

## **A1**

# **Notitie vergelijking en selectie locaties voor ondergrondse warmteopslag**

22 december 2020

# A1 - Notitie vergelijking en selectie locaties voor ondergrondse warmteopslag



Dit rapport is gezamenlijk opgesteld door het uitvoeringsteam van WINDOW.

## Auteurs:

Marette Zwamborn (KWR), Rob Kleinlugtenbelt (IF Technology)  
met medewerking van het gezamenlijke uitvoeringsteam van WINDOW

## Borging van het selectieproces door de beoordelingscommissie WINDOW Fase 1:

Gijs de Man (SVP), Jorien Schaaf (EBN), Jan Frank Mars (RWS/Bodem+)

22 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 2020.148

## 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 veeleelvoudigd, 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.

# Inhoudsopgave

<b>1. Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1 Achtergrond en doel	4
1.2 Werkwijze en proces	5
1.3 Leeswijzer	6
<b>2 Quickscans ondergrondse warmteopslag</b>	<b>7</b>
2.1 Beoordelingscriteria quickscan	7
2.2 Uitwerking 21 quickscans en beoordeling	7
2.3 Selectie van zeven verkenningen	11
<b>3 Verkenningen ondergrondse warmteopslag</b>	<b>12</b>
3.1 Uitwerking van de verkenningen	12
3.2 Criteria voor beoordeling van de locaties	12
3.3 Beoordeling locaties verkenningen per criterium	13
3.4 Totaal beoordeling locaties verkenningen	16
3.5 Toelichting vervolgstappen voor de drie kansrijke locaties	17
3.6 Conclusie	19
Bijlage 1 Quickscans toelichting criteria en beoordeling geohydrologische geschiktheid	
Bijlage 2 Management samenvattingen uit de verkenningen	
Bijlage 3 Analyse verkenningen (sheets uit WINDOW-presentatie)	

# 1. Inleiding

## 1.1 Achtergrond en doel

### WINDOW programma

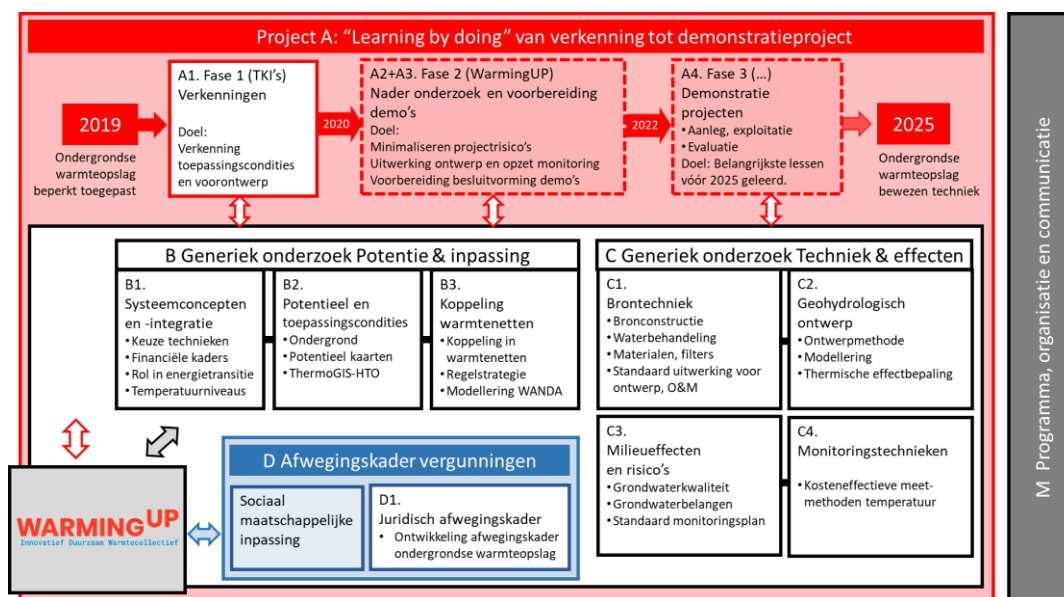
Binnen het WINDOW consortium werken bedrijven, overheden en onderzoeksorganisaties samen aan de ontwikkeling van ondergrondse warmteopslag. Doel van het WINDOW programma is het wegnemen van technische, juridische en bedrijfs-economische belemmeringen en beter inzicht te krijgen in de effecten voor het verantwoord kunnen toepassen van ondergrondse warmteopslag. Dit doen we zodat ondergrondse warmteopslag na 2025 als bewezen techniek kan worden toegepast en warmte van duurzame warmtebronnen zoals geothermie en restwarmte optimaal kan worden ingezet en kan bijdragen aan kostenreductie van collectieve warmtesystemen op systeemniveau.

### Project A: learning-by-doing

Binnen het WINDOW project wordt in project A stapsgewijs toegewerkt naar een aantal demonstratieprojecten voor ondergrondse warmteopslag. Project A is bedoeld als integratieproject: 'learning-by-doing'. De activiteiten in project A zijn in samenwerking met alle consortiumpartners, met bijdragen vanuit de andere werkpakketten van WINDOW.

### Werkpakket A1: quickscans en verkenningen

In WINDOW fase 1 is werkpakket A1 uitgevoerd. In dit werkpakket zijn eerst 21 quickscans uitgevoerd, waaruit kansrijke locaties zijn geselecteerd. Voor zeven locaties zijn vervolgens verkenningen uitgewerkt. Aan het einde van fase 1 zijn op basis van de vergelijking van de verkenningen de drie meest kansrijke HTO-locaties geselecteerd. Deze locaties gaat het WINDOW consortium in fase 2 verder uitwerken, als voorbereiding op demonstratieprojecten in fase 3.



Figuur 1 – Opzet van het WINDOW programma.

### ***Doel van deze notitie***

In deze notitie is het gevolgde proces van WINDOW fase 1 beschreven, als verslaglegging van een traject waarbij consortiumdeelnemers gezamenlijk randvoorwaarden voor kansrijkheid van ondergrondse warmteopslag hebben bepaald en in een selectieproces de meest kansrijke locaties zijn bepaald.

- De gebruikte criteria en de gemaakte afwegingen bij de vergelijking en selectie van de locaties biedt inzicht, hoe de kansrijkheid van ondergrondse warmteopslag op een bepaalde locatie beoordeeld kan worden.
- Het selectieproces is illustratief voor de selectie van praktisch toepasbare projecten, uit de vele locaties waar in theorie de potentie voor warmteopslag aanwezig is.

De notitie is samengesteld op basis van diverse interne notities binnen het WINDOW-consortium tijdens fase 1.

## **1.2 Werkwijze en proces**

### ***Inbreng locaties en opstellen selectiecriteria***

Aan het begin van het WINDOW fase 1 project, in het najaar van 2019, hebben de participerende deelnemers in totaal 21 locaties als mogelijke casus voorgedragen. Ook zijn de selectiecriteria opgesteld voor de beoordeling van de quickscans en de verkenningen. De consortium deelnemers hebben input gegeven op de criteria. Ook het belang van elk criterium is daarbij besproken.

### ***Uitvoering quickscans en selectie locaties voor verkenningen***

De 21 voorgedragen locaties zijn middels een quickscan beoordeeld op basis van kansrijkheid. De beoordeling is uitgevoerd door het WINDOW uitvoeringsteam (IF, TNO, Deltares en KWR). De concept notitie van de quickscans is rondgestuurd aan alle consortium deelnemers. Opmerkingen, aanvullingen en aanscherpingen zijn verwerkt, en er is een voorstel opgesteld voor een keuze van locaties voor verkenningen.

De voorgestelde keuze voor de verkenningen is vervolgens voorgelegd aan de beoordelingscommissie (Gijs de Man, Jan Frank Mars, Jorien Schaaf). De beoordelingscommissie heeft een eindadvies aan het consortium gegeven. Na overleg met betrokken deelnemers zijn uiteindelijk zes locaties geselecteerd voor de verkenningen, plus een extra locatie die als parallel traject is uitgevoerd. De keuze voor de locaties is vastgesteld in een brede consortium meeting in januari 2020.

### ***Uitvoering verkenningen en selectie locaties voor WINDOW fase 2***

De verkenningen zijn uitgevoerd voor zeven locaties. Zes verkenningen zijn uitgevoerd door het WINDOW uitvoeringsteam (IF, TNO, Deltares en KWR), de zevende is als parallel traject uitgevoerd door Engie en TU Delft. De methodiek van de verkenning is waar mogelijk op elkaar afgestemd en de resultaten zijn met elkaar gedeeld. Consortiumdeelnemers hebben uitgangspunten en informatie aangeleverd, varianten aangedragen en de resultaten en conclusies besproken.

Na het opstellen van de verkenningen, is de eerste beoordeling uitgevoerd door het WINDOW uitvoeringsteam. De eerste beoordeling is voorgelegd aan alle consortium deelnemers en aan de beoordelingscommissie (Gijs de Man, Jan Frank Mars, Jorien Schaaf). Aan de direct betrokken stakeholders bij de locaties is gevraagd om hun commitment aan te geven voor verdere ontwikkeling van

HTO voor een locatie. Opmerkingen, aanvullingen en aanscherpingen zijn vervolgens verwerkt in een definitieve beoordeling.

De definitieve beoordeling en de voorgestelde keuze voor de locaties is besproken in de beoordelingscommissie, die een eindadvies aan het consortium heeft gegeven. Op basis van het eindadvies zijn de uit te werken locaties voor fase 2 (unaniem) vastgesteld in een brede consortium meeting in november 2020.

### ***Projectleiding en procesbegeleiding***

De projectleiding van werkpakket A1 lag in handen van IF Technology, de procesbegeleiding van de beoordeling en selectie van locaties is uitgevoerd door KWR als coördinator van het WINDOW-programma.

## **1.3 Leeswijzer**

De notitie is samengesteld op basis van diverse interne notities binnen het consortium tijdens WINDOW fase 1.

- In hoofdstuk 2 zijn de quickscan resultaten en de selectie van zeven verkenningen opgenomen;
- In hoofdstuk 3 zijn de locaties van de verkenningen beoordeeld en is de selectie van drie locaties voor verdere uitwerking in fase 2 verder toegelicht.

In bijlage 1 staat verdere informatie over de quickscans;

In bijlage 2 zijn de management samenvattingen van de zeven verkenningen opgenomen;

In bijlage 3 zijn sheets opgenomen uit een WINDOW-presentatie, met een analyse van de resultaten van de verkenningen.

## 2 Quickscans ondergrondse warmteopslag

### 2.1 Beoordelingscriteria quickscan

De ingebrachte locaties zijn in de quickscan beoordeeld op de volgende criteria:

- Mogelijke termijn van realisatie en commitment stakeholders
- Bodem: Geohydrologische geschiktheid
- Juridisch: Vergunbaarheid
- Business case: systeemintegratie, omvang en diepte

In bijlage 1 zijn de criteria verder uitgewerkt.

Bij de keuze van de zes verkenningen zijn bij de afweging ook de volgende aspecten beschouwd:

- Betrokken deelnemers
- Variëteit in gekozen formatie, locatie en concept.

### 2.2 Uitwerking 21 quickscans en beoordeling

De resultaten van de quickscan zijn kwalitatief weergegeven in tabel 1.

Hieronder wordt per criterium een korte samenvatting van de beoordeling gegeven.

#### ***Quickscan criterium 1: Mogelijke termijn van realisatie en commitment stakeholder***

In het WINDOW programma wordt toegewerkt naar een demonstratieproject begin 2023. De beschikbaarheid van een warmtebron en een warmtenet is daarbij een randvoorwaarde. Wanneer de vraag en/of het aanbod niet aanwezig zijn vanaf 2023, valt de locatie af. Hoewel de locaties mogelijk kansrijk zijn voor ontwikkeling van ondergrondse warmteopslag, is het voor het WINDOW project niet opportuun om deze locaties verder uit te werken. De locatie IJmond is daarom afgevallen.

Bij veel locaties is de vraag en het aanbod op dit moment al aanwezig. Voor die locaties is zeker dat zij voldoen aan de randvoorwaarden binnen WINDOW.

Bij een aantal locaties is planvorming gericht op realisatie van een warmtebron en warmtenet vóór 2023, waardoor ook deze locaties voldoen aan de randvoorwaarden binnen WINDOW. Echter, het feit dat op deze locaties de randvoorwaarden 'warmtebron' en 'warmtenet' op dit moment nog niet aanwezig zijn, betekent een inherent risico. Dit is aangemerkt als aandachtspunt. De locaties Nieuwegein Zuilenstein en Bleiswijk hebben dit aandachtspunt.

Tabel 1 Kwalitatieve beoordeling locaties

Nr	Locatie (ingebracht door...)	Realisatie	Bodem	Juridisch	Business case	Betrokken deelnemers	Variatie locatie	Variatie aspecten	
1	Nieuwegein Zuilenstein (Eneco)		*			Eneco	Utrecht	UDG	
2	Utrecht Lage Weide (Eneco)		*			Eneco		Data Center	
3	Heerhugowaard (HVC)		*			HVC	NH	Geothermie, biomassa	
4	Alkmaar (HVC)		*			HVC		Biomassa	
5	IJmond (Tata Steel, HVC)		*			HVC, Tata		Restwarmte, Geothermie	
6	Trias Westland (HVC)					HVC, ZH	ZH	Geothermie, Glastuinbouw	
7	Polanen (HVC)					HVC, ZH		Geothermie, Glastuinbouw	
8	Rotterdam Oost (Eneco)					Eneco, ZH			
9	Ypenburg (Eneco)					Eneco, ZH, DH		Geothermie	
10	HAL (Gemeente Den Haag)					ZH, Eneco, HG, DH		Geothermie	
11	Voorne (ZH, Hydreco Geomec)					PZH, HG		Glastuinbouw, al proefboring HTO	
12	Bleiswijk (ZH)					PZH		Geothermie, glastuinbouw	
13	Harnaspolder (Eneco)					Eneco, ZH			
14	Het Groene Net (Ennatuurlijk, Limb)					Ennat, Limburg		Limburg	Andere bodemlaag (F v Breda), biomassa
15	Bommelerwaard (Hydreco Geomec)		*			HG		Gld	Ondiepe geothermie
16	Brabant (Hydreco Geomec)					HG	N Br		
17	Breda (Ennatuurlijk)		*			Ennat		Zonthermie	
18	Tilburg (Ennatuurlijk)					Ennat			
19	Eindhoven (Ennatuurlijk)		*			Ennat		Biomassa	
20	Enschede (Ennatuurlijk)					Ennat	Ov		
21	Leeuwarden (Ennatuurlijk)		*			Ennat, Shell	Fr	Geothermie, restwarmte	

ZH: (Provincie) Zuid-Holland, N. Br.: Noord-Brabant, DH: Gemeente Den Haag, Ennat: Ennatuurlijk, HG: Hydreco Geomec, Gld: Gelderland, Ov: Overijssel, Fr: Friesland  
 UDG: Ultra Diepe geothermie. \*: zie Criterium 2 'Bodem' in paragraaf 2.2 voor toelichting.

Goed
  Gemiddeld
  Matig
  Showstopper
  Info ontbreekt nog



### **Quickscan criterium 2: Bodem: Geohydrologische geschiktheid**

De locaties zijn beoordeeld op geohydrologische geschiktheid. In bijlage 1 is per locatie een beoordeling van de geohydrologische geschiktheid opgenomen, gebaseerd op de criteria lithologie, dikte, diepte en doorlatendheid van de watervoerende laag, aanwezigheid van een afsluitende laag boven en onder het opslagpakket, de nabijheid van breuken en de grondwaterstromingsnelheid.

De locatie Enschede valt af, vanwege een ongeschikte bodemopbouw.

Daarnaast worden een aantal opmerkingen geplaatst bij een aantal projecten (\*' in Tabel 1):

- Warmteopslag in het gebied de Bommelerwaard kent een verhoogd risico, omdat een afsluitende kleilaag naar verwachting daar niet overal aanwezig is.
- De bodemscore voor het project in Eindhoven en Utrecht is met groen beoordeeld. Wel wordt voor deze projecten opgemerkt dat de aanwezige formaties Peize/Waalre en Kiezelooliet zeer grof zijn, wat het behalen van hoge terugwinrendementen bemoeilijkt.
- De bodempotentie nabij de stad Breda is met geel geclassificeerd. Hoewel op basis van de criteria in bijlage 2 een score van 'groen' te verwachten is, is de geohydrologische geschiktheid toch aangemerkt als geel. Deze beoordeling komt tot stand mede op basis van praktijkervaring.
- De bodemscore voor Noord-Holland is met groen beoordeeld. Doorlatendheden worden op basis van een proefboring in Middenmeer hoger ingeschat dan in REGIS, echter blijft er onzekerheid bestaan over de doorlatendheden rondom Alkmaar, Heerhugowaard en IJmond door een beperkt aantal diepere boringen in de nabije omgeving.
- In Leeuwarden is de bodemscore oranje, omdat er voor alle aanwezige formaties een aantal criteria met een '2' zijn gescoord (zie Bijlage 1). Dit heeft voornamelijk te maken met een verhoogd risico op afwezigheid van scheidende lagen.

### **Quickscan criterium 3: Juridisch: Vergunbaarheid**

Per locatie is de vergunbaarheid (of: juridische kansrijkheid) van warmteopslag beoordeeld aan de hand van de volgende twee criteria:

- Grondwaterbelangen en beleid: Ligt de locatie in een grondwaterbeschermingsgebied of een gebied waar toepassing van open bodemenergiesystemen beperkt is toegestaan door specifiek beleid?
  - NB. Er is in de quickscans nog geen rekening gehouden met de aanwezigheid van omliggende bodemenergiesystemen of permanente grondwateronttrekkingen. Een overzicht met omliggende systemen wordt in de verkenningsfase aangevraagd bij het bevoegd gezag.
- Type grondwater: Bevat het opslagpakket zoet of zout grondwater, of beide?
  - Ondanks dat de vergunbaarheid van warmteopslag in zoetwater minder zeker is, achten wij het goed om niet alléén locaties met zout grondwater mee te nemen in de overweging. Daarom is ook de juridische kansrijkheid voor locaties met zoet grondwater beoordeeld.

De beoordeling kent vier categorieën: groen – geel – oranje – rood (aflopende juridische kansrijkheid). De juridische scoring is opgenomen in bijlage 1. De resultaten zijn tevens weergegeven in de kolom 'juridisch' van tabel 1 ('Kwalitatieve beoordeling')

#### **Quickscan criterium 4: Business case: systeemintegratie, omvang en diepte**

De business case hangt af van vele criteria. Om de business case goed in te kunnen schatten, is uiteindelijk een redelijk gedetailleerde uitwerking noodzakelijk. In de voorselectie bij de quickscans is de business case kwalitatief ingeschat op basis van de volgende criteria:

- Systeemintegratie: temperatuurverschil tussen opslag en levering, wel of geen warmtepomp
- Omvang: hoeveelheid opgeslagen/geleverde warmte
- Diepte: dieper of ondieper dan 500 m-mv

De weging is in meer detail toegelicht in bijlage 1.

Er zijn een aantal projecten die hoog scoren op de business case. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat er in deze situaties een groot temperatuurverschil is tussen levering en opslag. Er wordt op hoge temperatuur opgeslagen en warmte wordt afgegeven op een lagere temperatuur. Hierdoor kan de HTO zonder gebruik te maken van een warmtepomp lange tijd warmte leveren. De inzet van de warmtepomp is dan afwezig of minimaal.

#### **Aspecten bij eindafweging quickscans en keuze locaties verkenningen**

In voorgaande zijn de criteria voor haalbaarheid van ondergrondse warmteopslag binnen het WINODW programma beschreven: de bodem moet geschikt zijn voor hoge temperatuuropslag, zowel vraag als aanbod dienen voor 2023 aanwezig te zijn, de vergunbaarheid moet niet bij voorbaat uitgesloten zijn, en de case dient kansen te bieden voor een haalbare business case. In de beoordeling van tabel 1 vallen de categorieën 'goed' en 'gemiddeld' daaronder.

Wanneer hieraan voldaan wordt, is bij de eindafweging naar de volgende punten gekeken:

- Variëteit in gekozen formatie en locatie: om vanuit onderzoeksperspectief zoveel mogelijk relevante informatie te ervaren is het wenselijk om een variëteit in gekozen formaties en locaties te hebben.
- Variëteit in concept: ook bij concepten is het wenselijk om een variëteit te hebben zodat zoveel mogelijk lessen getrokken kunnen worden onder welke omstandigheden HTO het beste toe kan worden gepast. Hierbij valt te denken aan een variëteit in bronnen, opslagtemperaturen, type warmtevragers en wel of geen warmtepomp.
- Aantal belanghebbende consortiumleden: het streven is om alle consortiumleden betrokken te hebben bij één of meerdere locaties waarvoor verkenningen worden uitgevoerd.

## 2.3 Selectie van zeven verkenningen

### ***Selectie van zeven verkenningen***

Op basis van de resultaten van de quickscans, en een overweging rond de aspecten betrokkenheid deelnemers en variatie, zijn zeven locaties voor de verkenningen geselecteerd. Bij het selecteren van deze projecten zijn alle criteria als 'goed' of 'gemiddeld' beoordeeld. Daarnaast zijn met deze selectie alle belanghebbende partijen binnen het consortium betrokken bij een locatie, en ontstaat een variëteit in locaties en formaties. De zeven locaties zijn verder uitgewerkt in hoofdstuk 3.

### ***'Bijzondere' locatie***

De locatie Voorne is ook ingebracht als case. Voor deze locatie ligt er al een compleet ontwerp uit 2013, ook is daar al een proefboring uitgevoerd. Het is niet zinvol om deze locatie op te nemen als verkenning in WINDOW fase 1, evenmin is een proefboring en ontwerp nodig in WINDOW fase 2 (WarmingUP). Het is wel een interessante locatie voor een demonstratieproject in (beoogd) fase 3 van WINDOW. Een beperkte update van het ontwerp zal dan wel nodig zijn.

### ***Quickscans waarvoor géén verkenning wordt uitgewerkt***

Een aantal projecten is niet geselecteerd, omdat de bodem ongeschikt is (Enschede) of omdat de vraag en/of aanbod niet aanwezig zijn in 2023 (IJmond). Een aantal projecten zijn lopende het project weer ingetrokken als case (Bommelerwaard en Brabant).

Bij de overige locaties is het verder uitwerken van ondergrondse warmteopslag mogelijk. De locaties liggen vooral in Zuid-Holland en Noord-Holland, en zouden in het WINDOW-programma ten opzichte van de zeven locaties slechts in beperkte mate verder bijdragen aan variëteit.

## 3 Verkenningen ondergrondse warmteopslag

### 3.1 Uitwerking van de verkenningen

In fase 1 van het WINDOW project zijn zeven verkenningen parallel uitgevoerd:

Code	Locatie	Betrokken consortium deelnemers
HAL	Den Haag HAL	Gemeente Den Haag, Eneco, Provincie Zuid-Holland, Hydreco Geomec
HHW	Heerhugowaard	HVC, Provincie Noord-Holland
HGN	Sittard/Het Groene Net	Ennatuurlijk, Provincie Limburg
LWD	Leeuwarden	Ennatuurlijk, Shell
NES	Rotterdam Nesselande	Eneco, Provincie Zuid-Holland, Shell
TIL	Tilburg/N-Brabant	Ennatuurlijk
TUD	Delft TU	TUD, Engie (in WINDOW fase 1 als parallel traject uitgewerkt)

In bijlage 2 zijn de management samenvattingen van de verkenningen opgenomen. Opgemerkt wordt dat de locatie Tilburg minder ver is uitgewerkt, vanwege de juridische showstopper.

### 3.2 Criteria voor beoordeling van de locaties

De selectiecriteria voor de beoordeling van de locaties van de verkenningen zijn (in volgorde van belangrijkheid):

1. Business case  
Per case is een inschatting gemaakt van de business case. Een project met een goede business case heeft meer kans van slagen dan een project met een matige business case.
2. Juridische haalbaarheid  
Bepaald wordt of de kans groot is dat de provincie een dergelijk systeem gaat vergunnen. Hierbij zal worden gekeken naar hoe diep het pakket zit, of het water zoet of zout is, of we in een grondwaterbeschermingsgebied zitten en of er strategische zoetwatervoorraden aanwezig zijn.
3. Risico's – technisch, geohydrologisch, milieu en veiligheid  
Uit de haalbaarheidsstudies kunnen project specifieke en algemene risico's naar voren komen. Er zal per project een afweging gemaakt worden op basis van de geïdentificeerde risico's.
4. Commitment stakeholder  
De stakeholders binnen het project dienen gecommitteerd te zijn om het project te realiseren. Dit betekent dat ze bereid moeten zijn om tijd en middelen beschikbaar te stellen om gezamenlijk het nader onderzoek en de verdere uitwerking van ondergrondse warmteopslag vorm te geven.
5. Planning  
De planning van het project moet passen binnen de planning van het WarmingUp-programma.

Naast deze selectiecriteria wordt binnen het WINDOW programma ook gekeken naar variatie in projecten en het verwachte herhaalpotentieel van het project in Nederland. Projecten met een hoog herhaalpotentieel (hoge impact) hebben de voorkeur boven een project met een laag herhaalpotentieel.

### 3.3 Beoordeling locaties verkenningen per criterium

In deze paragraaf zijn de locaties van de verkenningen vergeleken en beoordeeld per beoordelingsaspect.

In de verkenningen zijn meerdere systeemconcepten beschouwd. Er is ten minste één systeemconcept per verkenning volledig uitgewerkt, tot en met de businesscase en evaluatie van effecten en risico's. Deze is weergegeven, als mogelijk alternatief hoe HTO op deze locatie kan worden ingepast. We merken daarbij op dat het uitgewerkte systeemconcept een schetsontwerp is: verdere optimalisatie valt buiten de scope van deze verkenningen.

#### 1. Business case

Code	Kostprijs warmte €/GJ	Opslagvolume m3	Temperatuurlift in kostprijs?	Beoordeling
HAL	27,9	200.000	Ja, met WP	
HHW	14,7	380.000	Ja, met WP	
HGN	29,3	243.000	Ja, met WP	
LWD	12,4	400.000	Niet inbegrepen*	
NES	8,8	432.000	Niet inbegrepen**	
TIL	-			Buca niet uitgewerkt
TUD	*** 4,8	750.000	Niet inbegrepen	

\* In varianten met WP werd voor Leeuwarden een kostprijs van 16,8 à 17,9 €/GJ berekend.

\*\* In varianten met WP werd voor Nesselande een kostprijs van 11,1 à 16,0 €/GJ berekend.

\*\*\* Kostenbepalingen van de parallel uitgevoerde TU Delft verkenning zijn deels afgestemd met de overige verkenningen, maar een volledige 1-op-1 vergelijking is niet uitgevoerd. Wel wordt verwacht, gezien de omvang, dat de prijs laag ligt.

Referentie: de kostprijs van warmte geleverd door een gasketel bedraagt 10-12 €/GJ.

Vier locaties hebben een kostprijs beneden 20 €/GJ, dit zijn de grootste van de verkende systemen. De locaties van TUD en Nesselande springen er in positieve zin uit. Het beschouwde systeem bij de TUD is de grootste van alle verkenningen.

De business case is hier op basis van het kental 'kostprijs van warmte' gepresenteerd. Dit is niet het enige kental dat van belang is; ook bijvoorbeeld de investering per vermogensseenheid is van belang.

Een analyse van de resultaten van de verkenningen is aan het einde van WINDOW fase 1 uitgevoerd.

Daarbij is gefocust op bepalende factoren voor het bron- en systeemrendement en voor de kostprijs. Een aantal sheets van de presentatie van deze analyse zijn opgenomen in bijlage 3.

## 2. Juridische haalbaarheid

Code	Strijdig met beleid?*	Zoet grond water	Stakeholders ondergrond/ bovengrond	Risico Vergunbaarheid	Risico Maatschappelijk draagvlak	Beoordeling **
HAL	Nee		Complexe inpassing bronnen	Gemiddeld	Groot	
HHW	Nee			Klein	Klein	
HGN	Nee	Zoet		Gemiddeld	Gemiddeld	
LWD	Nee			Klein	Klein	
NES	Nee			Klein	Gemiddeld	
TIL	Ja	Zoet		Showstopper		
TUD	Nee	Brak /zout	Bronnen op eigen terrein	Klein	Klein	

\* Ontheffing voor maximale infiltratietemperatuur en warmtebalans is in alle gevallen noodzakelijk

\*\* Groen: positieve beoordeling, oranje: aandachtspunt/groter risico, rood: showstopper in WINDOW, wit: neutrale beoordeling (geen onderscheidende positieve of negatieve aspecten)

Toelichting:

- Geschikte bodemlagen voor HTO op de locatie in Tilburg liggen in beschermd gebied, toepassing van HTO is strijdig met het provinciaal beleid.
- De inpassing van de bronnen op de locatie Den Haag HAL is complex vanwege de ligging in druk stedelijk gebied en omliggende WKO's. Dit vormt een risico voor de juridische haalbaarheid en de planning. Mogelijk ook met risico voor het thermisch rendement en de business case, indien de bronnen niet optimaal geplaatst kunnen worden.
- Op de locatie HGN is zoet grondwater in het beoogde opslagpakket aanwezig. Zoet grondwater heeft een hogere waarde in vergelijking met zout grondwater. Het risico ten aanzien van vergunbaarheid wordt bij HGN als een 'gemiddeld' risico gezien, daar waar de vergunbaarheid bij locaties met zout (of brak) grondwater als een 'klein' risico wordt beoordeeld.

## 3. Risico's – technisch, geohydrologisch, milieu en veiligheid

Code	Risico's - technisch, geohydrologisch, milieu en veiligheid
HAL	
HHW	
HGN	Onzekerheid effect bruinkoollagen en verbreekt gebied
LWD	Onzekerheid ondergrond Benutten geothermie boring
NES	
TIL	
TUD	Benutten onderzoeksboring

Bij Het Groene Net ligt de HTO onder bruinkoollagen. Onbekend is welk effect de hogere temperaturen hebben op de bruinkoollagen. Het Groene Net bevindt zich bovendien in een sterk verbreekt gebied.

Leeuwarden kent een verhoogd risico vanwege de onzekere bodemopbouw, door het ontbreken van diepere boringen in de omgeving. De geplande geothermie boring begin 2021 kan benut worden om beter inzicht te krijgen. Het benutten van een geothermie boring voor het in kaart brengen van de geschiktheid van HTO lagen, omvat een onderzoeksvraag met herhaalpotentieel voor andere locaties. Deze onderzoeksvraag is al in WINDOW geprogrammeerd als onderdeel van de PhD-studie.

Bij de locatie van TUD is al een aparte onderzoeksboring gepland, die (mede) benut wordt voor het in kaart brengen van de geschiktheid van HTO lagen.

#### **Milieu aspect CO<sub>2</sub> emissie**

De CO<sub>2</sub> emissie is in de verkenningen uitgewerkt, waarbij de CO<sub>2</sub> van de opgeslagen warmte wordt meegerekend en de elektriciteit wordt meegewogen op basis van de huidige energiemix van elektriciteitsopwekking. In de verkenningen is gekozen om de CO<sub>2</sub> uitstoot van een eventuele warmtepomp wel mee te nemen in de analyse, maar CO<sub>2</sub> uitstoot als gevolg van warmte uit een boosterstation of bijmenging vanuit het warmtenet niet. Hiervoor is gekozen omdat dit laatste wordt gezien als onderdelen van het warmtenet en deze studie zich richt op de HTO. Bij de verschillende stakeholders werd daar op verschillende manieren tegen aan gekeken. Dit vergt dus nog nadere afstemming. Feit is wel dat, mits gebruik wordt gemaakt van duurzame opslag, de CO<sub>2</sub> ten opzichte van gas gereduceerd kan worden met tenminste 50%, maar in veel gevallen eerder 70% of meer.

#### **4. Commitment stakeholder**

Code	Commitment
HAL	Beperkt commitment (geen voorkeurslocatie)
HHW	Onvoldoende commitment
HGN	Beperkt commitment (geen voorkeurslocatie)
LWD	Bij Ennatuurlijk en Shell bestaat commitment *
NES	Bij Eneco bestaat commitment, ook Shell is positief (beoogde geothermie) **
TIL	Nvt
TUD	Bij TUD en Engie bestaat commitment ***

\* Ennatuurlijk en Shell maken het voorbehoud van positieve resultaten bij de boring geothermie.

\*\* Aandachtspunt bij commitment: naar verwachting zijn de kosten voor de proefboring op deze locatie hoger dan begroot.

\*\*\* TUD en Engie maken het voorbehoud van een positieve investeringsbeslissing voor de geothermie bron

De beschrijving van het gevraagde commitment is opgenomen in een interne notitie binnen het WINDOW consortium.

- Bij drie locaties is commitment aanwezig voor de verdere ontwikkeling van HTO binnen het WINDOW project. Bij Leeuwarden en TUD is een voorbehoud gemaakt in relatie tot de voortgang van aanleg van geothermie.
- Voor de locaties Den Haag HAL en Sittard Het Groene Net geldt, dat als deze locaties vergeleken worden met de andere uitgevoerde verkenningen, deze locaties niet de meest voor de hand liggende verkenningen zijn om uit te werken in WINDOW Fase 2.

- De locatie Heerhugowaard is overall als relatief positief beoordeeld, maar na een bedrijfsmatige afweging van de voor- en nadelen bestond er onvoldoende commitment om de ontwikkeling van een HTO op de locatie Heerhugowaard op dit moment door te zetten.
- De provincie Zuid-Holland heeft aangegeven dat zij graag twee locaties binnen de provincie uitgewerkt zien.

## 5. Planning

Code	Risico voor planning
HAL	Complexe stedelijke inpassing, afzet nog in ontwikkeling
HHW	Bron en afzet (grotendeels) aanwezig
HGN	Bron en afzet aanwezig
LWD	Het warmtenet en de warmtebronnen (geothermie) zijn nog in ontwikkeling
NES	Bron en afzet aanwezig
TIL	Nvt
TUD	Warmtenet deels aanwezig deel in ontwikkeling, geothermiebron nog in ontwikkeling

### 3.4 Totaal beoordeling locaties verkenningen

Code	Locatie	Buca	Juridisch	Risico's	Commit	Planning	Totaal*
HAL	Den Haag HAL						
HHW	Heerhugowaard						
HGN	Sittard/Het Groene Net						
LWD	Leeuwarden						
NES	Rotterdam Nesselande						
TIL	Tilburg/N-Brabant						
TUD	Delft TU						

\* Groen: positieve beoordeling, oranje: aandachtspunt/groter risico, rood: showstopper in WINDOW, wit: neutrale beoordeling (geen onderscheidende positieve of negatieve aspecten)

#### Selectie van drie locaties

Uit de totaal beoordeling komen drie locaties naar voren met een positieve, kansrijke beoordeling voor verdere uitwerking in het WINDOW programma:

- Rotterdam Nesselande
- Leeuwarden
- TU Delft

Voor de locatie Rotterdam Nesselande wordt nader onderzoek en voorbereiding van het demonstratieproject overeenkomstig het WINDOW programma uitgevoerd. Voor de locaties Leeuwarden en TU Delft wordt het nader onderzoek op een andere manier ingevuld, en geldt bovendien nog een voorbehoud. Dit wordt verder uitgewerkt in de volgende paragraaf.

In de volgende paragrafen worden deze locaties verder beschouwd.



### **Opmerking bij de selectie van locaties**

Bij het opstellen van het projectplan van het WINDOW programma, was het perspectief dat veel locaties zouden afvallen en dat we blij mochten zijn als er bij twee locaties voldoende commitment zou zijn voor verdere uitwerking. Het is goed om te constateren, dat er aan het einde van WINDOW fase 1 bij drie locaties een groot commitment bestaat: Rotterdam Nesselande, Leeuwarden en TU Delft.

### **Locaties van verkenningen die niet verder uitgewerkt worden binnen WINDOW**

- Voor de locaties Den Haag HAL en Sittard Het Groene Net geldt, dat als deze locaties vergeleken worden met de andere uitgevoerde verkenningen, deze locaties niet de meest voor de hand liggende verkenningen zijn om uit te werken in WINDOW Fase 2, vanwege de minder gunstige businesscase en hogere risico's (juridisch of technisch/geohydrologisch/milieu).
- Voor de locatie Heerhugowaard geldt dat dit een kansrijke locatie is, maar dat geen commitment bestaat om op dit moment op deze locatie een HTO-systeem te ontwikkelen.
- Voor de locatie Tilburg vormt het provinciaal beleid een showstopper voor verdere uitwerking van deze locatie in WINDOW Fase 2.

### **'Bijzondere' locatie**

Zoals in hoofdstuk 2 is beschreven, is voor de locatie Voorne een compleet ontwerp uit 2013 beschikbaar. Ook is daar al een proefboring uitgevoerd. Voor deze locatie is binnen WINDOW fase 2 (WarmingUP) dus geen nader onderzoek en uitwerking van een ontwerp nodig. Het is wel een interessante locatie voor een demonstratieproject in (beoogd) fase 3 van WINDOW. Een beperkte update van het ontwerp zal dan wel nodig zijn.

## **3.5 Toelichting vervolgstappen voor de drie kansrijke locaties**

Na afronding van WINDOW fase 1 wordt het WINDOW programma voortgezet in fase 2, als één van de thema's binnen het WarmingUP-consortium. In het projectplan van WINDOW fase 2 zijn de vervolgstappen beschreven zoals oorspronkelijk voorzien. Voor elk van de drie kansrijke locaties blijken toch iets andere vervolgstappen nodig te zijn.

In deze paragraaf staan de vervolgstappen beschreven, als illustratie van verschillende routes bij de ontwikkeling van ondergrondse warmteopslag.

### **Vervolgstappen volgens oorspronkelijk projectplan**

Volgens het projectplan worden per locatie de volgende stappen gevolgd:

1. Voorbereiding en uitvoering van nader onderzoek met een proefboring
2. Go/no go beslissing: na resultaten proefboring
3. Uitwerking van het voorontwerp, definitief ontwerp en omgevingsplannen, op basis van de resultaten van de proefboring.

Na uitwerking van stap 3 besluiten de betrokken stakeholders of voor die locatie verder wordt geïnvesteerd in een demonstratieproject, als 'fase 3' van het WINDOW-programma.

### ***Vervolgstappen Rotterdam Nesselande: al meteen starten met voorontwerp***

De gewenste vervolgstappen van Rotterdam Nesselande zijn:

1. Uitwerking van het voorontwerp en omgevingsplannen, parallel aan stap 2
2. Voorbereiding en uitvoering van een proefboring
3. Go/no go beslissing: na resultaten proefboring
4. Uitwerking definitief ontwerp en definitieve omgevingsplannen, op basis van de resultaten van de proefboring.

Het uitvoeringsteam start in Rotterdam bij voorkeur al direct met het opstellen van een voorontwerp en een voorbereiding van de omgevingsplannen, parallel aan de voorbereiding en uitvoering van een proefboring, zodat voldoende flexibiliteit in de planning ontstaat.

### ***Vervolgstappen Leeuwarden: benutten geothermie boring, daarna beslismoment***

Bij de locatie Leeuwarden wordt de boring van de geothermiebron benut om beter inzicht te krijgen in de bodemopbouw. De gewenste vervolgstappen bij de locatie Leeuwarden zijn:

1. Boring geothermie bron met screening HTO-lagen
2. Go/no go beslissing: na resultaten geothermie boring (inzicht bodemopbouw), en nog proefboring nodig?
3. Uitwerking van het voorontwerp en omgevingsplannen
4. Voorbereiding en uitvoering van een proefboring (indien nodig)
5. Go/no go beslissing: na resultaten proefboring (inzicht broncapaciteit)
6. Uitwerking definitief ontwerp en definitieve omgevingsplannen, op basis van de resultaten van de geothermie bron en de eventuele proefboring.

Toelichting:

Bij de locatie Leeuwarden wordt een geothermie bron geboord. Intentie is om bij het boren van de eerste geothermie bron de dataverzameling van de ondergrond ten behoeve van HTO mee te nemen. Binnen het WINDOW-project wordt onderzocht hoe deze screening het beste kan plaatsvinden. Bij een positief resultaat kan daarna het opstellen van het voorontwerp en de voorbereiding van de omgevingsplannen starten. Ook moet dan beoordeeld worden of in Leeuwarden de data verzameling bij de geothermiebron voldoende informatie biedt voor het opstellen van het definitieve ontwerp van de HTO. Zo is het uitvoeren van een capaciteitstest niet mogelijk bij dataverzameling tijdens de geothermie boring, daarvoor is een aparte (proef)boring met peilbuis nodig.

### ***Delft TUD: investeringsbeslissing geothermie, daarna benutten boring onderzoeksbron***

Bij de TUD moet het definitieve investeringsbesluit voor de geothermiebron nog genomen worden, pas daarna kan het definitieve commitment van de ontwikkeling van HTO gegeven worden. Bij de locatie Delft TUD (Engie/TUD) is – in een ander onderzoekstraject, los van de geothermie bron – al een onderzoeksbron gepland, die benut kan worden voor de screening van de HTO lagen. De vervolgstappen voor TUD zijn:

1. Definitief investeringsbesluit geothermie bron (wordt hard aan gewerkt, onzeker tijdsplan)
2. Uitwerking van het voorontwerp en omgevingsplannen, parallel aan stap 3
3. Boring onderzoeksbron met screening HTO-lagen (naar verwachting Q3 2021)
4. Go/no go beslissing: na resultaten onderzoeksbron
5. Uitwerking definitief ontwerp en definitieve omgevingsplannen, op basis van de resultaten van de onderzoeksbron.

Toelichting:

Het uitwerken van HTO op de locatie TUD is aan de orde, zodra het investeringsbesluit van de geothermie bron is genomen en er definitief commitment voor de ontwikkeling van HTO bestaat. Vooruitlopend hierop lopen de voorbereidingen al wel bij TUD. In het kader van een ander onderzoeksproject, los van de geothermie bron, heeft de TUD een boring gepland die wordt ingezet voor meerdere onderzoeksdoeleinden. Eén van deze onderzoeksdoelen is de data verzameling voor het beoogde HTO-systeem.

### 3.6 Conclusie

In deze notitie is het gevolgde proces van WINDOW fase 1 beschreven, als verslaglegging van een traject waarbij:

- 21 potentiële locatie voor HTO zijn beoordeeld in een quickscan;
- 7 kansrijke locaties zijn geselecteerd en uitgewerkt in een verkenning;
- 3 meest kansrijke locaties zijn geselecteerd voor verdere ontwikkeling in WINDOW fase 2.

Het selectieproces is illustratief voor de selectie van praktisch toepasbare projecten, uit de vele locaties waar in theorie de potentie voor warmteopslag aanwezig is.

De kansrijkheid is in de quickscans beoordeeld op basis van ontwikkelde criteria voor:

- Mogelijke termijn van realisatie en commitment stakeholders
- Bodem: Geohydrologische geschiktheid
- Juridisch: Vergunbaarheid
- Business case: systeemintegratie, omvang en diepte

Na afronding van de verkenningen is de kansrijkheid van ondergrondse warmteopslag op de locaties beoordeeld op basis van het uitgewerkte voorontwerp van het HTO-systeem, met de volgende criteria:

- Business case
- Juridische haalbaarheid
- Risico's – technisch, geohydrologisch, milieu en veiligheid
- Commitment stakeholder
- Planning

De gebruikte criteria en de gemaakte afwegingen bij de vergelijking en selectie van de locaties biedt inzicht, hoe de kansrijkheid van ondergrondse warmteopslag is beoordeeld binnen het WINDOW project. Dit kan als voorbeeld dienen voor de beoordeling van de mogelijkheden voor HTO op andere locaties.

Binnen WINDOW fase 2 worden de drie geselecteerde locaties verder uitgewerkt in het kader van 'learning-by-doing', en er wordt verder onderzoek gedaan naar de generieke randvoorwaarden en toepassingscondities van ondergrondse warmteopslag in Nederland.

# Bijlage 1 Quickscans toelichting criteria en beoordeling geohydrologische geschiktheid

## Quickscans toelichting criteria en beoordeling geohydrologische geschiktheid

### Beoordelingscriteria

De ingebrachte locaties zijn beoordeeld op de volgende criteria:

- Mogelijke termijn van realisatie en commitment stakeholders
- Bodem: Geohydrologische geschiktheid
- Juridisch: Vergunbaarheid
- Business case: systeemintegratie, omvang en diepte

De resultaten van de beoordeling van de geohydrologische geschiktheid zijn weergegeven in de tabel aan het einde van deze bijlage. Hieronder is een toelichting gegeven op hoe de beoordeling tot stand is gekomen

### Criterium 1: Mogelijke termijn van realisatie en commitment stakeholder

Gekeken is naar de volgende criteria:

- Bron:
  - Niet aanwezig voor 2023 0 punten
  - Gepland voor 2023 en/of reeds tijdelijk vervangende bron aanwezig 1 punt
  - Reeds aanwezig 2 punten
- Afzet:
  - Niet aanwezig voor 2023 0 punten
  - Gepland voor 2023 1 punt
  - Reeds aanwezig 2 punten

De score is berekend door de score van de bron te vermenigvuldigen met de score voor de afzet.

Hierdoor ligt de totaalscore tussen de 0 en de 4. De eindwaardering is als volgt:

- 0 punten: project valt af
- 1 punt: matig
- 2 punten: gemiddeld
- 4 punten: goed

### Criterium 2: Bodem: Geohydrologische geschiktheid

Per locatie zijn formaties geïdentificeerd die in aanmerking komen voor HTO. Elk van deze formaties is beoordeeld op de volgende criteria: Lithologie, dikte watervoerende laag, diepte, horizontale doorlatendheid, aanwezigheid afsluitende laag, afstand tot breuken, grondwaterstroomsnelheid.

De beoordeling is uitgevoerd aan de hand van een stoplichten-methodiek. Groen betekent geen belemmeringen of aandachtspunten, oranje betekent dat er één of meerdere aandachtspunten zijn en rood betekent dat er één of meerdere belemmeringen zijn (show-stoppers). De eindscore voor geohydrologische geschiktheid ('Bodemscore') wordt bepaald door de kleur die in bijlage 2 voor elk project is opgenomen.

N.B. voor elke formatie zijn tevens twee juridische criteria weergegeven (onderste twee criteria), die alleen voor de juridische beoordeling zijn gebruikt.

### Criterion 3: Juridisch: Vergunbaarheid

Juridisch is gekeken naar het criterium 'grondwaterbelangen en beleid' en 'waterkwaliteit opslagpakket' (zie hoofdstuk 3).

Wat betreft het beoordelen van de juridische kansrijkheid zijn voor de twee criteria de volgende scores bepaald:

- Grondwaterbelangen en beleid ('GW + B' in scoringtabel):
  - In grondwaterbeschermingsgebied (verboden per verordening): 0 punten
  - In gebied waar toepassing van warmteopslag beperkt wordt door beleid 1 punten
  - In gebied waar geen restricties zijn (verordening of beleid) voor opslag 3 punten
- Waterkwaliteit ('Zoet/Zout' in scoringtabel)
  - Zoet/zout grensvlak in beoogde formatie 1 punten
  - Zoet water in beoogde formatie 2 punten
  - Zout water in beoogde formatie 3 punten

De scores voor bovenstaande criteria zijn bepaald op basis van informatie van het RIVM (grondwaterbeschermingsgebieden), informatie van provinciale kaarten en ervaring uit de praktijk. Voor elk project zijn de scores weergegeven in bovenstaande tabel. De uiteindelijke juridische score is samengevat in een kleur, die tevens is opgenomen in de kwalitatieve beoordeling (zie Tabel 1 van notitie). De belangen in de omgeving van de projectlocatie zijn ook van invloed op de vergunbaarheid van het project, maar zijn in dit stadium nog niet geïnventariseerd. Dit zal worden uitgevoerd in de uitwerking van de geselecteerde locaties. Als hierdoor één van de geselecteerde locaties afvalt, dan zal daarvoor een alternatieve locatie worden uitgekozen.

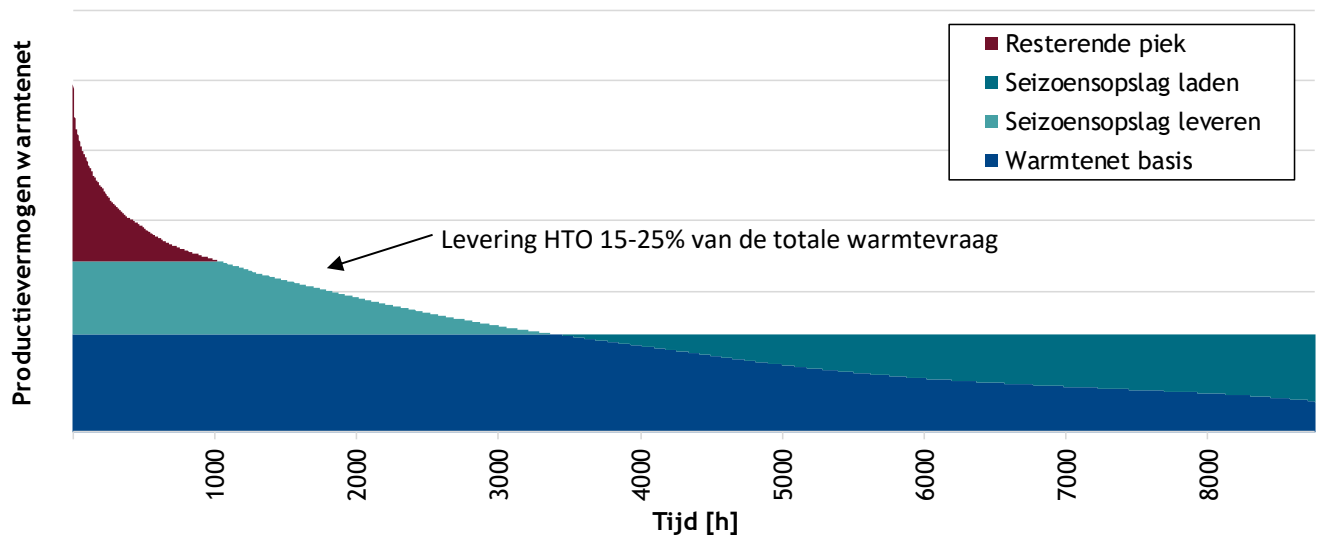
### Criterion 4: Business case: systeemintegratie, omvang en diepte

Gekeken is naar de volgende criteria:

- Systeemintegratie: bij de systeemintegratie is het van belang om rekening te houden met een afnemende temperatuur in de HTO. Naarmate meer warmte geleverd wordt door de HTO, zal de temperatuur steeds verder afnemen. Hoe groter het temperatuurverschil is tussen opgeslagen warmte en aangesloten warmtevraag, hoe langer de HTO door kan gaan met warmte leveren. Projecten met een groot temperatuurverschil hebben wij in de weging beter gescoord dan projecten met een laag temperatuurverschil. Onze waardering is als volgt:
  - $T_{\text{opslag}} - T_{\text{vraag}}$  kleiner dan  $-10^{\circ}\text{C}$ : 1 punt
  - $T_{\text{opslag}} - T_{\text{vraag}}$  tussen de  $-10$  en  $10^{\circ}\text{C}$ : 2 punten
  - $T_{\text{opslag}} - T_{\text{vraag}}$  groter dan  $10^{\circ}\text{C}$ : 3 punten
- Naast temperatuurverschil is ook gekeken naar de toepassing van een warmtepomp. Toepassing van een warmtepomp heeft een sterke invloed op de investeringskosten en duurzaamheid (elektriciteitsverbruik). Temperatuurverschil (opslag versus vraag) en toepassing van een warmtepomp hebben onderling een bepaalde mate van correlatie. In de eerste categorie ( $T_{\text{opslag}} - T_{\text{vraag}}$  kleiner dan  $-10^{\circ}\text{C}$ ) zal altijd de temperatuur vanuit de opslag moeten worden opgewaardeerd naar de temperatuur van de warmtevraag. Aangenomen is dat dit met een warmtepomp wordt gedaan. In de andere twee categorieën ( $T_{\text{opslag}} - T_{\text{vraag}}$  tussen de  $-10$  en  $10^{\circ}\text{C}$  en  $T_{\text{opslag}} - T_{\text{vraag}}$  groter dan  $10^{\circ}\text{C}$ ) hangt het al dan niet toepassen van een warmtepomp af van het temperatuurverschil tussen opslag en warmtevraag en de mate van afkoeling van de HTO die toegestaan is. Wanneer het temperatuurverschil beperkt is, of wanneer de opslagtemperatuur

onder de temperatuur van de warmtevraag ligt, is een warmtepomp nodig om ervoor te zorgen dat voldoende warmte geleverd kan worden vanuit de HTO. De waardering is als volgt:

- Warmtepomp met productietemperatuur boven de 80°C: 1 punt
  - Warmtepomp met productietemperatuur onder de 80°C: 2 punten
  - Geen warmtepomp nodig: 3 punten
- Omvang: om opgeslagen warmte efficiënt (energetisch en financieel) in te kunnen zetten heeft de hoge temperatuuropslag een bepaalde omvang nodig. Binnen Heatstore is hier in meer detail naar gekeken. Een aanbeveling vanuit Heatstore is om bij 50°C opslag minimaal 35.000 m<sup>3</sup> aan warm water op te slaan. Bij een temperatuurverschil tussen de warme en koude bron van 20 à 30 °C komt dit neer op een opslag van 3.000 – 4.000 GJ aan warmte. Bij een opslag van 90°C is het advies om minimaal 250.000 m<sup>3</sup> aan warm water op te slaan. Bij een temperatuurverschil tussen de warme en koude bron van 30 à 40 °C komt dit neer op een opslag van 30.000 – 40.000 GJ aan warmte. De minimale opslagvolumes volgen uit de aanname dat het opslagrendement rond de 70% ligt. Daarnaast is ingeschat, vanuit een eerder uitgevoerde studie<sup>1</sup>, dat een hoge temperatuur warmteopslag in totaal 15 – 25% van de totale warmtevraag kan invullen. Dit is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.



Hieruit volgt dat bij 50°C opslag de omvang van de warmtevraag circa 8.000 – 19.000 GJ<sup>2</sup> per jaar moet zijn (benodigde omvang warmtevraag). Bij 90°C opslag ligt dit rond de 84.000 – 187.000 GJ<sup>3</sup> per jaar (benodigde omvang warmtevraag). Als waarde voor de benodigde omvang van de warmtevraag wordt het gemiddelde van de bandbreedte aangehouden (13.500 GJ bij 50°C en 135.000 GJ bij 90°C). Bij een afwijkende opslagtemperatuur tussen de 50 en 90°C is lineair geïnterpoleerd tussen deze twee waarden.

<sup>1</sup> Warmte infrastructuur Nederland met verlaagde systeem temperatuur, TKI WINST, 2019 (<https://www.dnvgl.nl/news/warmtenetten-met-verlaagde-temperatuur-reduceren-kosteneffectief-co2-uitstoot-162894>)

<sup>2</sup> Onderwaarde: 3.000 GJ opslag, bij 70% opslagrendement wordt hiervan 3.000 \* 0,7 = 2.100 GJ geleverd, bij een gemiddelde bijdrage aan de warmtelevering van de HTO van 20% bedraagt de totale warmtevraag 2.100 / 0,25 = 8.400 GJ.

Bovenwaarde: 4.000 GJ opslag, bij 70% opslagrendement wordt hiervan 4.000 \* 0,7 = 2.800 GJ geleverd, bij een bijdrage aan de warmtelevering van de HTO van 15% bedraagt de totale warmtevraag 2.800 / 0,15 = 18.700 GJ.

<sup>3</sup> Onderwaarde: 30.000 GJ opslag, bij 70% opslagrendement wordt hiervan 30.000 \* 0,7 = 21.000 GJ geleverd, bij een gemiddelde bijdrage aan de warmtelevering van de HTO van 20% bedraagt de totale warmtevraag 21.000 / 0,25 = 84.000 GJ.

Bovenwaarde: 40.000 GJ opslag, bij 70% opslagrendement wordt hiervan 40.000 \* 0,7 = 28.000 GJ geleverd, bij een bijdrage aan de warmtelevering van de HTO van 15% bedraagt de totale warmtevraag 28.000 / 0,15 = 187.000 GJ.

De waardering is als volgt:

- Warmtevraag kleiner dan 75% benodigde omvang warmtevraag: 1 punt
- Warmtevraag 75% - 100% benodigde omvang warmtevraag: 2 punten
- Warmtevraag groter dan benodigde omvang warmtevraag: 3 punten
- Diepte: projecten zijn op basis van diepte niet weggestreept. Wel is het zo dat, door toenemende veiligheidseisen projecten dieper dan 500 meter duurder zijn dan projecten ondieper dan 500 meter. De waardering is als volgt:
  - Projecten dieper dan 500m: 1 punt
  - Projecten tot 500 m: 3 punten

De eindwaardering is als volgt:

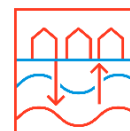
- 1-6 punten: matig
- 7-9 punten: gemiddeld
- 10-12 punten: goed





## Bijlage 2 Management samenvattingen uit de verkenningen

# Management samenvatting



<p><b>WINDOW fase 1</b> Verkenning ondergrondse warmteopslag Den Haag HAL</p>	Beoordeling (zie toelichting)														
<p><b>Over deze verkenning (hoofdstuk 1)</b> In het onderzoeksprogramma WINDOW zijn op zeven locaties verkenningen uitgevoerd naar de haalbaarheid van ondergrondse warmteopslag (Hoge Temperatuur Opslag - HTO). De locatie Den Haag HAL is één van de locaties waar een verkenning is uitgevoerd. Met deze verkenning is de potentie van seizoensopslag in het warmtenet van Eneco onderzocht. Daarnaast dient deze verkenning ook als vergelijking met de andere verkenningen binnen WINDOW vanuit de gedachte 'learning-by-doing'. In de verkenningen zijn meerdere systeemconcepten beschouwd. Er is ten minste één systeemconcept per verkenning volledig uitgewerkt, tot en met de businesscase en evaluatie van effecten en risico's. Deze is weergegeven, als mogelijk alternatief hoe HTO op deze locatie kan worden ingepast. We merken daarbij op dat het uitgewerkte systeemconcept een schetsontwerp is: verdere optimalisatie valt buiten de scope van deze verkenningen.</p>															
<p><b>Geohydrologie (hoofdstuk 2)</b></p> <table border="0"> <tr> <td>Geschikte bodemlaag:</td> <td>Formatie van Maassluis z2+3+4</td> <td>Oosterhout z2</td> </tr> <tr> <td>Diepte opslag:</td> <td>120-242 m-mv</td> <td>330-348 m-mv</td> </tr> <tr> <td>Bodemtemperatuur opslagdiepte:</td> <td>13 à 15°C</td> <td>17,5°C</td> </tr> <tr> <td>Proefboring:</td> <td colspan="2">Aangeraden (gemiddelde onzekerheid ondergrond)</td> </tr> </table>	Geschikte bodemlaag:	Formatie van Maassluis z2+3+4	Oosterhout z2	Diepte opslag:	120-242 m-mv	330-348 m-mv	Bodemtemperatuur opslagdiepte:	13 à 15°C	17,5°C	Proefboring:	Aangeraden (gemiddelde onzekerheid ondergrond)		<table border="0"> <tr><td style="background-color: #90EE90;">1</td></tr> <tr><td style="background-color: #FF0000;">a</td></tr> </table>	1	a
Geschikte bodemlaag:	Formatie van Maassluis z2+3+4	Oosterhout z2													
Diepte opslag:	120-242 m-mv	330-348 m-mv													
Bodemtemperatuur opslagdiepte:	13 à 15°C	17,5°C													
Proefboring:	Aangeraden (gemiddelde onzekerheid ondergrond)														
1															
a															
<p><b>Uitgewerkt systeemconcept (hoofdstuk 3)</b> Het systeemconcept is hier op schematische wijze weergegeven, ten behoeve van overzicht in één oogopslag en voor vergelijking van de verkenningen onderling. Hieronder staat 'variant 6' weergegeven. De detail opzet, nuanceringen en alternatieven staan beschreven in de verkenning.</p> <p>36 - 140 TJ</p> <p>73 °C</p> <p>Winter: 50 °C Zomer: 55°C</p> <p>5,3 MWt</p> <p>78°C 53°C</p> <p>GT</p> <p>3 bronnen 76→50°C</p> <p>HTO</p> <p>4 bronnen 40→35°C</p> <p>WP COP 5,2</p> <p>Winter: leveren 70 m<sup>3</sup>/h 200.000 m<sup>3</sup> 3,3 MWt max (HTO+WP) 26 Tjt leveren (HTO+WP) SPF warmte leveren 6,6 (HTO+WP)</p> <p>Zomer: laden 55 m<sup>3</sup>/h 200.000 m<sup>3</sup> 2,3 MWt max 34 Tjt laden</p>	<table border="0"> <tr><td style="background-color: #90EE90;">2</td></tr> <tr><td style="background-color: #90EE90;">3</td></tr> <tr><td style="background-color: #FF0000;">b</td></tr> <tr><td style="background-color: #FF0000;">c</td></tr> </table>	2	3	b	c										
2															
3															
b															
c															

<b>Thermisch opslagrendement (hoofdstuk 4)</b>		
Systeemefficiëntie in jaar 2	47% (16 TJ warmte uit HTO)	
Systeemefficiëntie in jaar 10	64% (22 TJ warmte uit HTO)	
Systeemefficiëntie in jaar 50	74% (25 TJ warmte uit HTO)	
<b>Business case (hoofdstuk 4)</b>		
Investering	6,3 M€ = 3,9 M€/MW <sub>t</sub> (bij gemiddeld vermogen 1,6 MW <sub>t</sub> )	<b>c</b>
Investering bronnen	2,4 M€ 38%	
Investering warmtepomp	1,3 M€ 21%	
Investering overig	2,6 M€ 41%	
Operationele kosten	0,30 M€/jaar	
Kosten opgeslagen warmte	0,00 M€ 0%	
Kosten elektriciteit	0,09 M€ 30%	
Kosten overig	0,21 M€ 70%	
Kostprijs geleverde warmte	27,9 €/GJ	
Kostprijs geladen warmte	0,0 €/GJ	
Referentie: kostprijs warmte gasketel 12 €/GJ		
<b>CO<sub>2</sub> emissie (hoofdstuk 4)</b>		
CO <sub>2</sub> emissie in periode van 30 jaar	30,4 kg CO <sub>2</sub> /GJ	
CO <sub>2</sub> emissie warmte laden	13,9 kg CO <sub>2</sub> /GJ	
CO <sub>2</sub> emissie warmte leveren	16,5 kg CO <sub>2</sub> /GJ	
Referentie: emissie warmtelevering gasketel 62 kg CO <sub>2</sub> /GJ		
Referentie: in 2030 doelstelling warmtenetten 18,9 kg CO <sub>2</sub> /GJ		
Opmerking: gerekend met huidig kental voor elektriciteit 0,34 kg CO <sub>2</sub> /kWh (bron NTA 8800)		
<b>Thermische effecten (hoofdstuk 5)</b>		
Thermische straal warmteopslag:	74 meter	
Horizontale warmte uitstraling: (25°C contour vanaf de bron)	na 50 jaar op circa 125 of 150 meter vanaf de bron	
Verticale warmte uitstraling: (25°C contour diepte)	na 50 jaar op circa 80 m-mv of op circa 270 m-mv (bronnen in F. van Maassluis of F. van Oosterhout)	
<b>Juridische haalbaarheid (hoofdstuk 5)</b>		
Provinciaal beleid	toepassing HTO niet strijdig met beleid	4
Zoet of zout grondwater:	zout grondwater	
Stakeholders ondergrond:	in de omgeving van de opslag zijn er veel belangen in de omgeving	d
Inpassing bronnen:	het beoogde gebied heeft een hoge stedelijkheid, inpassing van de bronnen is complex	d

<b>Beoordeling: positieve aspecten, nadelen en risico analyse (hoofdstuk 6 en 7)</b>		
Positieve aspecten van deze locatie voor toepassing HTO:		
1	Formatie van Maassluis wordt geschikt geacht voor HTO, relatief kleine onzekerheid	
2	De geothermiebron is aanwezig, waardoor de beschikbaarheid van duurzame warmte zeker is.	
3	Het warmtenet draait op een relatief lage temperatuur (73°C). Dit is gunstig voor het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp.	
4	Risico's met betrekking tot de vergunbaarheid in het kader van de Waterwet worden klein ingeschat.	
Nadelen van deze locatie voor toepassing HTO:		
a	Formatie van Oosterhout heeft grote onzekerheid over de opbouw ondergrond. Hoewel toepassing in deze formatie waarschijnlijk gunstiger is dan Maassluis (vanwege hoge opslagrendement), is de onzekerheid over de efficiëntie bronnen en businesscase wel groter. Een proefboring kan uitsluitsel geven.	
b	Een groot deel van de beoogde warmtevraag is nog niet gerealiseerd. Dit verhoogt het risico op vertraging van het project.	
c	De omvang van het HTO-systeem is relatief klein. Hierdoor liggen de kosten voor warmte vanuit de HTO relatief hoog en is de prijs ook gevoelig voor een schommelingen in omvang.	
d	De locatie ligt in een zeer druk stedelijk gebied. Inpassing van de bronnen is complex vanwege nabijgelegen WKO systemen en een hoge bebouwingsdichtheid. Inpassing zal in het meest gunstige geval meer tijd kosten dan gemiddeld. Vanwege de hoge stedelijkheid weegt de onzekerheid over grond mechanische effecten op deze locatie zwaarder, in verband met hoger risico op schade aan infrastructuur.	
<b>Conclusie (hoofdstuk 7)</b>		
De toepassingsmogelijkheden van HTO op deze locatie kent specifieke beperkingen. De geringe omvang van het systeem resulteert in een hoge warmteprijs. De ligging in druk stedelijk gebied vormt een risico.		
Het WINDOW programma heeft als doel om HTO verder te ontwikkelen tot een bewezen techniek. Op dit moment bestaan er nog (algemene) technische, juridische en financiële onderzoeksvragen voor toepassing van HTO. De specifieke beperkingen op deze locatie zijn wellicht overkomelijk, maar vanwege deze nadelen is deze locatie minder geschikt om binnen het WINDOW programma HTO tot een bewezen techniek te brengen.		

**Beschouwde varianten:**

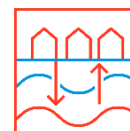
Voor de locatie HAL zijn zes varianten beschouwd, variant 6 staat in deze samenvatting.

Vergelijking van varianten 4 t/m 6:

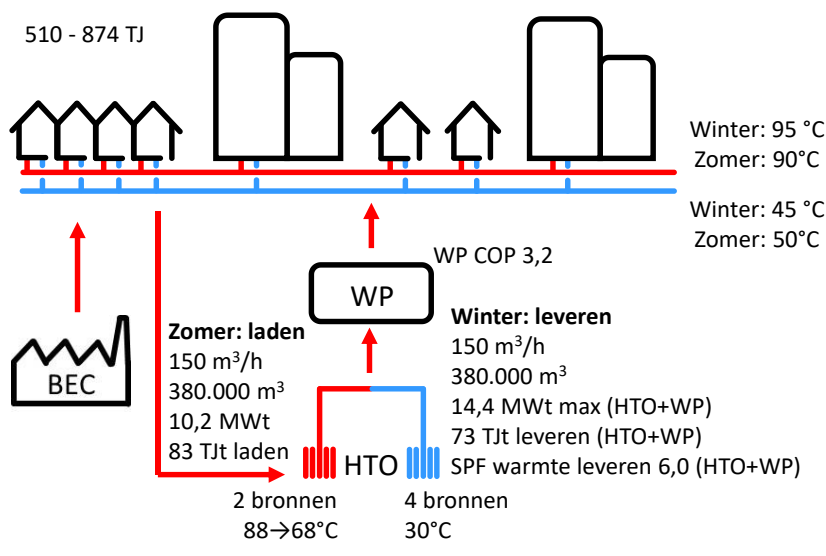
- Varianten 4 en 5 leveren de grootste hoeveelheid warmte, hebben het hoogste thermische rendement, de minste effecten op de ondergrond en het laagste energieverbruik (en dus de hoogste CO2 reductie)
- Variant 6 heeft de laagste investeringskosten en de laagste kostprijs van warmte.

	Formatie HTO	TSA	Hete bron #	Warme bron #	Hete bron °C	Warme bron °C	Geleverde warmte TJ	Thermisch rendement in jaar 10	SPF warmte levering	Investeringskosten M€	Kostprijs warmte €/GJ
variant 1	Maassluis	Enkel	1	1	76	30	24	49%			
variant 2	Maassluis	Dubbel	1	1	74	30	23	48%	2,8	7,6	41,5
variant 3	Maassluis	Enkel	1	1	76	40	14	36%	6,4	3,9	32,9
variant 4	Oosterhout	Enkel	3	4	76	30	36	74%			
variant 5	Oosterhout	Dubbel	2	4	74	30	33	72%	2,9	9,9	37,0
variant 6	Oosterhout	Enkel	3	4	76	40	26	64%	6,6	6,3	27,9

# Management samenvatting



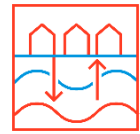
<b>WINDOW fase 1</b> <b>Verkenning ondergrondse warmteopslag Heerhugowaard</b>	<b>Beoordeling</b> (zie toelichting)
<b>Over deze verkenning (hoofdstuk 1)</b> In het onderzoeksprogramma WINDOW zijn op zeven locaties verkenningen uitgevoerd naar de haalbaarheid van ondergrondse warmteopslag (Hoge Temperatuur Opslag - HTO). De locatie Heerhugowaard is één van de locaties waar een verkenning is uitgevoerd. Met deze verkenning is de potentie van seizoensopslag in het warmtenet van HVC onderzocht. Daarnaast dient deze verkenning ook als vergelijking met de andere verkenningen binnen WINDOW vanuit de gedachte 'learning-by-doing'. In de verkenningen zijn meerdere systeemconcepten beschouwd. Er is één systeemconcept per verkenning helemaal volledig uitgewerkt, tot en met de businesscase en evaluatie van effecten en risico's. Deze variant staat hieronder weergegeven, als alternatief hoe HTO op deze locatie kan worden ingepast. We merken daarbij op dat het uitgewerkte systeemconcept een voorontwerp is: verdere optimalisatie en afweging van alternatieven valt buiten de scope van deze verkenningen.	
<b>Geohydrologie (hoofdstuk 2)</b> Geschiedte bodemlaag:                    Formatie van Maassluis z3 Diepte opslag:                                 360-380 m-mv Bodemtemperatuur opslagdiepte:       18,5°C Proefboring:                                     Aangeraden (gemiddelde onzekerheid ondergrond)	<b>a</b>
<b>Uitgewerkt systeemconcept (hoofdstuk 3)</b> 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, nuancerings en alternatieven staan beschreven in de verkenning.	<b>1</b>  <b>2</b>  <b>b</b>  <b>c</b>



<b>Thermisch opslagrendement (hoofdstuk 4)</b>		
Systeemefficiëntie in jaar 2	54% (45 TJ warmte uit HTO)	
Systeemefficiëntie in jaar 10	73% (61 TJ warmte uit HTO)	
Systeemefficiëntie in jaar 50	81% (67 TJ warmte uit HTO)	
<b>Business case (hoofdstuk 4)</b>		
Investering	8,9 M€ = 0,85 M€/MW <sub>t</sub> (bij gemiddeld vermogen 10,5 MW <sub>t</sub> )	3
Investering bronnen	2,4 M€      27%	
Investering warmtepomp	3,6 M€      40%	
Investering overig	2,9 M€      33%	
Operationele kosten	0,38 M€/jaar	
Kosten opgeslagen warmte	-0,17 M€      -45%	
Kosten elektriciteit	0,28 M€      74%	
Kosten overig	0,27 M€      71%	
Kostprijs geleverde warmte	14,7 €/GJ	
Kostprijs geladen warmte	-2,0 €/GJ	
Referentie: kostprijs warmte gasketel 12 €/GJ		
<b>CO<sub>2</sub> emissie (hoofdstuk 4)</b>		
CO <sub>2</sub> emissie in periode van 30 jaar	19,1 kg CO <sub>2</sub> /GJ	
CO <sub>2</sub> emissie warmte laden	0,9 kg CO <sub>2</sub> /GJ	
CO <sub>2</sub> emissie warmte leveren	18,2 kg CO <sub>2</sub> /GJ	
Referentie: emissie warmtelevering gasketel 62 kg CO <sub>2</sub> /GJ		
Referentie: in 2030 doelstelling warmtenetten 18,9 kg CO <sub>2</sub> /GJ		
Opmerking: gerekend met huidig kental voor elektriciteit 0,34 kg CO <sub>2</sub> /kWh (bron NTA 8800)		
<b>Thermische effecten (hoofdstuk 5)</b>		
Thermische straal warmteopslag:	97 meter	
Horizontale warmte uitstraling: (25°C contour vanaf de bron)	na 50 jaar op circa 240 meter vanaf de bron	
Verticale warmte uitstraling: (25°C contour diepte)	na 50 jaar op circa 320 m-mv	
<b>Juridische haalbaarheid (hoofdstuk 5)</b>		4
Provinciaal beleid	Noord Holland heeft ervaring met vergunningverlening voor HTO	
Zoet of zout grondwater:	Zout grondwater	
Stakeholders ondergrond:	Op de beoogde diepte van de opslag zijn er geen belangen in de omgeving	
Inpassing bronnen:	Het beoogde gebied heeft een relatief lage stedelijkheid	



<b>Beoordeling: positieve aspecten, nadelen en risico analyse (hoofdstuk 6 en 7)</b>		
Positieve aspecten van deze locatie voor toepassing HTO:		
1	Aanbod en groot deel van de vraag al gerealiseerd, in de toekomst mogelijk geothermie	
2	HTO heeft een relatief grote omvang, dit leidt tot een gunstige warmteprijs en een gunstig thermisch rendement	
3	Goede kansen voor optimalisatie tot de streefprijs voor warmte, door verder optimaliseren van het ontwerp: - Gedeeltelijke aanpassing ontwerpnormen, zodat minder bronnen nodig zijn - Inzet geothermische warmte in de nabije toekomst (deze heeft een hoger subsidiebedrag)	
4	- Indien mogelijk gebruik maken van een DEI investeringssubsidie Juridische haalbaarheid en mogelijkheid voor inpassing bronnen wordt positief ingeschat. Locatie heeft veel ruimte bovengronds.	
Nadelen van deze locatie voor toepassing HTO:		
a	Relatief diepe bronnen, hogere investeringskosten	
b	Aanvoertemperatuur warmtenet en dus benodigde temperatuur van de warmtepomp 95°C is relatief hoog	
c	Ontwikkeling van geothermie duurt nog aantal jaren	
<b>Conclusie (hoofdstuk 7)</b>		
De toepassingsmogelijkheden van HTO op deze locatie wordt op basis van deze verkenning als relatief positief beoordeeld.		
Het WINDOW programma heeft als doel om HTO verder te ontwikkelen tot een bewezen techniek. Op dit moment bestaan er nog (algemene) technische, juridische en financiële onderzoeksvragen. De conclusie moet gezien worden binnen het kader van een techniek-in-ontwikkeling, met grotere risico's ten opzichte van bewezen techniek. Hoewel deze locatie relatief positief is beoordeeld, is na afweging van de voor- en nadelen deze locatie minder geschikt bevonden om binnen het WINDOW programma HTO tot een bewezen techniek te brengen.		



# Management samenvatting

## WINDOW fase 1

### Verkenning ondergrondse warmteopslag Het Groene Net, Sittard-Geleen

Beoordeling  
(zie toelichting)

#### Over deze verkenning (hoofdstuk 1)

In het onderzoeksprogramma WINDOW zijn op zeven locaties verkenningen uitgevoerd naar de haalbaarheid van ondergrondse warmteopslag (Hoge Temperatuur Opslag - HTO). De locatie Het Groene Net 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'.

