheden voor HTO binnen het huidige beleid en volgens beleidsontwikkelingen in de verschillende gebieden¹:

- **Locatie verkenning WINDOW (Reeshof Zuid):** Bescherming vanaf de Waalreklei. De formaties van Peize/Waalre, Maassluis en Oosterhout, die qua bodemsamenstelling geschikt zouden zijn voor warmteopslag, zijn in huidig en voorgenomen beleid beschermde drinkwaterlagen.
- **Zoekgebied 1 (Westkant Tilburg):** In het huidige beschermingsbeleid zijn de formaties van Maassluis en Oosterhout, die qua bodemsamenstelling geschikt zijn voor warmteopslag, beschermde drinkwaterlagen. Bij toewerken naar gebiedsgedifferentieerd beleid zou ook Peize/Waalre in dit gebied een beschermde drinkwaterlaag worden.
- **Zoekgebied 2 (Circa 5 km ten westen van Reeshof-Zuid, ten westen van de Gilze-Rijen breuklijn):** In het huidige beschermingsbeleid zijn de formaties van Maassluis en Oosterhout, die qua bodemsamenstelling geschikt zijn voor warmteopslag, beschermde drinkwaterlagen. Bij toewerken naar gebiedsgedifferentieerd beleid zou de formatie van Maassluis in dit gebied géén beschermde drinkwaterlaag meer zijn, de formatie van Oosterhout wel. Dit biedt kansen voor toepassing van HTO in de formatie van Maassluis in dit gebied.

¹ Locatie verkenning WINDOW (Reeshof Zuid) en zoekgebieden zijn weergegeven in figuur 1.

**Eindredactie van dit
deelrapport door KWR**

Adres
Groningenhaven 7

Postadres
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein