

Overzicht duurzame warmtebronnen voor warmtenet Lingewaard

Paul Hospers
7 februari 2020
CONCEPT

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
2	Warmtenet en warmtevraag.....	4
3	Warmtebronnen.....	6
4	Opslag.....	9
5	Van opties tot bronnenstrategie voor warmtenet	10
6	Bijlagen.....	13



1 Inleiding

Gemeente Lingewaard is aan de slag met de warmtetransitie van de bestaande bebouwde omgeving. Hierbij gaat het om het terugdringen van het energieverbruik (bijvoorbeeld door isoleren) en het vervangen van het gebruik van aardgas door duurzame bronnen. De gemeente neemt haar regierol en onderzoekt hoe de warmtetransitie vorm kan krijgen in de gemeente.

Voorliggend document richt zich op een specifiek element in de warmtetransitie: het aanbod van bestaande en nieuw te ontwikkelen duurzame warmtebronnen die aangesloten kunnen worden op een warmtenet. Bij dit warmtenet gaat het om het bestaande warmtenet binnen het tuinbouwgebied NEXTgarden en de mogelijk uitrol hiervan.

Via het bestaande warmtenet in tuinbouwgebied NEXTgarden ontvangen 14 hierop aangesloten tuinders jaarlijks circa 450.000 (GigaJoule) GJ of 450 (TerraJoule) TJ aan warmte. Dit is evenveel als de warmtebehoefte van ruim 10.000 huishoudens. De mogelijkheden van dit warmtenet voor de duurzame verwarming van de bebouwde omgeving (bestaande en nieuwe woningen en bedrijven in de omgeving) worden onderzocht. Er loopt een haalbaarheidsonderzoek naar de uitrol van het bestaande warmtenet naar:

1. Bergerden-Zuid en Agropark (nieuwe en bestaande (tuinbouw)bedrijven)
2. De Rietkamp en woningbouwlocatie Driegaarden (bestaande en nieuwe tuinbouwbedrijven en nieuwbouwwoningen)
3. De Zilverkamp (voornamelijk bestaande woningen)

Om tot een warmtenet als alternatief voor bestaande, aardgasgestookte warmtevoorzieningen te komen zijn verschillende elementen nodig:

1. Voldoende aanbod van duurzame warmte(bronnen) tegen een aanvaardbare prijs
2. Een warmtenetwerk dat warmtebronnen en afnemers met elkaar verbindt
3. Voldoende afnemers die bereid zijn om de warmte tegen de aangeboden voorwaarden af te nemen

Op het aanbod van duurzame warmtebronnen die aan het genoemde warmtenet gekoppeld kunnen worden richt voorliggend document zich.

2 Warmtenet en warmtevraag

Veel duurzame warmtebronnen zijn grootschalig. Om deze te kunnen ontwikkelen en exploiteren is een grote afnemer (glastuinbouw, keramische industrie) of een gekoppelde warmtevraag van vele kleinere afnemers (woningen) via een warmtenet nodig. Dan kunnen er woningen en bedrijven op worden aangesloten.

Binnen Lingewaard is een warmtenet van Lingezege Energy aanwezig. Hierop zijn 14 glastuinbouwbedrijven op NEXTgarden aangesloten. Gemeente Lingewaard, Firan¹ en Lingezege Energy² voeren een haalbaarheidsonderzoek uit naar de uitrol van dit warmtenet binnen Bergerden (NEXTgarden), naar glastuinbouwgebied de Rietkamp, woningbouwlocatie Driegaarden (circa 500 nieuwbouwwoningen) en de bestaande wijk de Zilverkamp in Huissen (circa 2.750 bestaande woningen en commercieel en maatschappelijk vastgoed, zie kaart 1 en bijlage 1).

Kaart 1 Mogelijke uitrol warmtenet en duurzame energie



De warmtevraag van de onderscheiden deelgebieden is in kaart gebracht. Dit levert het volgende beeld op (kaart 2).

¹ Firan is het warmtenetwerkbedrijf van de regionale netbeheerder Liander.

² Lingezege Energy is het collectieve energiebedrijf van de aangesloten tuinders op Bergerden (NEXTgarden).

Kaart 2 Warmtevraag mogelijke uitrol warmtenet



Bronnen: opgave Lingezege Energy; DWA (2019), Duurzame verwarming van de Zilverkamp in Huissen, Technische verkenning; raming Qirion.

De totale warmtevraag binnen het gebied waarvoor de uitrol van het warmtenet wordt onderzocht bedraagt circa 915-965 TJ per jaar, iets meer dan een verdubbeling van de huidige voor bestaande tuinders beschikbare capaciteit.

3 Warmtebronnen

In en om het gebied waarvoor de uitrol van het warmtenet wordt onderzocht zijn de volgende warmtebronnen aanwezig, in ontwikkeling of in onderzoek.

1. Aardgas

Het overgrote deel van de warmtebehoefte wordt op dit moment met aardgas ingevuld. Aardgas is een fossiele brandstof, waarvoor duurzame, hernieuwbare alternatieven worden gezocht. Vanuit het uitgangspunt dat 1 TJ gelijk is aan 31.600 m³ aardgas gaat het om een totaal verbruik van circa 30 miljoen m³ aardgas. Het feitelijke verbruik van aardgas binnen het gebied ligt hoger. Dit komt doordat de tuinders met zogenoemde warmtekrachtkoppelingen (WKK) naast warmte ook elektriciteit produceren, dat grotendeels aan het net wordt geleverd. Inclusief dit verbruik gaat het om circa 40 miljoen m³ aardgas per jaar. Dit is ongeveer de helft van het totale aardgasverbruik binnen Lingewaard.

De opwekking van warmte met aardgas gaat met warmtekrachtkoppelingen en ketels bij glastuinbouwbedrijven en CV-ketels in woningen. Er staat circa 63 MW aan opgesteld vermogen aan WKK en ketels gekoppeld aan het warmtenet van Lingezegen Energy binnen NEXTgarden.

2. Biogas

Binnen NEXTgarden is in 2018 de biogasinstallatie van Groen Gas Gelderland gerealiseerd. Hier wordt vanuit mest en andere biomassa per jaar circa 9 miljoen m³ groen gas geproduceerd. Dit groene gas wordt aan het (aard)gasnet toegevoegd. Vanuit dit lokale groene gas is warmte te produceren. Bij een 'lokaal' warmtenet in Lingewaard zou dit een deel van het aardgasverbruik kunnen vervangen.

3. Biomassa

Op NEXTgarden wordt in 2020 een houtgestookte WKK gerealiseerd met een vermogen van 14,7 MW. Deze zal vanuit snoeihout binnen de (minimale) exploitatieperiode van 12 jaar per jaar circa 370 TJ aan warmte produceren. De warmte wordt gebruikt door de tuinders aangesloten bij Lingezegen Energy. Hierdoor wordt het aardgasverbruik door de aangesloten tuinders sterk verminderd. Het aardgasverbruik gaat van 20-25 miljoen m³ naar 3-5 miljoen m³. Hiermee daalt het totale aardgasverbruik in het gebied van circa 40 miljoen m³ naar circa 18-25 miljoen m³. De inzet van de houtgestookte WKK wordt als transitietechniek gezien.

4. Zon-thermie

Zon-thermie kan de vorm hebben van een zonnecollector op het dak en een zonneboiler in huis bij een individuele woning om warm water te produceren. Het kan ook in de vorm van een groot zonnepark (met zonnecollectoren), gekoppeld aan een warmtenet (voor de verwarming van aangesloten woningen en tuindersbedrijven).

In Denemarken wordt dit veel toegepast, in Nederland bestaat dit in de vorm van een zonne-eiland in Almere en bij een glastuinbouwbedrijf in Heerhugowaard. In Lingewaard worden de mogelijkheden voor een groot zon-thermie park binnen de aangewezen zoekzone zonne-energie onderzocht. Het gaat om een gebied van 7-20 hectare tussen de Heuvelsestraat en de Karstraat (Bemmel, zie bijlage 1). Hiervoor is inmiddels een businesscase³ opgesteld, waaruit blijkt dat er tegen concurrerende prijzen tussen de 45 (7 ha zonder seizoensopslag) en 200 (20 ha met seizoensopslag) TJ aan warmte kan worden opgewekt.

Bij zon-thermie is er al snel een mismatch tussen vraag en aanbod. Zon-thermie levert vooral in de zomermaanden grote hoeveelheden warmte, terwijl de warmtevraag vooral in de winter groot is. Daarom wordt een combinatie met seizoensopslag van warmte onderzocht (zie onder het kopje

³ De businesscase is vertrouwelijk, vanwege de hierin opgenomen gedetailleerde financiële en bedrijfsgevoelige informatie.

Hoge Temperatuur Opslag). Zonder combinatie met seizoensopslag zou een wat kleiner zon-thermie park een bijdrage kunnen leveren aan de warmtevraag in de zomermaanden. Er is een opzet gemaakt voor een wijkgebonden zon-thermie park van ruim 4 hectare die ongeveer een kwart (vooral de zomervraag) van de warmtebehoefte in de Zilverkamp in kan vullen (zie bijlage 1). Het gaat om circa 25-30 TJ per jaar.

5. Aqua-thermie

Door IF Technology is een omgevingsscan TEO (Thermische Energie uit Oppervlaktewater) uitgevoerd (3 juli 2019, bijlage 2). Uit de Waal, het Pannerdens kanaal, de Neder-Rijn, de Linge en andere oppervlaktewateren binnen Lingewaard is een grote hoeveelheid warmte (en koude) te winnen. Deze kan, in combinatie met warmte-koude opslag (WKO) en een (elektrische) warmtepomp, een grote hoeveelheid bruikbare warmte opleveren. Om van theoretisch potentieel (van vele duizenden TJ's) naar benutbare warmte te komen wordt in overleg met Rijkswaterstaat en Waterschap Rivierenland ingezoomd op een aantal locaties (het Zwanewater, Huissen en de Linge). Vanuit het Zwanewater bestaat er een inlaat die het watersysteem binnen de wijk Zilverkamp voedt. Er wordt een businesscase opgesteld die inzicht geeft welke hoeveelheid warmte tegen welke tarieven hieruit beschikbaar kan komen. Deze is naar verwachting voorjaar 2020 gereed.

6. Rio-thermie

Uit riolering is warmte te winnen, door middel van Thermische Energie uit Afvalwater (TEA). Net als bij TEO kan de warmte in combinatie met warmte-koude opslag (WKO) en een (elektrische) warmtepomp worden ingezet. De meeste kans bieden grotere persleidingen naar Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI), omdat daar veel (riool)water door heen gaat. In en om het plangebied blijken de mogelijkheden beperkt, uit een studie van Syntraal blijkt dat het slechts om enkele tientallen woningen gaat (zie bijlage 3).

7. Geothermie

Uit een studie van Vito (2012) bleek geen potentie in de ondergrond voor 'reguliere' geothermie. In de studie is echter geen aandacht geweest voor ondiepere geothermie (500-1500 meter diep). Op een dergelijke diepte kan een temperatuur van 30 tot 40° verwacht worden. Ook zijn er in potentie kansen voor ultra diepe geothermie. In het kader van de Green Deal ultra diepe geothermie (UDG) wordt hiertoe in de regio onderzoek uitgevoerd (SCAN, Parenco). Dit zal mogelijk in de regio tot een of enkele proefboringen leiden die meer duidelijkheid geven over de mogelijkheden van aardwarmte.

8. Restwarmte

Binnen Lingewaard zijn de glastuinbouw en de drie steenfabrieken (keramische industrie) grote warmteverbruikers en daarmee in potentie leveranciers van restwarmte. Eventuele mogelijkheden vanuit de glastuinbouw worden in het haalbaarheidsonderzoek naar de uitrol van het warmtenet dat Firan, Lingezege Energy en gemeente Lingewaard gezamenlijk uitvoeren onderzocht. De mogelijkheden vanuit de keramische industrie zijn nog onvoldoende in beeld gebracht. Hier is echter naast mogelijke technische aspecten de afstand tot afnemers een complicerende factor. De steenfabrieken liggen immers in de uiterwaarden, op ruime afstand van andere bebouwing. Wel wordt al in de regio de warmte vanuit de vuilverbrandingsinstallaties in Duiven (AVR) en Weurt (ARN) benut.

9. Elektriciteit

Vanuit elektriciteit is warmte te produceren. Dit kan bijvoorbeeld door een warmtepomp in een woning of door een grote hoge of lage temperatuur warmtepomp gekoppeld aan een warmtenet. Kanttekening bij de inzet van elektriciteit om warmte op te wekken is dat de transitie naar duurzame elektriciteit (windturbines, zonneparken) ook zonder aanvullende vraag al een enorme opgave is. Een

interessante optie is om de grootschalige opwek van duurzame elektriciteit te combineren met seizoensopslag van warmte (zie onder het kopje Hoge Temperatuur Opslag). Dan zou op momenten dat er een overschot aan elektriciteit is deze kunnen worden omgezet naar warmte ('power-to-heat'). Binnen NEXTgarden wordt onderzoek gedaan naar de oprichting van 2-3 windturbines die hier mogelijk voor zouden kunnen worden ingezet. Denkbaar is voorts dat deze windturbines warmtepompen aandrijven die laagwaardige warmte (retourleidingen en lage temperatuurbronnen zoals aqua-thermie) omzetten naar warmte die in het warmtenet toepasbaar is.

CONCEPT

4 Opslag

1. Hoge Temperatuur Opslag

TNO (6 maart 2019, bijlage 4) heeft onderzoek gedaan naar de mogelijkheden voor grootschalige seizoensopslag van warmte in de vorm van hoge temperatuur opslag (HTO) in NEXTgarden. De ondergrond blijkt in potentie geschikt hiervoor. Aandachtspunten zijn het temperatuurregime en een eventuele vermenging van zoet en zout grondwater in relatie tot de regelgeving hierover. Een proefboring moet hier meer duidelijkheid over verschaffen. Deze wordt voorbereid en zal naar verwachting in het voorjaar van 2020 worden uitgevoerd. De resultaten hiervan worden in het derde kwartaal van 2020 verwacht. Een grootschalige seizoensopslag is een cruciaal onderdeel in het kunnen ontwikkelen en balanceren van verschillende duurzame warmtebronnen.

2. Warmte Koude Opslag

Bij Warmte Koude Opslag (WKO) wordt warmte en koude in de bodem opgeslagen. Warmte uit de zomer wordt in de winter gebruikt, koude uit de winter in de zomer. Een warmtepomp maakt vanuit de opgeslagen warmte en koude, voor aangesloten gebouwen bruikbare temperaturen. Dit is een veel toegepaste en bewezen techniek, die ook in Lingewaard op verschillende plekken wordt ingezet. Gekoppeld aan de mogelijke bronnen is een combinatie met aqua-thermie voor de hand liggend.

5 Van opties tot bronnenstrategie voor warmtenet

Overzicht

De totale (potentiële) warmtevraag in het gebied waarvoor onderzoek wordt gedaan naar de uitrol van het warmtenet is circa 915-965 TJ per jaar. Hiervan is circa de helft (450 TJ) afkomstig van de 14 tuinders die al op het bestaande warmtenet zijn aangesloten. Deze stappen in 2020 grotendeels over van aardgas naar een houtgestookte WKK. Hiermee wordt hun jaarlijkse aardgasverbruik van circa 20-25 miljoen m³ teruggebracht tot nog enkele miljoenen m³'s. Dit is op de schaal van Lingewaard (totaal verbruik circa 78 miljoen m³) een forse stap. Het jaarverbruik van de aangesloten glastuinbouwbedrijven is groter dan de capaciteit van de houtgestookte WKK. Vooral in de winter zal daarom bijstook met aardgas nodig zijn. In de zomer is de capaciteit groter dan de vraag. De houtgestookte WKK zal in ieder geval voor de periode 2020-2032 warmte leveren. Er wordt van uit gegaan dat er voor de periode na 2032 een duurzaam alternatief voor de houtgestookte WKK nodig zal zijn.

Bij een uitrol van het warmtenet naar andere (glastuinbouw)bedrijven en woningen ontstaat een aanvullende warmtebehoefte. Het gaat naar schatting om 465-515 TJ per jaar. Bij een verdere uitrol van het warmtenet naar andere wijken zal de vraag op termijn toenemen. Door een verdergaande isolatie zal de vraag per woning afnemen.

Het opgestelde vermogen van de WKK en ketels die op het huidige warmtenet van de tuinders van Lingezege Energy zijn aangesloten is voldoende om in een aanzienlijk deel van de aanvullende behoefte te voorzien. Door van individuele ketels (in woningen) naar een (collectieve) WKK over te stappen kan een CO₂ reductie worden behaald, doordat een WKK efficiënter is dan een individuele ketel en door het kunnen balanceren van de warmtevraag⁴. Het is echter ongewenst om op basis van aardgas te blijven verwarmen.

Een mogelijkheid om aardgas te vervangen kan het gebruik van het door Groen Gas Gelderland opgewekte biogas zijn. Het grootste deel van het geleverde biogas is echter al langjarig door andere partijen gecontracteerd en niet meer af te nemen. Zowel aardgas als biogas zijn bronnen waarmee hoge temperaturen (>1000 graden Celsius) kunnen worden bereikt. In de totale lokale en nationale energiemix is het voor de hand liggend om dergelijke bronnen in te zetten voor hoge temperatuur vragers, zoals de (keramische) industrie en verkeer en vervoer. Het invullen van de warmtebehoefte voor verwarming van woningen en glastuinbouw kan met veel lagere temperaturen (<100 graden Celsius). Hiervoor zijn andere duurzame technieken geschikt(er). Het is wel denkbaar dat er voor een deel van de behoefte (tijdelijk) biogas zou kunnen worden ingezet. Zo kan met lokaal duurzaam biogas warmte worden geproduceerd in de periode totdat er andere duurzame bronnen beschikbaar komen.

Bij (vergunning)technisch en economisch passende uitkomsten van de proefboring die in het voorjaar van 2020 wordt uitgevoerd zou een hoge temperatuur opslag (HTO) kunnen worden ontwikkeld. Hiermee komt grootschalige zon-thermie in beeld als duurzame warmtebron. Vanuit zon-thermie kan 25-225 TJ aan duurzame warmte worden geproduceerd.

In het nader onderzoek naar aqua-thermie wordt bekeken of er tot een dekkende businesscase kan worden gekomen voor warmtelevering aan de Zilverkamp. Hiermee zou dit een volgende, aanvullende duurzame bron kunnen worden.

⁴ Hier staat het warmteverlies in een warmtenetwerk tegenover.

Geothermie is mogelijk op de wat langere termijn (5-10 jaar) een duurzame warmtebron in de regio. Een optie is om vanuit duurzame elektriciteit warmte te produceren op momenten dat er een overaanbod aan elektriciteit is. Hiervoor is een combinatie van windenergie met een HTO interessant.

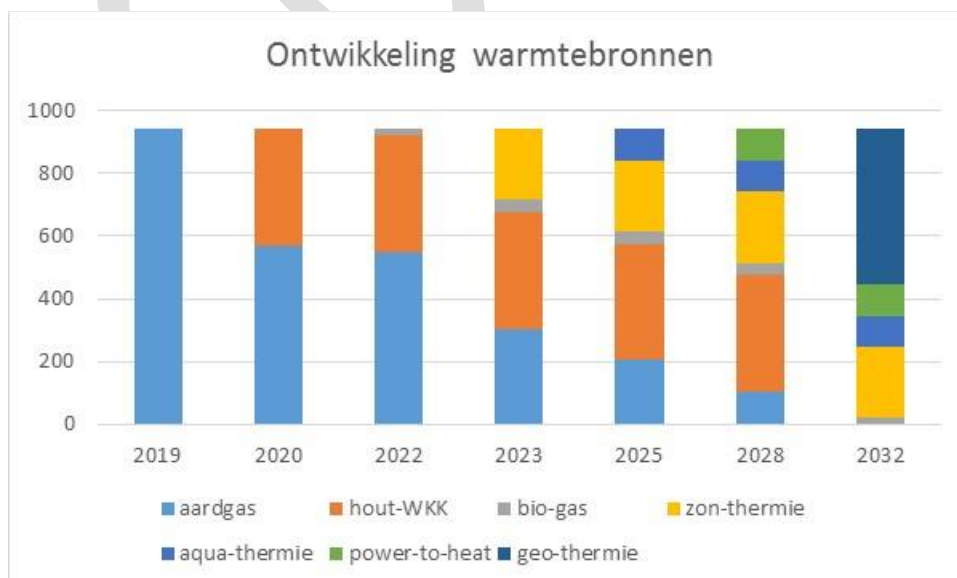
De inzet van restwarmte ligt niet direct voor de hand. De warmte vanuit de vuilverbrandingsinstallaties in Duiven (AVR) en Weurt (ARN) wordt elders in de regio benut, het beschikbaar krijgen van restwarmte vanuit de keramische industrie in de omgeving kent nog veel onzekerheden.

Conclusie

Zonder vraag en een warmtenetwerk komen bronnen niet tot stand. Zonder warmtebronnen kan een warmtenetwerk niet functioneren en kan de vraag niet worden ingevuld. De uitkomst uit dit kipei vraagstuk is om gelijktijdig warmtebronnen, een warmtenetwerk (inclusief opslag) en de vraag naar warmte te ontwikkelen. Het is niet realistisch om te veronderstellen dat de volledige potentiële vraag van 465-515 TJ per jaar zich gelijktijdig voor zal doen. Dit vereist immers vele individuele beslissingen van ondernemers en eigenaren om hun bedrijven en woningen van een individuele aardgasgestookte warmtevoorziening over te laten stappen op een collectieve warmtevoorziening. Een 'meegroei' scenario is dus goed denkbaar, waarbij naarmate er meer bedrijven en woningen worden aangesloten op een warmtenet ook meer duurzame warmtebronnen beschikbaar komen.

In de meeste gevallen wordt de ontwikkeling van een duurzame warmtebron pas haalbaar als de volledige warmteproductie voor de volledige exploitatietermijn (of in ieder geval een flink deel hiervan) is gegarandeerd. Er dient dus een minimale omvang van de vraag te zijn. Een meegroei-scenario gaat dus niet geleidelijk, maar schoksgewijs. Telkens als er voldoende vraag is bijgekomen kan er een aanvullende duurzame bron worden ontwikkeld. Een uitzondering hierop vormt biogas. Dit kan immers zowel voor lokale warmteproductie als voor levering aan het aardgasnet worden ingezet. Het is daarmee relatief eenvoudig op en af te schalen.

Een combinatie van verschillende, steeds verder verduurzaamde warmtebronnen geeft de meest robuuste energiemix voor een warmtenet. Onderstaande figuur geeft een mogelijk ontwikkelingsscenario. Bij een energiemix kan afnemers een keuze worden geboden, tussen bijvoorbeeld zonne-warmte, water-warmte of bio-warmte. Als piek en back-up voorziening zal aard- of biogas naar verwachting nog langere tijd een rol spelen.



Een eerste stap voor de uitrol van het warmtenet kan zijn om voor de eerste 500 woningen in de Zilverkamp die worden aangesloten de warmte met behulp van lokaal biogas op te wekken. Bij een verdere uitrol van het warmtenet binnen de wijk kunnen hier zon- en aqua-thermie en op termijn ook andere bronnen bijkomen. Dit geeft ook ruimte om het warmtenet steeds verder uit te rollen. Zo kan een lokaal en duurzaam warmtenet in Lingewaard vorm krijgen.

CONCEPT

6 Bijlagen

1. Kaart warmtenet en duurzame energie
2. IF Technology (3 juli 2019). Omgevingsscan TEO Lingewaard.
3. Syntraal (12 december 2019). Gemeente Lingewaard, Haalbaarheid riothermie.
4. TNO (6 maart 2019). Haalbaarheidsstudie ondergrondse hoge temperatuur opslag (HTO) voor tuinbouwgebied NEXTgarden.

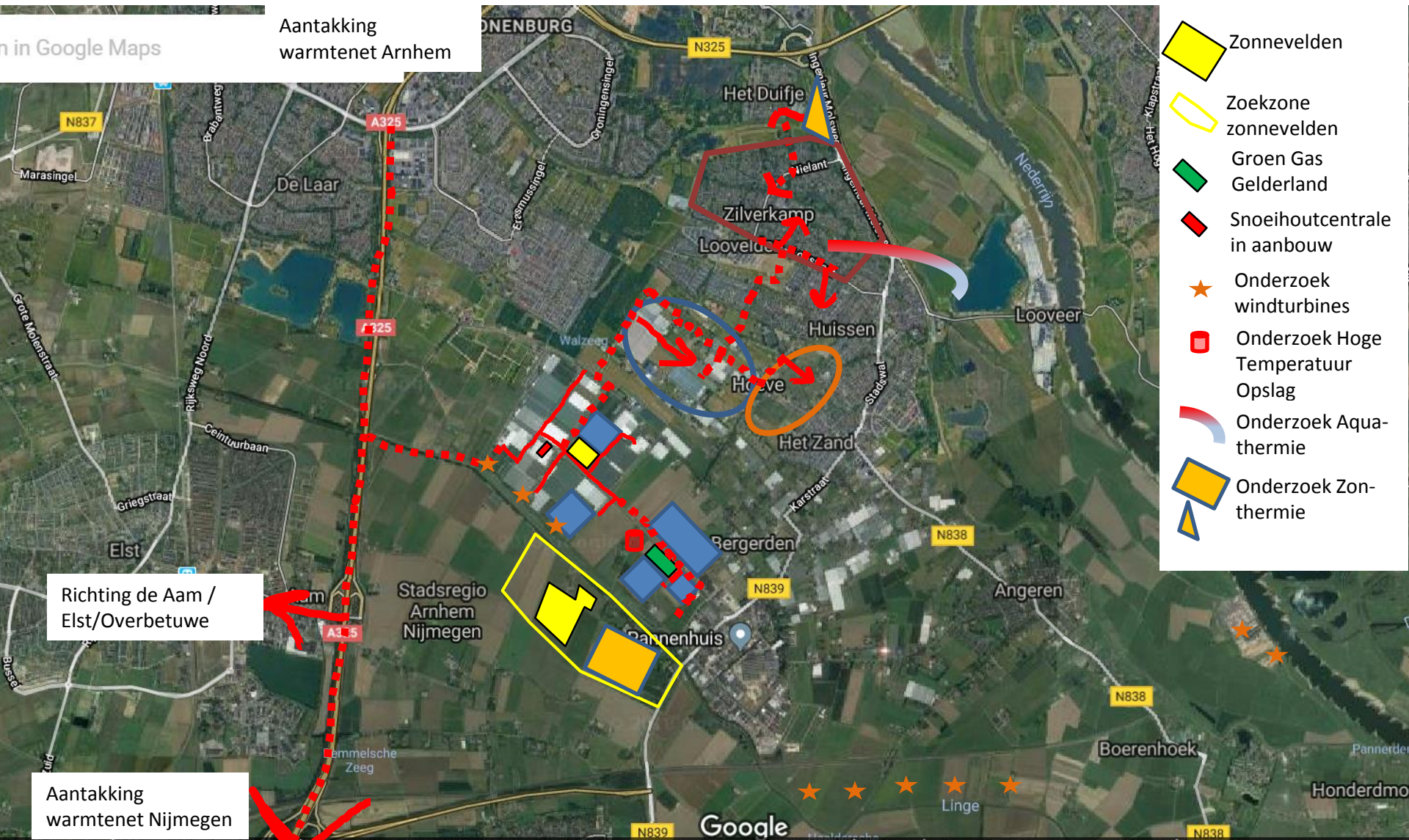
CONCEPT

Gemeente Lingewaard
Kinkelenburglaan 6
6681 BJ Bommel
(026) 326 01 11

Naam opsteller
Team
Datum en versie

Paul Hospers
Ruimtelijk Beleid

Datum vaststelling
Vastgesteld door
Publicatiedatum
Zaaknummer



Richting de Aam / Elst/Overbetuwe

Aantakking warmtenet Nijmegen

Uit te geven kavels Bergerden

Uitrol warmtenet

Bestaand warmtenet Lingezege Energy

Glastuinbouwconcentratie gebied Rietkamp

Zilverkamp Wijk vd Toekomst

Woningbouwlocatie Driegaarden

Zonnevelden

Zoekzone zonnevelden

Groen Gas Gelderland

Snoeihoutcentrale in aanbouw

Onderzoek windturbines

Onderzoek Hoge Temperatuur Opslag

Onderzoek Aquathermie

Onderzoek Zonthermie

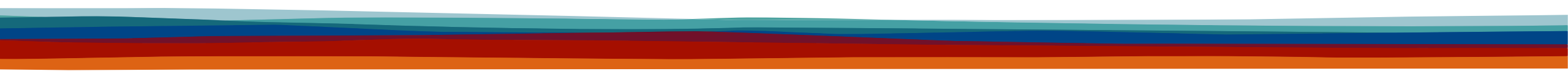
Omgevingscan TEO Lingewaard

Datum 3 juli 2019
Referentie 68432/FN/20190703





IF Technology **Creating energy**



Colofon

Opdrachtgever:

Gemeente Lingewaard

Postbus 15

6680 AA Bommel

Contactpersoon: Mathijs Heitkamp

Adviseur:

IF Technology bv

Postbus 605

6800 AP Arnhem

M 06 - 11752237 E f.niewold@iftechnology.nl

Contactpersoon: Frank Niewold

Auteur:

Arne Wijnia

Gecontroleerd door:

Frank Niewold

Inleiding

Inleiding

Aanleiding

Gemeente Lingewaard laat een warmtetransitievisie opstellen. Hierin worden de verduurzamingsopties voor de wijken/dorpen en andere energiegebruikers zoals NEXTgarden in beeld gebracht. Aanvullend op deze warmtevisie zal een studie naar aquathermie plaatsvinden. Dit als een verdiepingsslag in relatie tot beschikbare warmtebronnen en als eerste stap in het aardgasvrij maken van wijken.

Binnen de gemeente bevinden zich meerdere potentiële aquathermiebronnen zoals de Linge, de Waal en het Pannerdenschkanaal / de Nederrijn. Dit onderzoek richt zich op het in beeld brengen van het potentieel van deze oppervlaktewaterbronnen.

Wij werken van grof naar fijn, waarbij een omgevingsscan zoals beschreven in dit document en een werksessie een eerste beeld geven van de potentiële locaties binnen Lingewaard. In vervolgstappen zullen de kansrijkheid van twee locaties op basis van de omgevingsscan worden beoordeeld. Daarna wordt in overleg met de gemeente en eventueel andere belanghebbenden bepaald welke locatie als pilot wordt aangewezen. Voor de pilot volgt een verdere uitwerking van de business case en worden de belanghebbenden betrokken om toe te werken naar een samenwerking waarbinnen we het project richting realisatie gaan brengen.

Inleiding

Onderzoeksvragen

- Wat is het potentieel aan oppervlaktewater binnen de gemeente Lingewaard?
- Welke locaties hebben potentieel (opstellen longlist)?

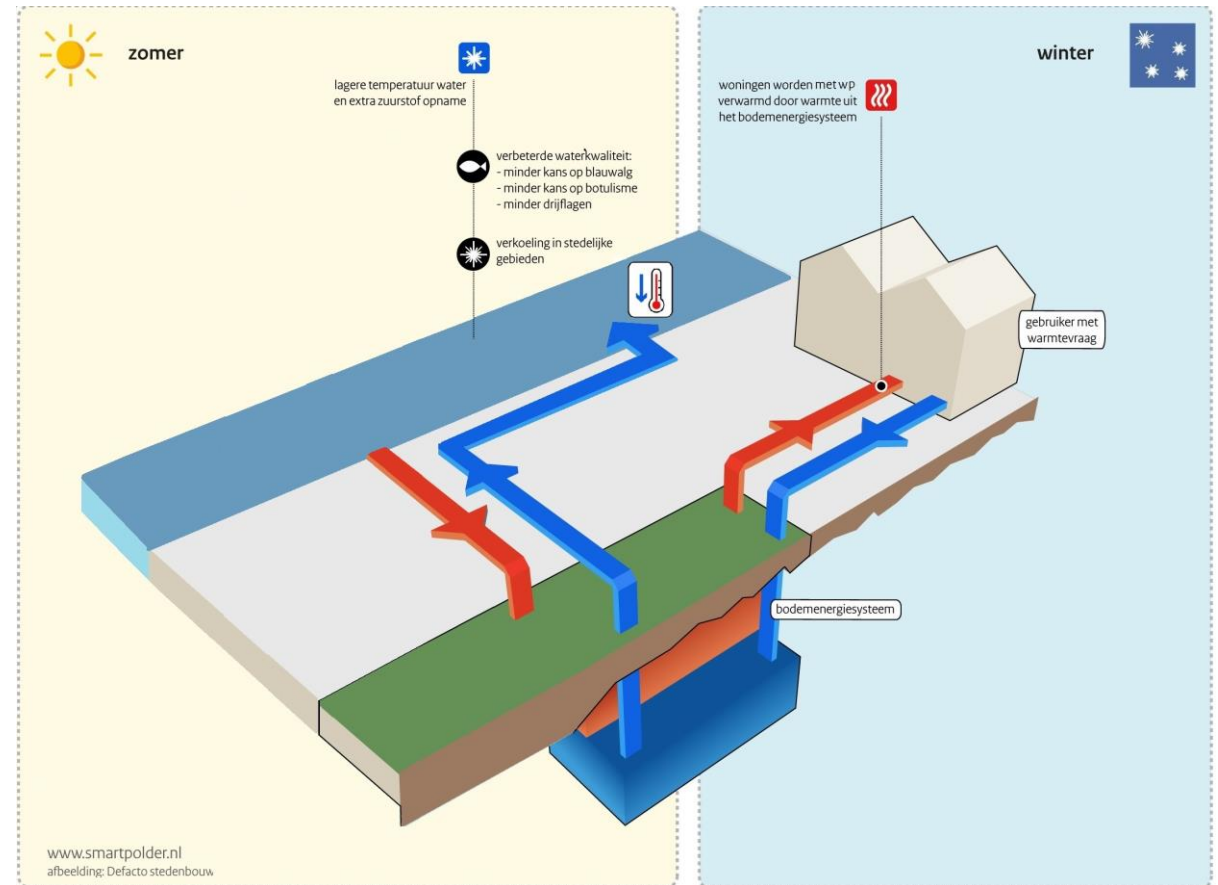
Achtergrond TEO

TEO: hoe werkt het eigenlijk?