In de verkenningen zijn meerdere systeemconcepten beschouwd. Er is ten minste één systeemconcept per verkenning volledig uitgewerkt, tot en met de businesscase en evaluatie van effecten en risico's. Deze is weergegeven, als mogelijk alternatief hoe HTO op deze locatie kan worden ingepast. We merken daarbij op dat het uitgewerkte systeemconcept een schetsontwerp is: verdere optimalisatie valt buiten de scope van deze verkenningen.

#### Geohydrologie (hoofdstuk 2)

Meest geschikte bodemlaag:                      Formatie van Breda z3 of z4, Geologisch verbreukt gebied, bruinkoollagen

Diepte opslag:                                      112-145 of 165-215 m-mv

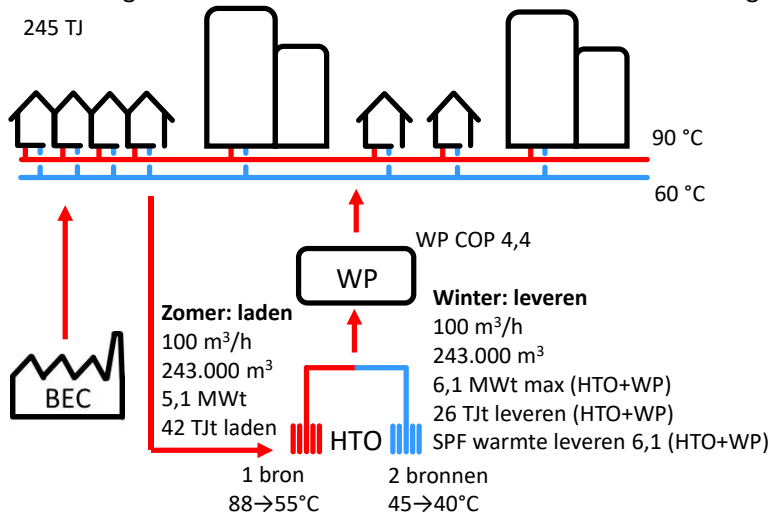
Bodemtemperatuur opslagdiepte:              13,0 of 14,4°C

Proefboring:                                         aangeraden (gemiddelde onzekerheid ondergrond)

a

#### 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, nuanceringen en alternatieven staan beschreven in de verkenning.



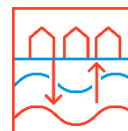
1

b

<b>Thermisch opslagrendement (hoofdstuk 4)</b>		<i>variant 1</i>	
Systeemefficiëntie in jaar 2	33%	(14 TJ warmte uit HTO)	
Systeemefficiëntie in jaar 10	50%	(21 TJ warmte uit HTO)	
Systeemefficiëntie in jaar 50	60%	(25 TJ warmte uit HTO)	
<b>Business case (hoofdstuk 4)</b>			
Investering	5,6 M€ = 1,18 M€/MWt (bij gemiddeld vermogen 4,8 MWt)		<b>b</b>
Investering bronnen	1,0 M€	18%	
Investering warmtepomp	2,6 M€	46%	
Investering overig	2,0 M€	36%	
Operationele kosten	0,36 M€/jaar		
Kosten opgeslagen warmte	0,00 M€	0%	
Kosten elektriciteit	0,15 M€	43%	
Kosten overig	0,21 M€	57%	
Kostprijs geleverde warmte	29,3	€/GJ	
Kostprijs geladen warmte	0,0	€/GJ	
Referentie: kostprijs warmte gasketel 12 €/GJ			
<b>CO<sub>2</sub> emissie (hoofdstuk 4)</b>			
CO <sub>2</sub> emissie in periode van 30 jaar	21,4	kg CO <sub>2</sub> /GJ	
CO <sub>2</sub> emissie warmte laden		2,9 kg CO <sub>2</sub> /GJ	
CO <sub>2</sub> emissie warmte leveren		18,5 kg CO <sub>2</sub> /GJ	
Referentie: emissie warmtelevering gasketel 62 kg CO <sub>2</sub> /GJ			
Referentie: in 2030 doelstelling warmtenetten 18,9 kg CO <sub>2</sub> /GJ			
Opmerking: gerekend met huidig kental voor elektriciteit 0,34 kg CO <sub>2</sub> /kWh (bron NTA 8800)			
<b>Thermische effecten (hoofdstuk 5)</b>			
Thermische straal warmteopslag:	60 of 48 meter		
Horizontale warmte uitstraling:	na 50 jaar ligt de 25°C contour op circa 170 of 210 meter vanaf de bron (Breda z3 of z4)		
Verticale warmte uitstraling:	na 50 jaar ligt de 25°C contour op circa 125 m-mv (bronnen in Breda z4, nog steeds stijgend) Bij bronnen in Breda z3 bereikt de 25°C contour het maaiveld (niet acceptabel)		
<b>Juridische haalbaarheid (hoofdstuk 5)</b>			
Provinciaal beleid	toepassing HTO niet strijdig met beleid		(2)
Zoet of zout grondwater:	zoet grondwater		
Stakeholders ondergrond:	op de beoogde diepte van de opslag zijn er beperkte aantal belangen in de omgeving		
Inpassing bronnen:	het beoogde gebied heeft een relatief lage stedelijkheid		

<b>Beoordeling: positieve aspecten, nadelen en risico analyse (hoofdstuk 6 en 7)</b>		
Positieve aspecten van deze locatie voor toepassing HTO:		
<b>1</b>	Zowel de bron als een groot deel van de warmtevraag is reeds aanwezig. Aanvullend wordt voor zowel de vraag als de bronnen een groei voorzien in de toekomst.	
<b>(2)</b>	Op de locatie HGN is zoet grondwater in het beoogde opslagpakket aanwezig. Zoet grondwater heeft een hogere waarde in vergelijking met zout grondwater. Het risico ten aanzien van vergunbaarheid wordt bij HGN als een 'gemiddeld' risico gezien.	
Nadelen van deze locatie voor toepassing HTO:		
<b>a</b>	De warmteopslag wordt aangelegd onder bruinkoollagen. Onbekend is welk effect de hogere temperaturen hebben op de bruinkoollagen, meer onderzoek is nodig.	
<b>b</b>	De omvang van het HTO-systeem is relatief klein. Hierdoor liggen de kosten voor warmte vanuit de HTO relatief hoog en is de prijs ook gevoelig voor een schommelingen in omvang.	
<b>Conclusie (hoofdstuk 7)</b>		
De toepassingsmogelijkheden van HTO op deze locatie kent specifieke beperkingen. De geringe omvang van het systeem resulteert in een hoge warmteprijs. De ligging in een geologisch sterk verbreukt gebied en de aanwezigheid van bruinkoollagen resulteren in hogere risico's.		
Het WINDOW programma heeft als doel om HTO verder te ontwikkelen tot een bewezen techniek. Op dit moment bestaan er nog (algemene) technische, juridische en financiële onderzoeksvragen voor toepassing van HTO. De specifieke beperkingen op deze locatie zijn wellicht overkomelijk, maar vanwege deze nadelen is deze locatie minder geschikt om binnen het WINDOW programma HTO tot een bewezen techniek te brengen.		

# Management samenvatting



<p><b>WINDOW fase 1</b> Verkenning ondergrondse warmteopslag Leeuwarden</p>	<p>Beoordeling (zie toelichting)</p>
<p><b>Over deze verkenning (hoofdstuk 1)</b></p> <p>In het onderzoeksprogramma WINDOW zijn op zeven locaties verkenningen uitgevoerd naar de haalbaarheid van ondergrondse warmteopslag (Hoge Temperatuur Opslag - HTO). De locatie Leeuwarden 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'.</p> <p>In de verkenningen zijn meerdere systeemconcepten beschouwd. Er is ten minste één systeemconcept per verkenning volledig uitgewerkt, tot en met de businesscase en evaluatie van effecten en risico's. Deze is weergegeven, als mogelijk alternatief hoe HTO op deze locatie kan worden ingepast. We merken daarbij op dat het uitgewerkte systeemconcept een schetsontwerp is: verdere optimalisatie valt buiten de scope van deze verkenningen.</p>	
<p><b>Geohydrologie (hoofdstuk 2)</b></p> <p>Meest geschikte bodemlaag:                      Formatie van Maassluis z4</p> <p>Diepte opslag:                                      325-350 m-mv</p> <p>Bodemtemperatuur opslagdiepte:            17,8°C</p> <p>Proefboring:                                       aangeraden (onzekerheid ondergrond beoordeeld als bovengemiddeld hoog)</p>	<p>a</p>
<p><b>Uitgewerkt systeemconcept (hoofdstuk 3)</b></p> <p>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, nuanceringen en alternatieven staan beschreven in de verkenning.</p>	<p>1</p> <p>2</p> <p>b</p>

<b>Thermisch opslagrendement (hoofdstuk 4)</b>		
Systemefficiëntie	In jaar 2	41% = 30 TJ warmte uit HTO
	In jaar 10	60% = 44 TJ warmte uit HTO
	In jaar 50	70% = 51 TJ warmte uit HTO
<b>Business case (hoofdstuk 4)</b>		
Investering	5,2 M€ = 2,26 M€/MWt	
Investering bronnen	3,1 M€	60%
Investering warmtepomp	0,0 M€	0%
Investering overig	2,1 M€	40%
Operationele kosten	0,43 M€/jaar	
Kosten opgeslagen warmte	0,00 M€	0%
Kosten elektriciteit	0,02 M€	5%
Kosten overig	0,41 M€	95%
Kostprijs geleverde warmte	12,4	€/GJ
Kostprijs geladen warmte	0,0	€/GJ
Referentie: kostprijs warmte gasketel 12 €/GJ		
<b>CO<sub>2</sub> emissie (hoofdstuk 4)</b>		
CO <sub>2</sub> emissie in periode van 30 jaar	18,3	kg CO <sub>2</sub> /GJ
CO <sub>2</sub> emissie warmte laden	13,2	kg CO <sub>2</sub> /GJ
CO <sub>2</sub> emissie warmte leveren	5,1	kg CO <sub>2</sub> /GJ
Referentie: in 2030 doelstelling warmtenetten	18,9	kg CO <sub>2</sub> /GJ
Ter info: warmte geleverd met een gasketel	62	kg CO <sub>2</sub> /GJ
Opmerking: er is gerekend met het huidige kental voor elektriciteit van 0,34 kg CO <sub>2</sub> /kWh (bron NTA 8800)		
<b>Thermische effecten (hoofdstuk 5)</b>		
Thermische straal warmteopslag:	89 meter	
Horizontale warmte uitstraling:	na 50 jaar ligt de 25°C contour op circa 200 meter	
Verticale warmte uitstraling:	vanaf de bron	
	na 50 jaar ligt de 25°C contour op circa 270 m-mv	
<b>Juridische haalbaarheid (hoofdstuk 5)</b>		
Provinciaal beleid	toepassing HTO niet strijdig met beleid	3
Zoet of zout grondwater:	zout grondwater	
Stakeholders ondergrond:	op de beoogde diepte van de opslag zijn er beperkte aantal belangen in de omgeving	
Inpassing bronnen:	het beoogde gebied heeft een relatief lage stedelijkheid	

<b>Beoordeling: positieve aspecten, nadelen en risico analyse (hoofdstuk 6 en 7)</b>		
Positieve aspecten van deze locatie voor toepassing HTO:		
1	Het warmtenet moet nog ontwikkeld worden, dit biedt kansen om lagere temperaturen te realiseren	
2	Q1/Q2 2021 is er een geplande geothermieboring. Dit geeft mogelijkheid tot aanvullend data-acquisitie t.b.v. de HTO.	
3	Juridische haalbaarheid wordt positief ingeschat, er is flexibiliteit om de geschikte locatie te kiezen langs de backbone bij een van de booster stations	
Nadelen van deze locatie voor toepassing HTO:		
a	Grote onzekerheid over de opbouw ondergrond, dit heeft invloed op efficiëntie bronnen en businesscase. Kans daarbij is dat begin 2021 geboord wordt naar geothermie, mogelijkheid voor meer inzicht in de bodemgeschiktheid	
b	Het warmtenet en de bronnen zijn nog in ontwikkeling, risico dat de ontwikkeling trager gaat dan gepland	
<b>Conclusie (hoofdstuk 7)</b>		
<p>Grootste onzekerheid in Leeuwarden is de opbouw van de ondergrond, door het ontbreken van diepere boringen in de omgeving. De geplande geothermie boring kan benut worden om beter inzicht te krijgen, door het ondiepe dele goed te loggen en eventueel metingen uit te voeren. Een proefboring kan op termijn verder uitsluitsel geven. Daarnaast zijn de warmtebron en het warmtenet nog in ontwikkeling.</p> <p>De toepassingsmogelijkheden van HTO op deze locatie wordt verder op basis van deze verkenning als relatief positief beoordeeld.</p> <p>Opmerking: het WINDOW programma heeft als doel om HTO verder te ontwikkelen tot een bewezen techniek. Op dit moment bestaan er nog technische, juridische en financiële onderzoeksvragen. De conclusie moet gezien worden binnen het kader van een techniek-in-ontwikkeling, met grotere risico's ten opzichte van bewezen techniek.</p>		
<b>Beschouwde varianten:</b>		
<p>In plaats van het booster station wordt een warmtepomp geplaatst met een vermogen van 3,0 of 8,4 MW, en een injectietemperatuur in de lauwe bron van 40 °C of 30 °C.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variant 1 (boosterstation) heeft het laagste energieverbruik van de warmteopslag*, de laagste investeringskosten en de laagste kostprijs voor warmte. Deze variant is in deze management samenvatting opgenomen.</li> <li>• Variant 2 heeft de grootste warmtelevering van de warmteopslag+warmtepomp, het hoogste thermisch rendement en de minste warmte uitstraling in de ondergrond.</li> <li>• Variant 3 heeft het laagste energieverbruik van de warmteopslag+warmtepomp, en de hoogste CO<sub>2</sub> reductie.</li> </ul>		

	Variant	Hete bron	Warme bron	Geleverde warmte	Thermisch rendement	COP warmte levering	Investeringskosten	Kostprijs warmte
1	Booster station	88°C	52°C	44 TJ*	60%	50*	5,2 M€*	12,4 €/GJ*
2	Warmtepomp 8,4 MW	88°C	30°C	98 TJ	78%	4,1	11,8 M€	17,9 €/GJ
3	Warmtepomp 3,0 MW	88°C	40°C	73 TJ	72%	6,6	9,3 M€	16,8 €/GJ
<p>*Opmerking: het boosterstation is in variant 1 niet als onderdeel van de warmteopslag beschouwd en is niet meegenomen in de COP, investeringskosten en kostprijs warmtelevering. De geleverde warmte in variant 1 (44 TJ) heeft een lagere temperatuur dan de gevraagde aanvoertemperatuur van het warmtenet.</p>								