Thermische energie uit oppervlaktewater

Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) is warmte- en/of koude-energie die uit het oppervlaktewater kan worden onttrokken. Deze warmte en koude is in combinatie met een bodemenergiesysteem (WKO) bij uitstek geschikt om gebouwen te verwarmen en koelen.

TEO kan in verschillende configuraties worden uitgevoerd. Figuur 1 geeft zeer globaal een voorbeeld van een TEO-systeem waar warmte in de zomer uit het water wordt opgeslagen in het bodemenergiesysteem. In de winter wordt deze warmte uit de bodem nuttig gebruikt.

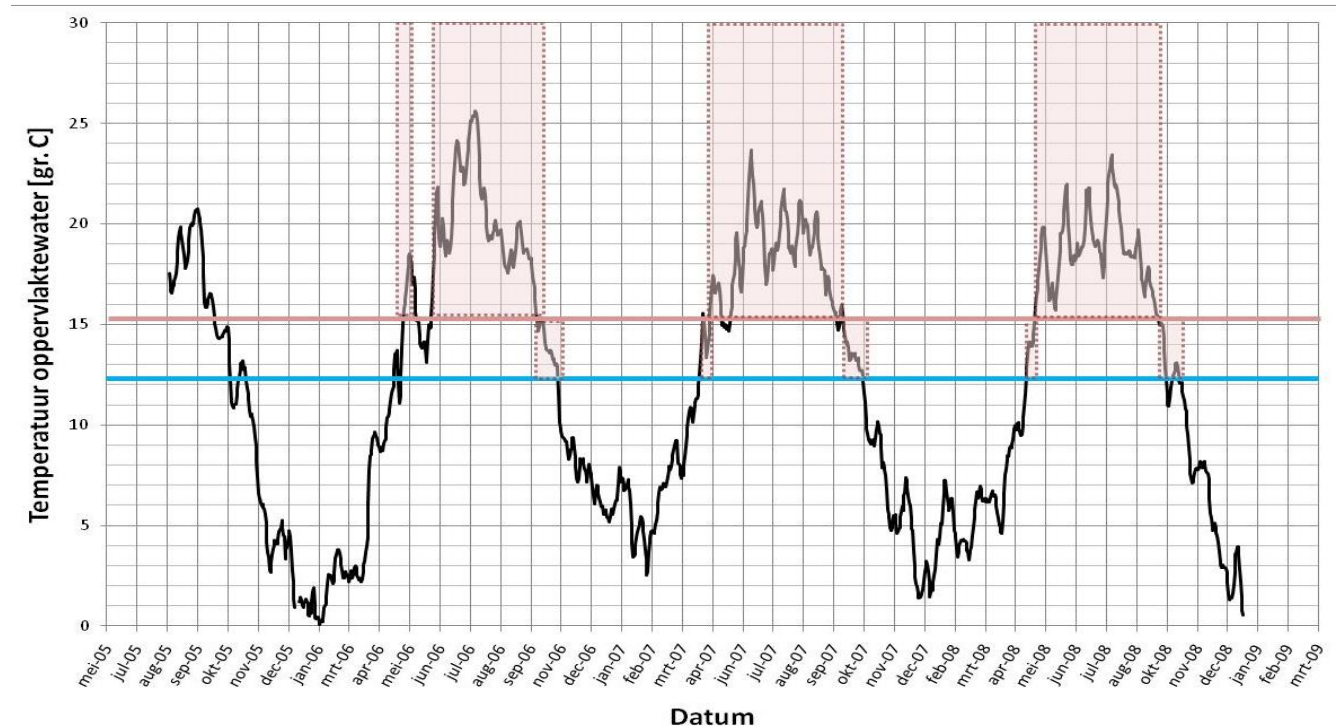


Figuur 1 | Principeschema warmte uit oppervlaktewater. Warmte wordt in de zomer opgeslagen in het bodemenergiesysteem, om in de winter nuttig te gebruiken.

TEO en temperatuur oppervlaktewater

Techniek

Als de temperatuur van het oppervlaktewater boven de 12 °C komt is het water warm genoeg om een warmtepomp mee aan te drijven met een hoog rendement. Als de watertemperatuur boven de 15 °C komt kan deze warmte worden opgeslagen in een bodemenergiesysteem (WKO) om in de winter als warmtebron te dienen. Het oppervlaktewater is in Nederland gemiddeld 2.000 - 3.000 uur warmer dan 15 °C (zie Figuur 2). Dit is de periode waarin de warmte effectief kan worden opgeslagen vanuit het oppervlaktewater in een WKO.

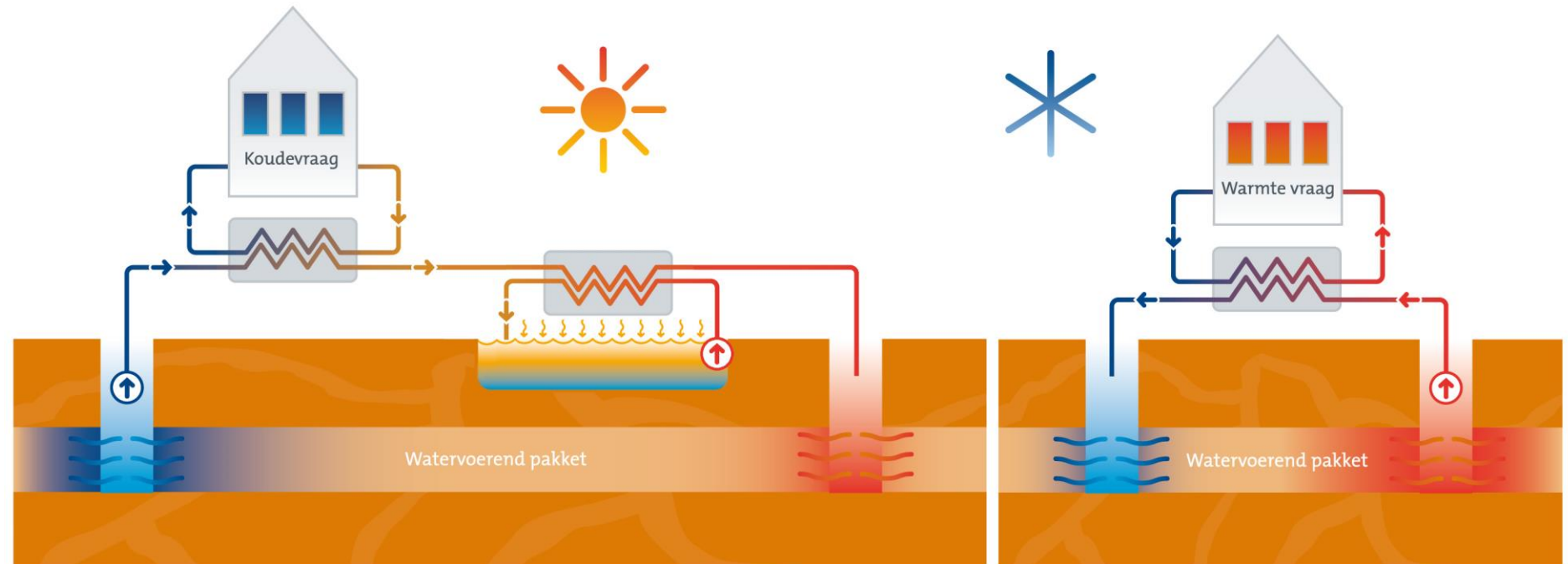


Figuur 2 | Voorbeeld van temperatuurprofiel oppervlaktewater.

TEO: hoe werkt het eigenlijk?

Thermische energie uit oppervlaktewater

Hoe werkt dat?



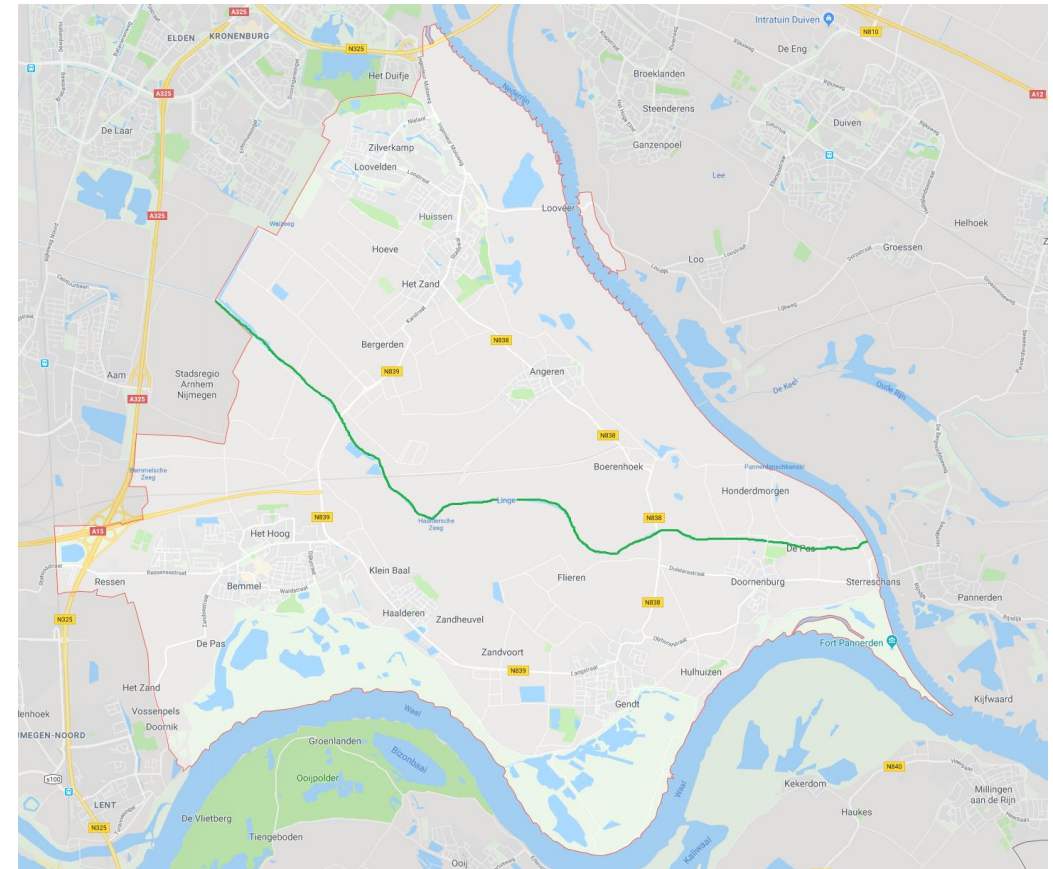
Inventarisatie TEO

Inventarisatie TEO

Gebiedskenmerken

De grenzen van de gemeente Lingewaard worden voor een belangrijk deel bepaald door water: in het zuiden de Waal en in het oosten en noorden het Pannerdenschkanaal / de Nederrijn. Daarnaast ontspringt de Linge in deze gemeente, weergegeven in Figuur 3 met een groene lijn.

Er zijn ook meerdere kleinere waterreservoirs zoals sloten, plassen en meertjes binnen de gemeentegrenzen. Daar waar deze een grootte hebben van minstens 3 ha zijn deze ook meegenomen.



Figuur 3 | De gemeente Lingewaard met aan de zuidgrens de Waal, de noordoostgrens het Pannerdenschkanaal / de Nederrijn en in het groen de Linge.

Inventarisatie TEO

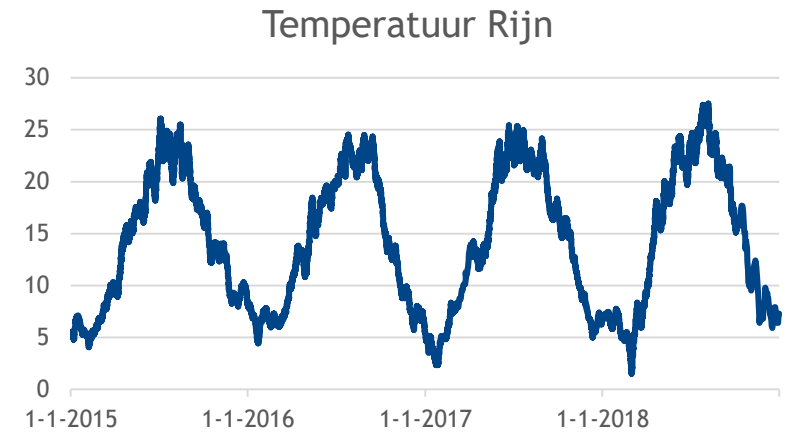
Temperatuur rivieren

De temperatuur van het water is een belangrijke factor bij de berekening van het potentieel. In Figuur 4 is het temperatuurprofiel van de Rijn bij Lobith weergegeven voor vier jaren vanaf 2015, dit profiel zal representatief zijn voor de grote rivieren in de Lingewaard.

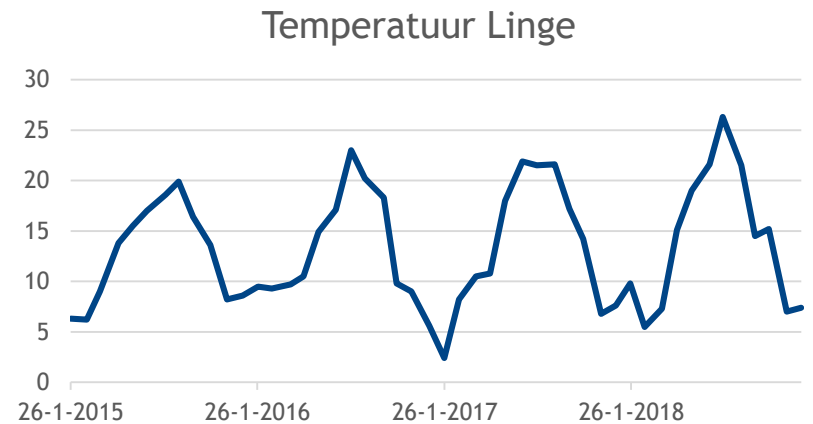
Als we ervan uitgaan dat we warmte benutten bij een watertemperatuur van meer dan 15 graden Celsius dan zijn er in de afgelopen 4 jaar zelfs ongeveer 3.800 uur per jaar dat we warmte kunnen winnen.

Als we ervan uitgaan dat we koude benutten bij een watertemperatuur van minder dan 10 graden Celsius dan zijn er ongeveer 3.000 uur per jaar dat we koude kunnen winnen.

Deze waardes zijn ook representatief voor de Linge (Figuur 5).



Figuur 4 | Temperatuurprofiel van de Rijn bij Lobith



Figuur 5 | Temperatuurprofiel van de Linge

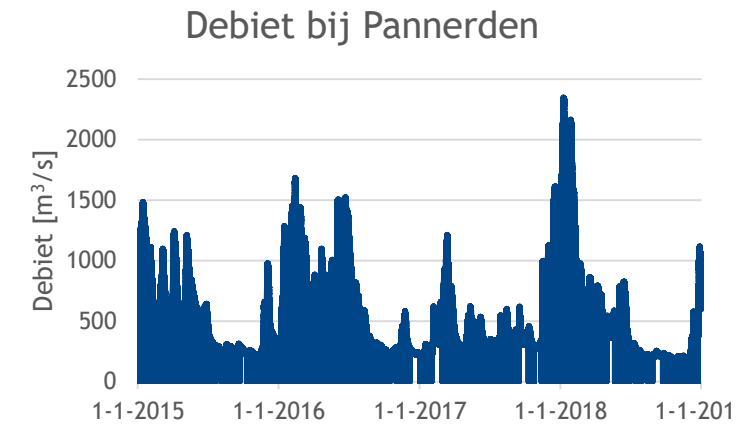
Inventarisatie TEO

Debiet Pannerdenschkanaal en Waal

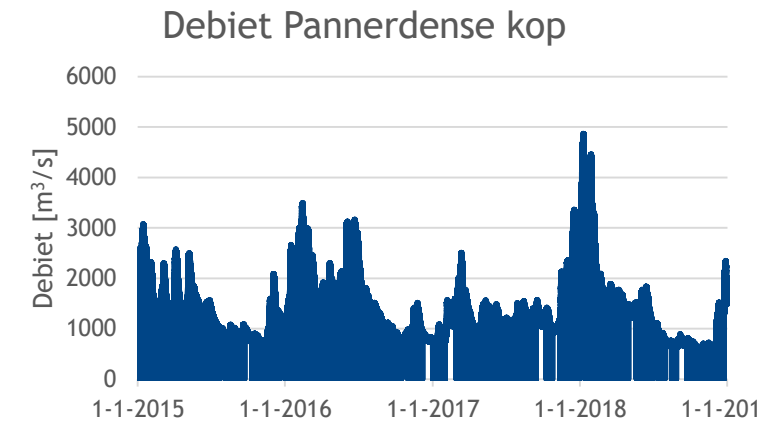
Het debiet van de rivieren is een belangrijke factor bij de berekening van het potentieel. In Figuur 6 is het debietprofiel van het Pannerdenschkanaal bij Pannerden weergegeven voor vier jaren vanaf 2015. In Figuur 7 eenzelfde profiel voor het debiet bij de Pannerdense kop, waar de Waal ontspringt.

Het gemiddelde debiet tijdens de dagen dat warmte gewonnen kan worden (temperatuur >15 graden Celsius) is respectievelijk 490 en 1341 m³/s voor het Pannerdenschkanaal en de Waal.

Het gemiddelde debiet tijdens de dagen dat koude gewonnen kan worden (temperatuur <10 graden Celsius) is respectievelijk 713 en 1703 m³/s voor het Pannerdenschkanaal en de Waal.



Figuur 6 | Debiet bij Pannerden (Pannerdenschkanaal)



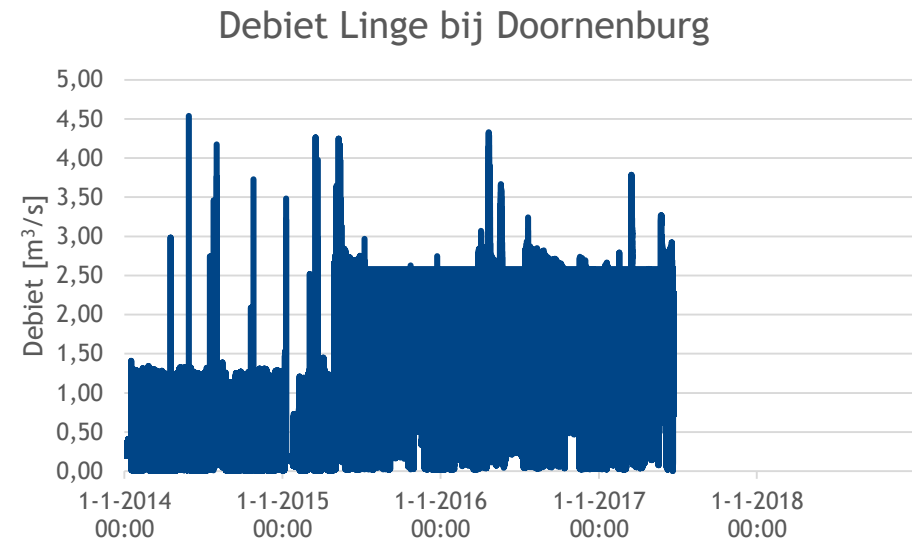
Figuur 7 | Debiet Pannerdense kop (Waal)

Inventarisatie TEO

Debiet Linge

In Figuur 8 is het debiet van de Linge weergegeven. In het stroomgebied van de Linge zijn er verschillende inlaten, stuwen en sluizen waarmee het debiet gecontroleerd kan worden.

Er is een gemiddelde van 1 m³/s aangenomen voor de Linge, voor zowel zomer als winter. Op sommige momenten zal het pieken, maar er zijn ook momenten dat er geen debiet is.



Figuur 8 | Debiet Linge

Inventarisatie TEO

Energiepotentieel rivieren

In Tabel 1 is een overzicht gegeven van het energiepotentieel van de rivieren.

De grote hoeveelheden tonen het theoretisch potentieel van TEO: een enorme warmtevraag kan in theorie worden afgevangen. In de praktijk zal het onhaalbaar zijn om de totale warmte op één punt uit een rivier te halen. Echter is het potentieel zo groot, dat dit niet nodig is.

Het potentieel aan koude in de rivieren is groter het potentieel aan warmte, omdat het afvoerdebiet in de winter groter is. Voor plassen en lokale watergangen geldt dit niet.

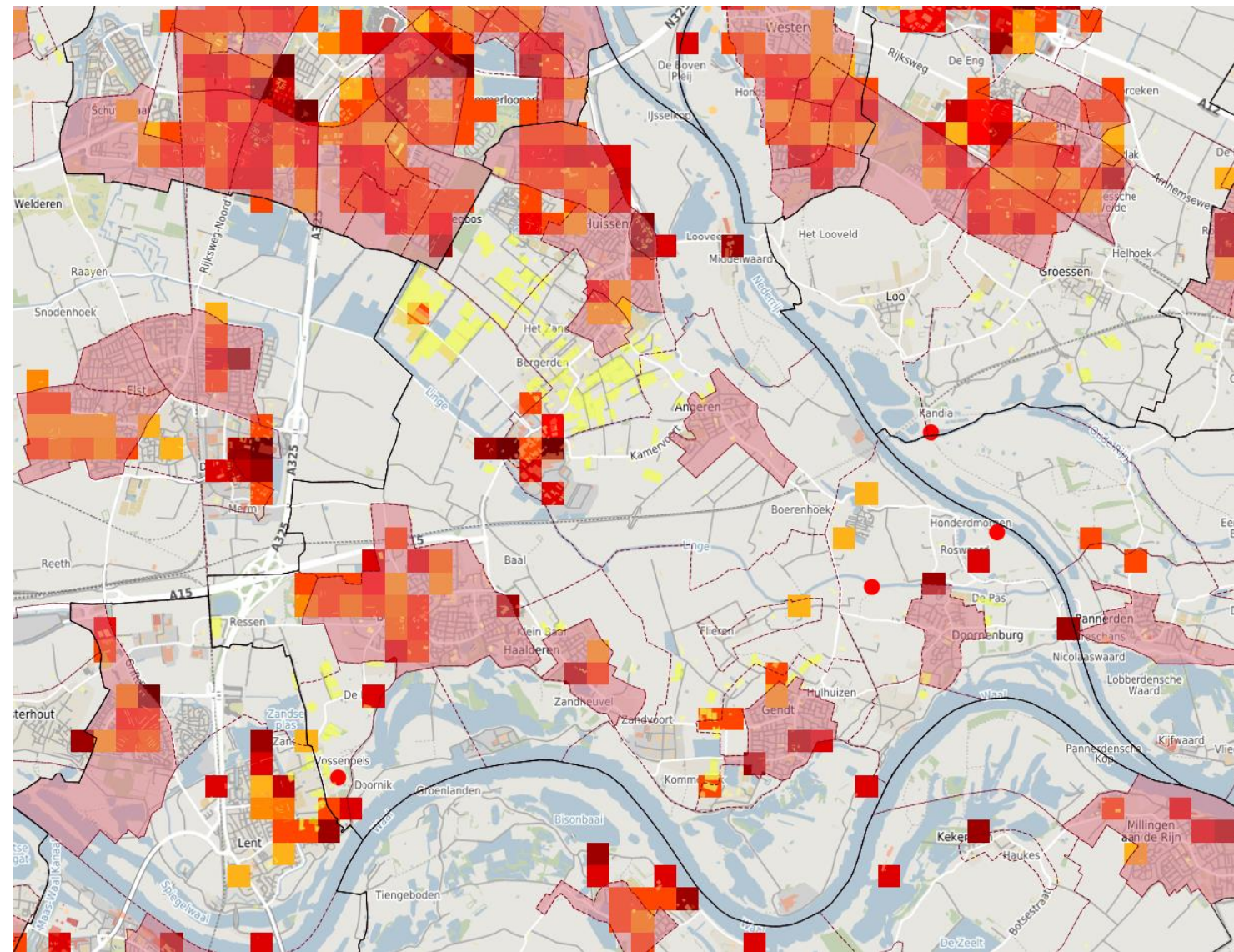
Tabel 1 | Energiepotentieel rivieren Lingewaard

Rivier	Warmte (GJ)	Koude (GJ)	Aantal woningequivalenten
Waal	121.000.000	154.000.000	3.000.000
Pannerdenschkanaal	44.000.000	64.000.000	1.100.000
Linge	90.000	90.000	2.250

Inventarisatie TEO

Potentieel

Het potentieel van de gehele gemeente is in Figuur 9 weergegeven. Dit figuur komt uit de warmteatlas en alhoewel niet elke inschatting correct is, geeft dit een goed eerste beeld. De grotere woonkernen Huissen, Bemmelen en Gendt lijken de meeste potentie te hebben.



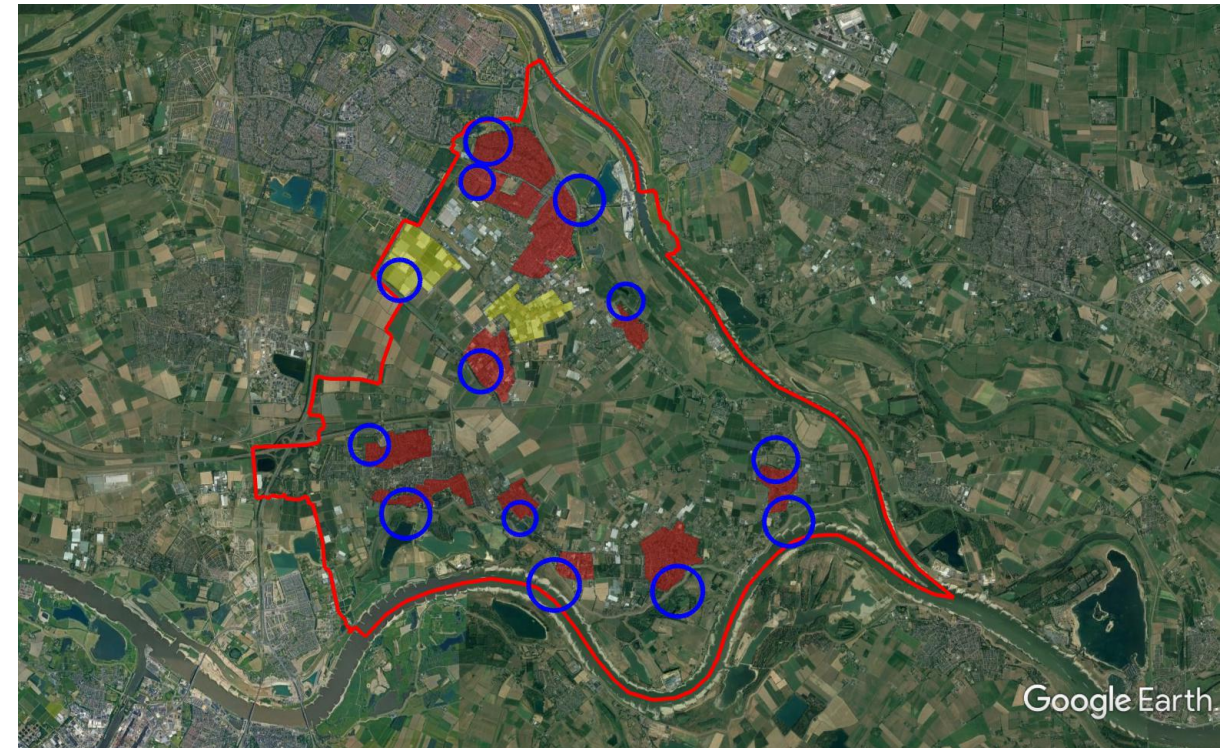
Figuur 9 | Woonkernen, tuinbouw en aquathermie potentie Lingewaard. De transparant rode en gele vlakken geven respectievelijk de locaties van woonkernen en tuinbouw aan. De rode cirkels zijn locaties van kunstwerken. De vierkanten geven de potentie van aquathermie aan volgens de inschatting van de Warmteatlas, gebaseerd op bouwdichtheid en aanwezigheid van oppervlaktewater.

Potentiële locaties TEO

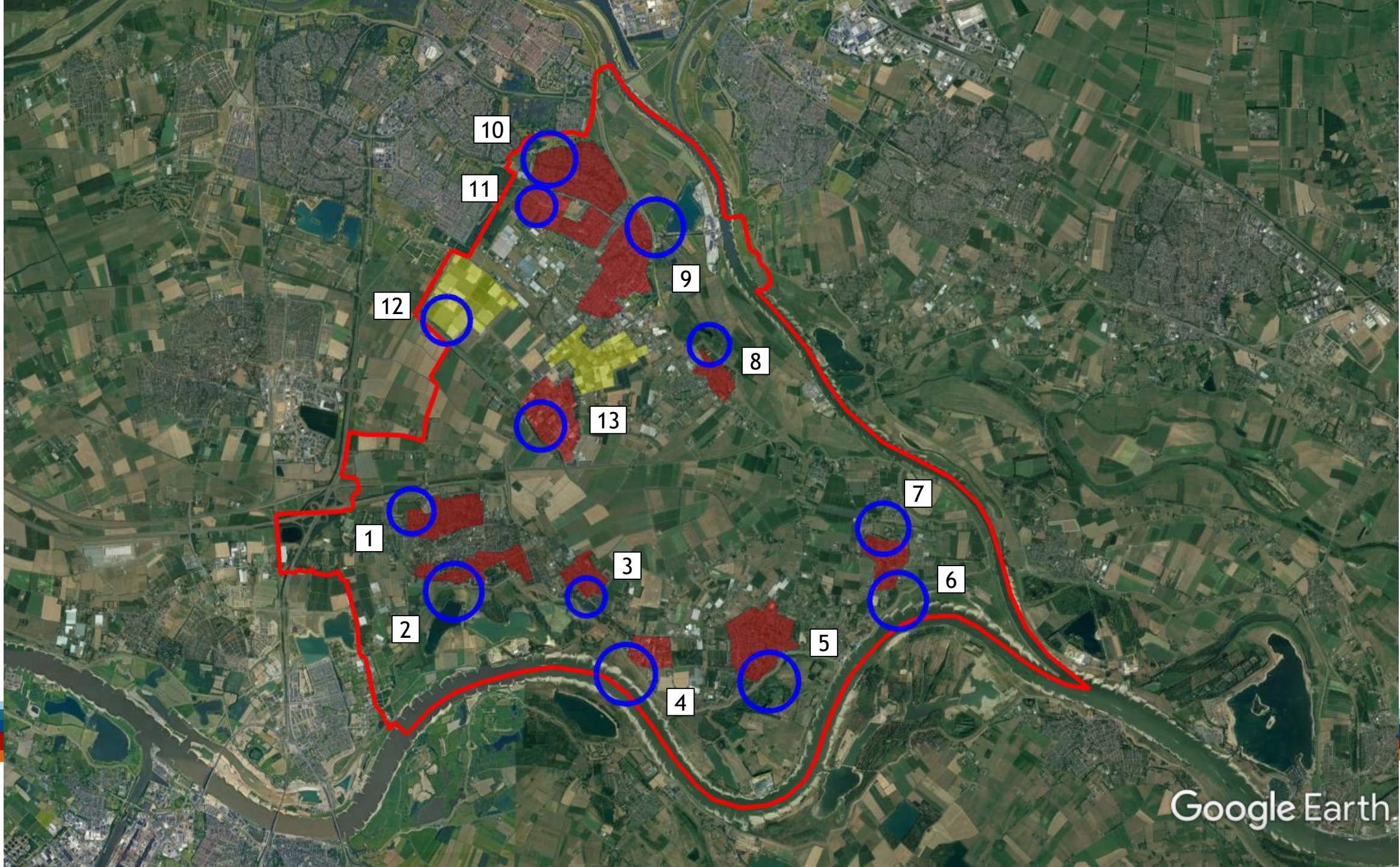
Potentiële locaties TEO

In Figuur 10 zijn de locaties zoals opgenomen in de longlist weergegeven. Deze locaties zijn gekozen op basis van de volgende haalbaarheidscriteria voor TEO:

- Beschikbaarheid van water;
- Minimale grootte van stilstaand oppervlaktewater 3 ha;
- De afstand van de afnemers (bebouwing) tot het water mag niet te groot zijn, maximum 500 meter;
- Dichtheid van de warmtevraag, kanskaart economisch potentieel geeft aan >25 woningen per hectare;



Figuur 10 | Potentiële locaties voor TEO. De blauwe cirkels geven een mogelijke locatie aan voor TEO, waarbij een cirkel zowel een afnemer (woonkern, bedrijventerrein of kassen) als een water omcirkelt.



Potentiële locaties TEO

Longlist tabel

nr.	gemeente	kansrijk	plaats	locatie	oppervlaktewater	waterschap	Energetisch potentieel [GJ/jaar]	Energetisch potentieel [woningeq./jaar]
1	Lingewaard	Zeer geschikt	Bemmel	Buurt Bemmel Hoog	Lokaal/Plas/Watergangen	Waterschap Rivierenland	10.800	270
2	Lingewaard	Geschikt	Bemmel	Buurt Bemmel	Lokaal/Plas	Waterschap Rivierenland	51.800	1.296
3	Lingewaard	Geschikt	Haalderen	Buurt Haalderen	Lokaal/Plas	Waterschap Rivierenland	12.100	302
4	Lingewaard	Geschikt	Bedrijventerrein Bemmel Gendt	Buurt verspreide huizen Flieren	Waal	Waterschap Rivierenland	121.000.000	3.025.000
5	Lingewaard	Geschikt	Gendt	Buurt Gendt	Lokaal/Plas	Waterschap Rivierenland	22.200	556
6	Lingewaard	Geschikt	Doornenburg	Buurt Doornenburg	Waal	Waterschap Rivierenland	121.000.000	3.025.000
7	Lingewaard	Zeer geschikt	Doornenburg	Buurt Doornenburg	Linge	Waterschap Rivierenland	90.000	2.250
8	Lingewaard	Geschikt	Angeren	Buurt Angeren	Lokaal/Plas	Waterschap Rivierenland	16.600	416
9	Lingewaard	Geschikt	Huissen	Buurt uitbreiding stad Huissen	Lokaal/Plas	Waterschap Rivierenland	103.700	2.592
10	Lingewaard	Zeer geschikt	Huissen	Buurt Zilverkamp	Lokaal/Watergangen	Waterschap Rivierenland	8.600	216
11	Lingewaard	Geschikt	Huissen	Buurt Verspreide huizen Hoeve en Loostraat	Lokaal/Watergangen	Waterschap Rivierenland	2.200	54
12	Lingewaard	Zeer geschikt	NEXTgarden	Buurt verspreide huizen Bemmel	Linge	Waterschap Rivierenland	90.000	2.250
13	Lingewaard	Zeer geschikt	Bedrijventerrein Agropark	Buurt verspreide huizen het Zand	Linge	Waterschap Rivierenland	90.000	2.250
LOCATIES GEEL: bedrijventerrein/kassen. Woningequivalenten zal niet een goede representatie zijn voor de werkelijke gebouwen.								

Conclusies en aanbevelingen

Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

- Uit de huidige omgevingscan blijkt dat **thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)** een groot theoretisch potentieel heeft in de gemeente Lingewaard.
- In de Waal, Pannerdenschkanaal en Linge zit een theoretisch warmtepotentieel om > 4 miljoen huishoudens te verwarmen.
- Rekening houdend met technische beperkingen is er een longlist van potentiële locaties opgesteld die verschillende bronnen van TEO aanspreken. Hier komen 13 potentiële locaties voor winning van warmte uit oppervlaktewater uit.
- Deze locaties liggen verspreid door de gemeente en bieden elk hun eigen kansen en uitdagingen. In het vervolg zullen deze kansen en uitdagingen moeten worden uitgezocht.

Conclusies en aanbevelingen

Aanbevelingen en plan van aanpak vervolg

- Op basis van de quickscan en de longlist is nog onduidelijk welke locaties het meest geschikt zijn. Het plan van aanpak voor het vervolg ziet er als volgt uit:
 - Workshop met gemeente Lingewaard, waterschap Rivierenland en Rijkswaterstaat;
 - Inventariseren afnemers en uitgangspunten van de gemeente, het Waterschap en Rijkswaterstaat;
 - Identificeren stakeholders;
 - Selectie meest kansrijke locaties (shortlist).
- Quickscan haalbaarheid van de twee meest kansrijke locaties (selectie in overleg met gemeente):
 - Bepalen investeringen en globale haalbaarheidstoets;
 - Opstellen plan van aanpak vervolgstappen.
- Werksessie (1 dagdeel) gemeente Lingewaard, Rivierenland en RWS.
 - Presentatie resultaten quickscan en Plan van Aanpak
 - Vaststellen vervolg van het project(en), gewenste projectpartners en rolverdeling
- Verkenning business case
 - Uitwerken energieconcept;
 - Financiële analyse;
 - Stakeholder analyse en verkenning route naar een intentieovereenkomst.

Plan van aanpak

Met deze quickscan is op basis van karakteristieken een omgevingsscan uitgevoerd om de kansrijkheid voor TEO in Lingewaard.

In de volgende fase kan er getoetst worden op technische en financiële haalbaarheid van enkele kansrijke locaties.

Opbouw van het proces thermische energie uit oppervlaktewater
Proces, stappen

	Fase 0. Omgevingsscan	Fase 1. Verkenning	Fase 2. Verdieping	Fase 3. Uitwerking
<i>Technisch</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Karakteristieken bepalen Schatting potentie 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken grof technisch ontwerp 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken voorlopig technisch ontwerp 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken definitief technisch ontwerp Aanbesteding voorbereiden
<i>Organisatorisch</i>	<ul style="list-style-type: none"> Identificeren stakeholders (potentiële partners en indirecte stakeholders) 	<ul style="list-style-type: none"> Stakeholderanalyse Benaderen partijen Vaststellen rollen 	<ul style="list-style-type: none"> Rolinvulling uitwerken Warmte/koudeleveringsvoorwaarden uitwerken 	<ul style="list-style-type: none"> Onderlinge afspraken vastleggen in overeenkomsten
<i>Financieel</i>	<ul style="list-style-type: none"> 'achterkant van sigarendoosje' berekening financiële haalbaarheid 	<ul style="list-style-type: none"> Scan financiële haalbaarheid 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerking businesscase Investeringsbereidheid partners vastleggen Risico's uitwerken 	<ul style="list-style-type: none"> Definitieve businesscase per partner Uitwerken financieringsconstructie
<i>Juridisch</i>		<ul style="list-style-type: none"> Scan juridische voorwaarden (vergunningen, overeenkomsten, ...) Opstellen intentieovk 	<ul style="list-style-type: none"> Juridisch kader opstellen Opstellen samenwerkingsovk 	<ul style="list-style-type: none"> Overeenkomsten opstellen Vergunningen aanvragen
Resultaat fase	<ul style="list-style-type: none"> Lijst te benaderen potentiële partners Inzicht in type project en grove potentie 	<ul style="list-style-type: none"> Gezamenlijk inzicht in belangen / wensen Inschatting technische, juridische, financiële haalbaarheid Inzicht in meekoppelkansen 	<ul style="list-style-type: none"> Voorlopig ontwerp Rolinvulling Leveringsvoorwaarden Businesscase Juridisch kader 	<ul style="list-style-type: none"> Definitief ontwerp Overeenkomsten tussen deelnemende partijen Financieringsvoorstel Vergunningen
Vastgelegd in...		Intentieovereenkomst	Samenwerkingsovereenkomst	Investeringsbesluit



IF Technology **Creating energy**

SYNTRAAAL



Gemeente Lingewaard, Haalbaarheid riothermie

12 december 2019

Verantwoording

Titel	Gemeente Lingewaard, Haalbaarheid riothermie
Opdrachtgever	Gemeente Lingewaard
Projectleider	Simon Bos
Auteur(s)	Anastasia Koezjakov, Lieke Noij
Projectnummer	1321035
Aantal pagina's	25
Datum	12 december 2019
Handtekening	'Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven'

Colofon

Syntraal
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
T +31 88 02 44 300
E info@syntraal.nl

Inhoud

1	Inleiding	4
2	Riothermie	5
2.1	Riothermie algemeen	5
2.2	Rioolwarmtewisselaar technieken	6
2.2.1	Rioolwarmtewisselaar vrijverval	6
2.2.2	Rioolwarmtewisselaar persleiding	8
2.2.3	Relining	9
2.3	Overzicht technieken	10
2.4	Temperatuur afvalwater	10
2.5	Herstelperiode temperatuur afvalwater	11
2.6	Warmte onttrekking influent	12
2.7	Warmteonttrekking effluent	13
2.8	Seizoensopslag – open systeem	13
2.9	Bodemlussen (gesloten systeem)	14
3	Aandachtspunten lage-temperatuur warmtebron	16
3.1	Eisen	16
3.2	IKC 't Holthuis en IKC Het Drieluik	16
3.3	Riothermie als bron voor een (bestaand) warmtenet	17
4	Warmteaanbod riothermie Huissen	18
4.1	Theoretische bepaling warmteaanbod	19
4.2	WKO omgeving Huissen	20
5	Warmtevraag woningbouw	23
5.1	Warmtevraag nieuwbouw en bestaande bouw	23
5.2	Warmteaanbod gemaal Zilverkamp versus warmtevraag	23
6	Van potentie tot business case	24

1 Inleiding

De gemeente Lingewaard heeft zichzelf de doelstelling gegeven om in 2045 energieneutraal te zijn. Dit betekent dat op korte termijn moet worden gezocht naar alternatieven voor het verwarmen van gebouwen en woningen. In het algemeen zijn warmtebronnen al aanwezig in de directe omgeving; denk bijvoorbeeld aan bodemwarmte, oppervlaktewater en warmte uit het riool- of drinkwater. De uitdaging is vooral om deze warmte efficiënt en economisch rendabel in te zetten als bruikbare warmte.

Een van de technieken waarbij warmte uit de directe omgeving kan worden ingezet voor gebouwverwarming is riothermie. Dertig procent van de energie die het huis binnenkomt, vertrekt weer via de gootsteen. Hierdoor is het riool behoorlijk op temperatuur. Met riothermie wordt deze warmte benut. De werking hiervan wordt verderop in het rapport uitgelegd. In Nederland ligt zo'n honderdduizend kilometer riool in de bodem. Bij Syntraal beschouwen we deze kostbare infrastructuur als warmtenet. Middels riothermie kunnen we de beschikbare warmte efficiënt benutten en zo de transitie naar duurzame energie versnellen.

Aan het Ot en Sienpad in Huissen heeft de gemeente aangegeven het voornemen te hebben om het riool te relinen. Relinen is een renovatietechniek waarbij de riolering van binnen wordt vernieuwd zonder de rioolbuis open te breken. Tijdens het relinen kan ook direct een rioolwarmtewisselaar worden aangebracht. Vanuit dit voornemen is de interesse ontstaan om de mogelijkheden voor riothermie te onderzoeken. In dat kader heeft de gemeente Lingewaard Syntraal gevraagd om de mogelijkheid om warmte uit het riool te gebruiken (riothermie) te onderzoeken.

Uitgangspunt van het riothermie-onderzoek is het beschikbare warmteaanbod. Als warmtevragers is in eerste instantie het IKC Holthuis en Drieluik meegenomen, aan het Ot en Sienpad. De business case voor riothermie bleek voor deze scholen niet rendabel te zijn; daarom is besloten de quickscan naar riothermie breder te trekken voor de hele omgeving Huissen.

In dit rapport wordt eerst de techniek riothermie en opslag in de bodem toegelicht. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de gebouweisen voor een lage-temperatuur omgevingswarmtebron zoals riothermie en de (on)haalbaarheid van riothermie voor het IKC Holthuis en Drieluik. In hoofdstuk 4 wordt het warmteaanbod voor de omgeving van Huissen uiteengezet. In hoofdstuk 5 wordt uitgelegd hoe het warmteaanbod gekoppeld kan worden aan de warmtevraag voor bestaande en nieuwbouwwoningen. In hoofdstuk 6 wordt tot slot beschreven hoe je van een potentie tot een business case komt.

2 Riothermie

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op wat riothermie inhoudt, relining is hiervan ook een onderdeel. Tevens wordt er uitgelegd wat een warmte-koude-opslag (WKO) is en hoe deze gecombineerd kan worden met een riothermiesysteem.

2.1 Riothermie algemeen

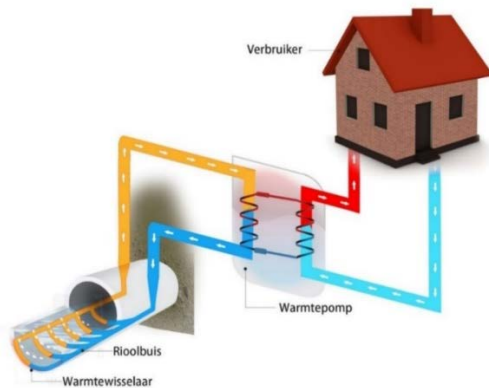
Riothermie is een techniek waarmee thermische energie uit afvalwater kan worden gewonnen. Hiertoe wordt een warmtewisselaar in de riolering of aan de buiswand geplaatst waarmee warmte (of koude) wordt gewonnen. Deze temperaturen zijn nog relatief laagwaardig; door middel van een warmtepomp wordt de temperatuur naar een bruikbaar niveau gebracht. In Nederland is het totaal potentieel aan thermische energie uit afvalwater ca 15 % van de totale warmtevraag¹ van de huishoudens in Nederland.

De mogelijkheid voor riothermie zijn sterk afhankelijk van de lokale aanwezigheid van vraag en aanbod van warmte. Aan de aanbodzijde moet voldoende thermische energie aanwezig zijn. Hiervoor zijn de parameters debiet en temperatuur van belang. In de nabijheid van het aanbod dient een afnemer aanwezig te zijn. Dit kan een zogenaamde 1-op-1 afnemer zijn zoals een zwembad, ziekenhuis of appartementencomplex, maar ook een (nieuwbouw)wijk met een warmtenet. De afstand van de afnemer en het aanbod (rioolwarmtewisselaar) is mede bepalend voor de economische haalbaarheid van een project. Andere factoren als infrastructuur en bebouwing zijn daarbij ook bepalend voor de maximale rendabele afstand.

Riothermie kan ook een (extra) warmtebron zijn voor een warmte-en-koude opslag systeem waarbij de warmteopslag in de zomer wordt aangevuld door het relatief warme rioolwater.

Om warmte uit het rioolwater te winnen bestaan er verschillende methodes. Een warmtewisselaar wint thermische energie uit het riool in de vorm van koude of warmte. Bij het winnen van warmte wordt het rioolwater afgekoeld, bij het winnen van koude wordt het rioolwater warmer. De warmtewisselaar die in het riool is geplaatst, bestaat uit een dunne dubbelwandige plaat waar die geïntegreerd is met, of op de bodem ligt van, de rioolbuis. Door de warmtewisselaar stroomt een transportvloeistof die de afgegeven warmte van het rioolwater transporteert naar een warmtepomp. De transportleiding zal vanuit de rioolbuis via de inspectieput richting het oppervlak worden geleid. Daar zal deze onder het maaiveld richting de warmtepomp worden gelegd. De warmtepomp staat meestal nabij de eindverbruiker. De warmtepomp brengt de temperatuur van de transportvloeistof op het gewenste gebruikersniveau. Schematisch is één en ander weergegeven in Figuur 2.1.

¹ Stowa studie CE Delft 'Nationaal potentieel van aquathermie', september 2018



Figuur 2.1 Riothermiesysteem

Hoeveel warmte (of koude) gewonnen kan worden uit het rioolwater wordt bepaald door het ontwerp en de type warmtewisselaar. Verschillende types warmtewisselaar zijn op de markt beschikbaar. Sommigen zijn geïntegreerd in het riool (zoals hiervoor beschreven), anderen bevinden zich aan de buitenzijde van de riolering waarbij de transportvloeistof in een aparte leiding om het gehele riool is gewikkeld.

2.2 Rioolwarmtewisselaar technieken

Een significant onderdeel van het riothermiesysteem is de warmtewisselaar. Dit onderdeel moet zo optimaal mogelijk de warmte uit het afvalwater kunnen opnemen, maar moet vooral robuust zijn en minimaal 30 jaar lang zonder problemen kunnen worden gebruikt. Daarnaast moet het niet de levensduur van het riool verkorten zodat het rioolsysteem daarna ook zijn functie behoudt tot einde levensduur. In deze paragraaf worden de op dit moment bestaande systemen besproken.

2.2.1 Rioolwarmtewisselaar vrijerval

Voor een vrijervalriool zijn er twee typen rioolwarmtewisselaars. Een interne rioolwarmtewisselaar en een externe rioolwarmtewisselaar om de rioolbuis. Een interne rioolwarmtewisselaar kan zowel worden toegepast bij vervanging van een riool, als achteraf worden ingebouwd bij een bestaand riool. Voor de interne rioolwarmtewisselaar is er ook een prefab variant, deze variant wordt alleen toegepast bij vervanging van het riool.

Interne vrijervalrioolwarmtewisselaar bestaand riool

De interne vrijervalrioolwarmtewisselaar (Figuur 2.2) kan in een bestaand riool worden aangelegd. De wisselaar bestaat uit schaaldelen die niet groter zijn dan de opening van de riooltoegangspuit. Deze uitvoering zorgt voor een minimale vermindering van de capaciteit van het riool door de schaalvorm. De hydraulische capaciteit van het riool neemt door de vorm van de wisselaar met ongeveer 4-8 % af, afhankelijk van de diameter van de rioolbuis. Bij een kleinere diameter is het verlies van hydraulische capaciteit groter. Deze wisselaar is toepasbaar bij een rioolbuis vanaf DN400 (diameter 400 mm). De aanvoer- en afvoerleiding zijn gelegd in de leidingkolom. In de gemeente De Bilt wordt met dit systeem een zwembad verwarmd.



Figuur 2.2 Vrijvervalrioolwarmtewisselaar intern, deze wordt in schaaldelen ingebouwd (bron: Uhrig)

Interne vrijvervalrioolwarmtewisselaar prefab

Bij aanleg van een nieuw riool of vervanging van een bestaand riool is een prefab rioolwarmtewisselaar toepasbaar zoals in Figuur 2.3 is afgebeeld. De warmtewisselaar is onderin de buis ingebouwd; de transportleidingen zijn in het beton gegoten. In de gemeente Goes wordt met dit systeem een appartementencomplex verwarmd.



Figuur 2.3 Vrijvervalrioolwarmtewisselaar intern prefab in de gemeente Goes (bron: warmtepompen.nl)

Externe vrijvervalrioolwarmtewisselaar prefab

Een andere variant is een vrijvervalrioolwarmtewisselaar waarbij de warmtewisselaar aan de buitenkant van de buis is bevestigd (Figuur 2.4). Het voordeel van dit systeem is dat er geen capaciteitsverlies is, nadeel is dat het systeem niet direct contact heeft met het rioolwater waardoor de warmteoverdracht minder is ten opzichte van een interne wisselaar. Daarom worden deze systemen alleen gebruikt bij ligging in het grondwater, waardoor naast het rioolwater de warmte uit de bodem kan worden gehaald. De verdeling van de warmtewinning is ca 20 % rioolwarmte en 80 % bodemwarmte. Het systeem heeft geen aparte vergunning nodig zoals bij een verticale bodemwisselaar. De effecten op de bodem zijn minimaal omdat er een beperkt temperatuurverschil ontstaat. Dit systeem met een totale lengte van 66 meter is aangelegd in de gemeente Velsen, waarbij een school wordt verwarmd.



Figuur 2.4 Vrijvervalrioolwarmtewisselaar extern prefab gemeente Velsen

2.2.2 Rioolwarmtewisselaar persleiding

In een persleiding (of drukriool) wordt afvalwater verpompt vanuit een rioolgemaal. De persleiding staat volledig vol met rioolwater waardoor het warmteoverdrachtsoppervlak groter is dan bij een vrijvervalleiding. Nadeel is dat de pomp van een rioolgemaal alleen wordt aangezet als een bepaald niveau wordt bereikt in de opvangkelder van een gemaal. Daardoor is geen continue aanvoer gegarandeerd en staat het afvalwater een tijdlang stil in de persleiding. Aanleg in een persleiding kan zowel bij vervanging als in een bestaand systeem. Een bypass heeft vaak de voorkeur, waarbij de bestaande leiding niet wordt gehinderd.

Externe persrioolwarmtewisselaar bypass

Een mogelijkheid om warmte uit een persriool te onttrekken is door de buis te vervangen door een dubbelwandige rvs buis, waarbij de warmte direct wordt overgedragen rondom de buis. Een dergelijk systeem kan direct bij vervanging worden aangelegd of als bypass bij een bestaand riool. Op Urk is dit systeem aangelegd waarbij een dubbelwandige buis met een diameter van 250 mm en 25 meter lang een binnenzwembad volledig verwarmd.



Figuur 2.5 Persleidingrioolwarmtewisselaar extern prefab, waarbij een dubbelwandige buis zorgt voor de warmteoverdracht

2.2.3