# Management samenvatting

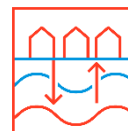


<p><b>WINDOW</b> fase 1 Verkenning ondergrondse warmteopslag Rotterdam Nesselande</p>	<p>Beoordeling (zie toelichting)</p>																
<p><b>Over deze verkenning (hoofdstuk 1)</b> In het onderzoeksprogramma WINDOW zijn op zeven locaties verkenningen uitgevoerd naar de haalbaarheid van ondergrondse warmteopslag (Hoge Temperatuur Opslag - HTO). De locatie Rotterdam Nesselande is één van de locaties waar een verkenning is uitgevoerd. Met deze verkenning is de potentie van seizoensopslag in het warmtenet van Eneco onderzocht. Daarnaast dient deze verkenning ook als vergelijking met de andere verkenningen binnen WINDOW vanuit de gedachte 'learning-by-doing'. In de verkenningen zijn meerdere systeemconcepten beschouwd. Er is ten minste één systeemconcept per verkenning volledig uitgewerkt, tot en met de businesscase en evaluatie van effecten en risico's. Deze is weergegeven, als mogelijk alternatief hoe HTO op deze locatie kan worden ingepast. We merken daarbij op dat het uitgewerkte systeemconcept een schetsontwerp is: verdere optimalisatie valt buiten de scope van deze verkenningen.</p>																	
<p><b>Geohydrologie (hoofdstuk 2)</b></p> <table border="0"> <tr> <td>Geschikte bodemlaag:</td> <td>Formatie van Maassluis z3</td> <td>Oosterhout z2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Diepte opslag:</td> <td>145-167 m-mv</td> <td>218-240 m-mv</td> <td>a</td> </tr> <tr> <td>Bodemtemperatuur opslagdiepte:</td> <td>13,6</td> <td>16,3°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Proefboring:</td> <td>aangeraden</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Geschikte bodemlaag:	Formatie van Maassluis z3	Oosterhout z2	1	Diepte opslag:	145-167 m-mv	218-240 m-mv	a	Bodemtemperatuur opslagdiepte:	13,6	16,3°C		Proefboring:	aangeraden			
Geschikte bodemlaag:	Formatie van Maassluis z3	Oosterhout z2	1														
Diepte opslag:	145-167 m-mv	218-240 m-mv	a														
Bodemtemperatuur opslagdiepte:	13,6	16,3°C															
Proefboring:	aangeraden																
<p><b>Uitgewerkt systeemconcept (hoofdstuk 3)</b> 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, nuanceringen en alternatieven staan beschreven in de verkenning.</p> <table border="0"> <tr> <td><b>Zomer: laden</b></td> <td><b>Winter: leveren</b></td> </tr> <tr> <td>96 m<sup>3</sup>/h</td> <td>96 m<sup>3</sup>/h</td> </tr> <tr> <td>432.000 m<sup>3</sup></td> <td>400.000 m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>5,6 MWt max</td> <td>3,6 MWt max (HTO)</td> </tr> <tr> <td>74 TJt laden</td> <td>37 TJt leveren (HTO)</td> </tr> </table> <p>2 bronnen 86→58°C      2 bronnen 54→42°C</p>	<b>Zomer: laden</b>	<b>Winter: leveren</b>	96 m <sup>3</sup> /h	96 m <sup>3</sup> /h	432.000 m <sup>3</sup>	400.000 m <sup>3</sup>	5,6 MWt max	3,6 MWt max (HTO)	74 TJt laden	37 TJt leveren (HTO)	<p>2 3 4 b</p>						
<b>Zomer: laden</b>	<b>Winter: leveren</b>																
96 m <sup>3</sup> /h	96 m <sup>3</sup> /h																
432.000 m <sup>3</sup>	400.000 m <sup>3</sup>																
5,6 MWt max	3,6 MWt max (HTO)																
74 TJt laden	37 TJt leveren (HTO)																

<b>Thermisch opslagrendement (hoofdstuk 4)</b>		
Systeemefficiëntie in jaar 2	26%	(19 TJ warmte uit HTO)
Systeemefficiëntie in jaar 10	50%	(37 TJ warmte uit HTO)
Systeemefficiëntie in jaar 50	63%	(47 TJ warmte uit HTO)
<b>Business case (hoofdstuk 4)</b>		
Investering	2,6 M€ = 1,8 M€/MW <sub>t</sub> (bij gemiddeld vermogen 1,8 MW)	
Investering bronnen	1,0 M€	39%
Investering warmtepomp	0,0 M€	0%
Investering overig	1,6 M€	61%
Operationele kosten	0,21 M€/jaar	
Kosten opgeslagen warmte	0,00 M€	0%
Kosten elektriciteit	0,04 M€	21%
Kosten overig	0,17 M€	79%
Kostprijs geleverde warmte	8,8 €/GJ	
Kostprijs geladen warmte	0,0 €/GJ	
Referentie: kostprijs warmte gasketel 12 €/GJ		
<b>CO<sub>2</sub> emissie (hoofdstuk 4)</b>		
CO <sub>2</sub> emissie in periode van 30 jaar	18,3 kg CO <sub>2</sub> /GJ	
CO <sub>2</sub> emissie warmte laden	13,2 kg CO <sub>2</sub> /GJ	
CO <sub>2</sub> emissie warmte leveren	5,1 kg CO <sub>2</sub> /GJ	
Referentie: emissie warmtelevering gasketel 62 kg CO <sub>2</sub> /GJ		
Referentie: in 2030 doelstelling warmtenetten 18,9 kg CO <sub>2</sub> /GJ		
Opmerking: gerekend met huidig kental voor elektriciteit 0,34 kg CO <sub>2</sub> /kWh (bron NTA 8800)		
In Nesselande wordt de CO <sub>2</sub> -uitstoot van warmte laden in de zomer enkel toegeschreven aan de hulpenergie van het warmtenet.		
<b>Thermische effecten (hoofdstuk 5)</b>		
Thermische straal warmteopslag:	99 meter	
Horizontale warmte uitstraling: (25°C contour vanaf de bron)	na 50 jaar op circa 220 meter vanaf de bron	
Verticale warmte uitstraling: (25°C contour diepte)	na 50 jaar op circa 110 m-mv of op circa 220 m-mv (bronnen in F. van Maassluis of F. van Oosterhout)	
<b>Juridische haalbaarheid (hoofdstuk 5)</b>		
Provinciaal beleid	toepassing HTO niet strijdig met beleid	5
Zoet of zout grondwater:	zout grondwater	
Stakeholders ondergrond:	er is een WKO-systeem in de omgeving aanwezig, maar niet in het opslagpakket	c
Inpassing bronnen:	het beoogde gebied ligt in stedelijk gebied, inpassing van de bronnen wordt haalbaar geacht	

<b>Beoordeling: positieve aspecten, nadelen en risico analyse (hoofdstuk 6 en 7)</b>		
Positieve aspecten van deze locatie voor toepassing HTO:		
1	Formatie van Maassluis wordt 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	De temperatuur van het warmtenet in Nesselande ligt relatief laag. Bij een temperatuurdaling van de HTO kan worden bijgemengd vanuit het transportnet, waardoor een warmtepomp niet op beperkt nodig is.	
4	Er liggen plannen voor een toekomstige geothermie systeem.	
5	Risico's met betrekking tot de vergunbaarheid in het kader van de Waterwet worden klein ingeschat.	
Nadelen van deze locatie voor toepassing HTO:		
a	Formatie van Oosterhout heeft grote onzekerheid over de opbouw ondergrond. Dit heeft invloed op efficiëntie bronnen en businesscase Een proefboring kan uitsluitel geven.	
b	Door de onbekendheid van de techniek is er een kans dat de kosten in exploitatie hoger uitvallen dan voorzien (generiek risico). Door de omvang van het systeem liggen de operationele kosten in deze verkenning hoog, waardoor de kostenverhoging in absolute zin gevoeliger is voor dit risico.	
c	Een nabijgelegen WKO-systeem vraagt aandacht. Negatieve thermische beïnvloeding is, op basis van de berekeningen, niet aan de orde.	
<b>Conclusie (hoofdstuk 7)</b>		
De toepassingsmogelijkheden van HTO op deze locatie wordt op basis van deze verkenning als relatief positief beoordeeld.		
Opmerking: het WINDOW programma heeft als doel om HTO verder te ontwikkelen tot een bewezen techniek. Op dit moment bestaan er nog technische, juridische en financiële onderzoeksvragen. De conclusie moet gezien worden binnen het kader van een techniek-in-ontwikkeling, met grotere risico's ten opzichte van bewezen techniek.		
<b>Beschouwde varianten:</b>		
Voor de locatie Nesselande zijn acht varianten beschouwd. Variant 2 is opgenomen, met bronnen in de Formatie van Maassluis. De overige varianten verschillen door een hoger temperatuurniveau in het distributienet, een warmtepomp, een enkelwandige warmtewisselaar, en door toepassing van de bronnen in de Formatie van Oosterhout.		

# Management samenvatting

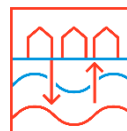


<p><b>WINDOW</b> fase 1 Verkenning ondergrondse warmteopslag Tilburg</p>	<p>Beoordeling (zie toelichting)</p>										
<p><b>Over deze verkenning (hoofdstuk 1)</b></p> <p>In het onderzoeksprogramma WINDOW zijn op zeven locaties verkenningen uitgevoerd naar de haalbaarheid van ondergrondse warmteopslag (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'.</p> <p>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.</p> <p>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 CO<sub>2</sub> reductie.</p>											
<p><b>Geohydrologie (hoofdstuk 2)</b></p> <table border="0"> <tr> <td>Geschikte bodemlaag:</td> <td>Formatie van Maassluis z3,4</td> <td>Oosterhout z2</td> <td rowspan="3" style="background-color: #c8e6c9; text-align: center; vertical-align: middle;"><b>1</b></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	<b>1</b>	Diepte opslag:	120-135 m-mv	155-210 m-mv	Bodemtemperatuur opslagdiepte:	12,8°C	14,2°C	
Geschikte bodemlaag:	Formatie van Maassluis z3,4	Oosterhout z2	<b>1</b>								
Diepte opslag:	120-135 m-mv	155-210 m-mv									
Bodemtemperatuur opslagdiepte:	12,8°C	14,2°C									
<p><b>Uitgewerkt systeemconcept (hoofdstuk 3)</b></p> <p>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>	<b>2</b> <b>3</b>										

<b>Thermisch opslagrendement (hoofdstuk 4)</b>		
Systemefficiëntie in jaar 2	50% Maassluis, 15 à 36% Oosterhout	
Systemefficiëntie in jaar 10	71% Maassluis, 42 à 47% Oosterhout	
Systemefficiëntie in jaar 50	79% Maassluis, 54 à 59% Oosterhout	
<b>Business case (hoofdstuk 4)</b>		
Niet uitgewerkt		
<b>CO<sub>2</sub> emissie (hoofdstuk 4)</b>		
Niet uitgewerkt		
<b>Thermische effecten (hoofdstuk 5)</b>		
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)	
<b>Juridische haalbaarheid (hoofdstuk 6)</b>		
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	
<b>Beoordeling: positieve aspecten, nadelen en risico analyse (hoofdstuk 7 en 8)</b>		
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.	

<p><b>Conclusie (hoofdstuk 8)</b></p> <p>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> <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><b>Aanbevelingen voor vervolgonderzoek:</b></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>	

# Management samenvatting



## WINDOW fase 1

### Verkenning ondergrondse warmteopslag TU Delft

Beoordeling  
(zie toelichting)

#### Over deze verkenning

In het onderzoeksprogramma WINDOW zijn op zeven locaties verkenningen uitgevoerd naar de haalbaarheid van ondergrondse warmteopslag (Hoge Temperatuur Opslag - HTO). De locatie TU Delft is één van de locaties waar een verkenning is uitgevoerd. Met deze verkenning is de potentie van seizoensopslag in het bestaande warmtenet van de TU Delft campus en toekomstig warmtenet van de stad Delft onderzocht. Daarnaast dient deze verkenning ook als vergelijking met de andere verkenningen binnen WINDOW vanuit de gedachte 'learning-by-doing'.

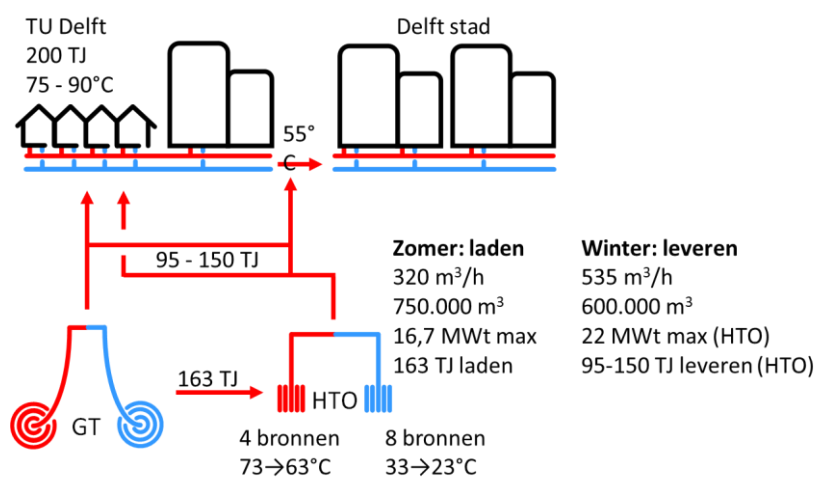
In de verkenningen zijn meerdere systeemconcepten beschouwd. Er is ten minste één systeemconcept per verkenning volledig uitgewerkt, tot en met de businesscase en evaluatie van effecten en risico's. Deze is weergegeven, als mogelijk alternatief hoe HTO op deze locatie kan worden ingepast. We merken daarbij op dat het uitgewerkte systeemconcept een schetsontwerp is: verdere optimalisatie valt buiten de scope van deze verkenningen.

#### Geohydrologie

Geschikte bodemlaag:	Formatie van Maassluis z3
Diepte opslag:	130-180 m-mv
Bodemtemperatuur opslagdiepte:	13,5
Proefboring:	aangeraden

#### Uitgewerkt systeemconcept

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, nuanceringen en alternatieven staan beschreven in de verkenning.



1  
2  
3  
a

<b>Thermisch opslagrendement</b> Systeemefficiëntie in jaar 2                      57%    (93 TJ warmte uit HTO) Systeemefficiëntie in jaar 10                     78%    (127 TJ warmte uit HTO) Systeemefficiëntie in jaar 50                    80%    (130 TJ warmte uit HTO)		
<b>Business case</b> De business case van ondergrondse warmteopslag TU Delft is geïntegreerd met de business case van een bestaand project met realistische gegevens, de geothermiebron (DAPwell). De combinatie geeft een realistisch beeld van de werkelijkheid. Er zijn bestaande warmteprijsen gebruikt waarmee het projectrendement en NPV zijn berekend. De andere verkenningen rekenen deze warmteprijs uit op basis van een bepaald vast rendement.		
Investering	3,41 M€ = 0,155 M€/MW <sub>t</sub>	4
Investering bronnen	1,88 M€      55%	
Investering surface plant	0,96 M€      28%	
Investering overig	0,57 M€      17%	
Operationele kosten	0,38 M€/jaar	
Kosten opgeslagen warmte	0,00    M€    0%	
Kosten elektriciteit	0,13    M€    35%	
Kosten overig	0,25    M€    65%	
Kostprijs geleverde warmte	4,8 €/GJ	
Kostprijs geladen warmte	7,4 €/GJ	
Referentie: kostprijs warmte gasketel 12 €/GJ		
<b>CO<sub>2</sub> emissie (hoofdstuk 4)</b> CO <sub>2</sub> emissie in periode van 30 jaar            9,4 kg CO <sub>2</sub> /GJ CO <sub>2</sub> emissie warmte laden                    2,5 kg CO <sub>2</sub> /GJ HTO CO <sub>2</sub> emissie warmte leveren                 2,5 kg CO <sub>2</sub> /GJ HTO CO <sub>2</sub> emissie warmte productie              4,3 kg CO <sub>2</sub> /GJ DAPwell  Referentie: emissie warmtelevering gasketel 62 kg CO <sub>2</sub> /GJ Referentie: in 2030 doelstelling warmtenetten 18,9 kg CO <sub>2</sub> /GJ Opmerking: gerekend met huidig kental voor elektriciteit 0,34 kg CO <sub>2</sub> /kWh (bron NTA 8800)  TU Delft koopt haar stroom in van een dedicated windmolenpark en heeft eigen zonnestroom, waarmee de CO <sub>2</sub> emissie op 0 kg CO <sub>2</sub> /GJ uitkomt.		
<b>Thermische effecten (hoofdstuk 5)</b> Thermische straal warmteopslag:            100 meter Horizontale warmte uitstraling:            na 50 jaar op circa 300 meter vanaf de bron (25°C contour vanaf de bron) Verticale warmte uitstraling:                na 50 jaar op circa 95 m-mv (25°C contour diepte)		



<b>Juridische haalbaarheid (hoofdstuk 5)</b>		
Provinciaal beleid	toepassing HTO niet strijdig met beleid	5
Zoet of zout grondwater:	brak/zout grondwater	
Stakeholders ondergrond:	Op de beoogde diepte van de opslag zijn er andere bodemenergie systemen, maar die zijn van de TU Delft en op grote afstand	
Inpassing bronnen:	Het beoogde gebied heeft een relatief lage stedelijkheid, grotendeels eigen terrein TU Delft	
<b>Beoordeling: positieve aspecten, nadelen en risico analyse (hoofdstuk 6 en 7)</b>		
Positieve aspecten van deze locatie voor toepassing HTO:		
1	Groot deel van de vraag en warmtenet al gerealiseerd, aanbod in de vorm van geothermie is gepland.	
2	HTO heeft een relatief grote omvang, dit leidt tot een gunstige warmteprijs en een gunstig thermisch rendement.	
3	Samen met de geothermiebron wordt HTO ook als onderzoeksfaciliteit ingericht. Langjarig en gedetailleerd monitoring en onderzoek moeten beter grip en nieuwe inzichten opleveren waarmee het lange termijn functioneren van HTO systemen kan worden gewaarborgd.	
4	Goede kansen voor optimalisatie tot de streefprijs voor warmte, door verder optimaliseren van het ontwerp: - gedeeltelijke aanpassing ontwerpnormen, zodat minder bronnen nodig zijn - inzet geothermische warmte in de nabije toekomst (deze heeft een hoger subsidiebedrag) - indien mogelijk gebruik maken van een DEI investeringssubsidie	
5	Risico's met betrekking tot de vergunbaarheid in het kader van de Waterwet worden klein ingeschat.	
Nadelen van deze locatie voor toepassing HTO:		
a	Complex samenstel van 2 warmtenetten en verschillende temperatuur trajecten, alle onderdelen (warmtenet Delft, DAPwell) zijn nodig voor een positieve BuCa. De koppeling met het warmtenet is nog in ontwikkeling, nog geen FID op geothermiebron.	
<b>Conclusie (hoofdstuk 7)</b>		
De toepassingsmogelijkheden van HTO op deze locatie wordt op basis van deze verkenning als relatief positief beoordeeld.		
Opmerking: het WINDOW programma heeft als doel om HTO verder te ontwikkelen tot een bewezen techniek. Op dit moment bestaan er nog technische, juridische en financiële onderzoeksvragen. De conclusie moet gezien worden binnen het kader van een techniek-in-ontwikkeling, met grotere risico's ten opzichte van bewezen techniek.		

## **Bijlage 3 Analyse verkenningen (sheets uit WINDOW-presentatie)**

# Analyse verkenningen (sheets uit WINDOW-presentatie)

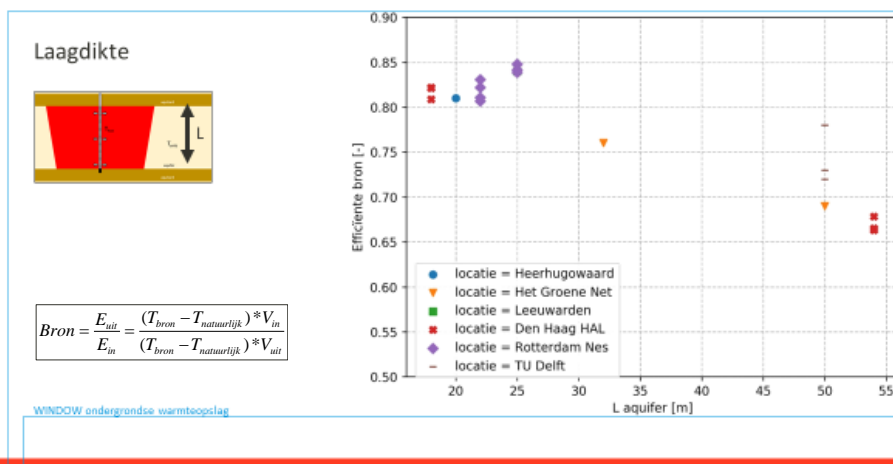
In deze bijlage zijn sheets opgenomen uit een WINDOW-presentatie, met een analyse van de resultaten van de verkenningen (bepalende factoren voor opslagrendement en kostprijs). De analyse is uitgevoerd door Stijn Beernink (KWR) en Ivo Pothof (Deltares), met medewerking van het WINDOW-uitvoeringsteam.

## Bronrendement versus laagdikte

Berekende resultaten van zeven verkenningen, meerdere systeemconcepten per locatie.

### Wat bepaalt het bronrendement?

WARMINGUP

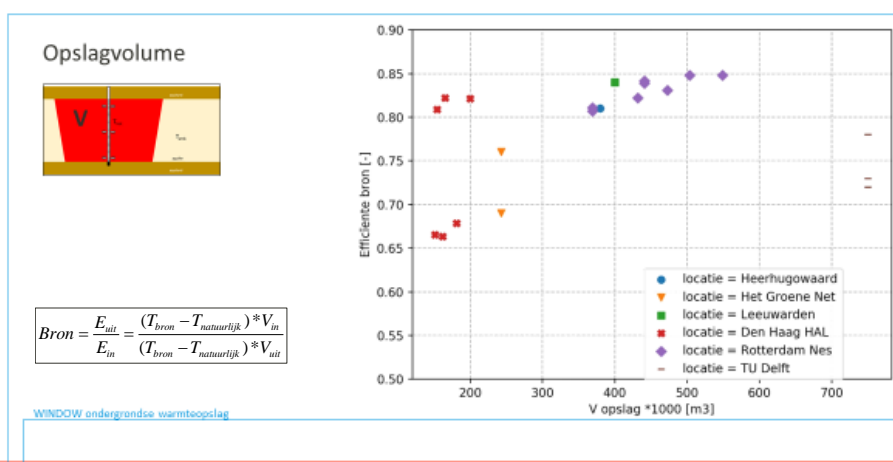


## Bronrendement versus opslagvolume

Berekende resultaten van zeven verkenningen, meerdere systeemconcepten per locatie.

### Wat bepaalt het bronrendement?

WARMINGUP

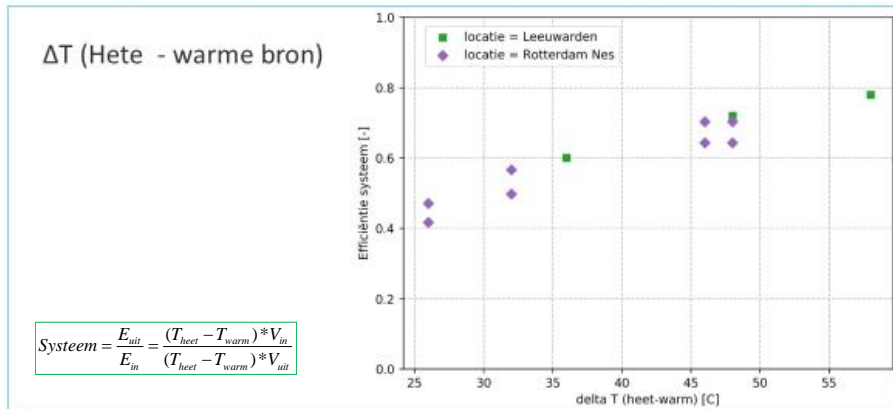


### Ondergronds systeemrendement versus $\Delta T$

Bereken de resultaten van Leeuwarden en Rotterdam Nesselande, waar de  $\Delta T$  is gevarieerd in de systeemconcepten.

#### Wat bepaalt het systeemrendement?

WARMINGUP



22

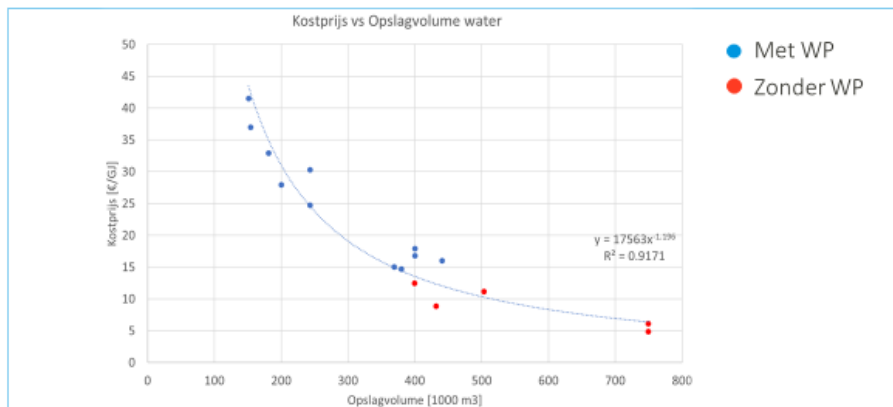
WINDOW ondergrondse warmteopslag

### Kostprijs van HTO versus opslagvolume

Bereken de resultaten van zeven verkenningen, meerdere systeemconcepten per locatie.

#### Wat bepaalt de kostprijs van HTO?

WARMINGUP



24

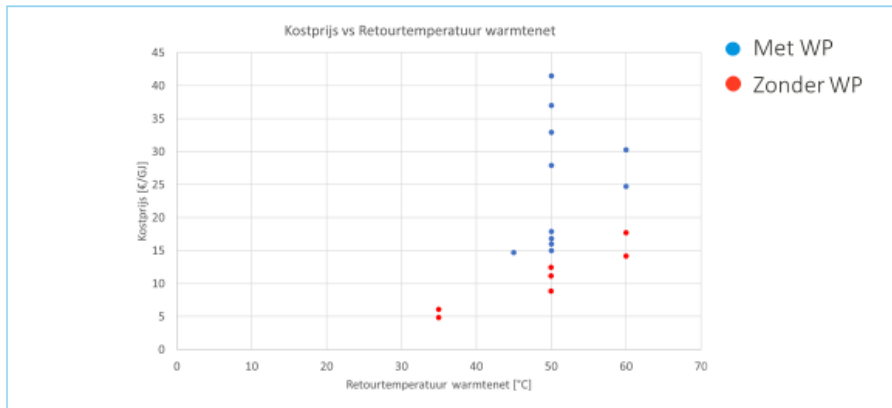
WINDOW ondergrondse warmteopslag

### Kostprijs van HTO versus retourtemperatuur warmtenet

Berekende resultaten van zeven verkenningen, meerdere systeemconcepten per locatie.

#### Wat bepaalt de kostprijs van HTO?

WARMING<sup>UP</sup>



25

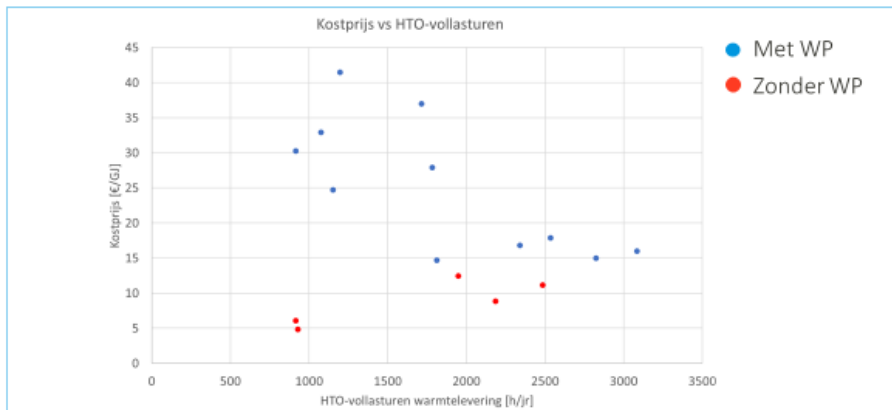
WINDOW ondergrondse warmteopslag

### Kostprijs van HTO versus aantal vollasturen

Berekende resultaten van zeven verkenningen, meerdere systeemconcepten per locatie.

#### Wat bepaalt de kostprijs van HTO?

WARMING<sup>UP</sup>



26

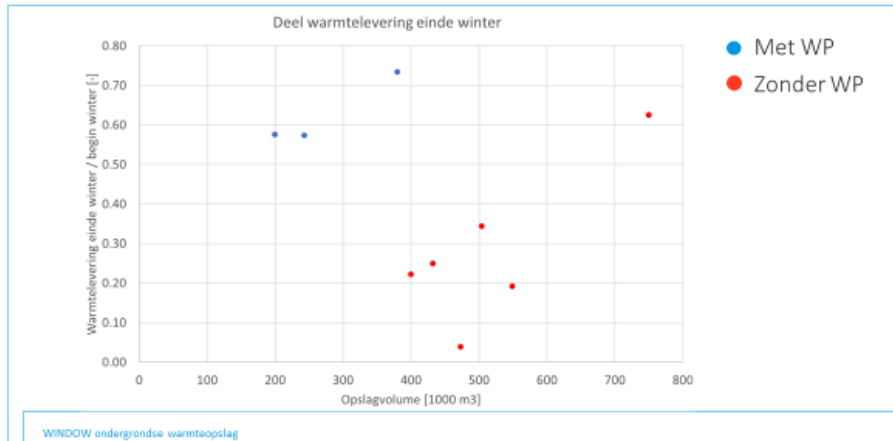
WINDOW ondergrondse warmteopslag

## Effect warmtepomp: warmtelevering aan het einde van de winter

Berekende resultaten van zeven verkenningen, meerdere systeemconcepten per locatie.

### Zonder WP zakt warmtelevering ver terug

WARMINGUP



## Conclusies analyse verkenningen

### Conclusies

WARMINGUP

- Efficiëntie wordt bepaald door:
  - Laagdikte
  - $\Delta T$  tussen hete en warme bron
  - Opslagvolume
- Kostprijs HTO wordt bepaald door
  - Opslagvolume (90%)
  - Vollaasturen, retourtemperatuur en systeemefficiency
- Warmtepomp effecten
  - Hogere kostprijs
  - Hoger systeemrendement
  - Warmtelevering blijft (veel) beter op peil in winter
- HTO levert grote CO<sub>2</sub> besparing (50 – 85% bij huidige E-mix)

28 WINDOW ondergrondse warmteopslag

**Eindredactie van dit  
deelrapport door KWR**

**Adres**  
Groningenhaven 7

**Postadres**  
Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein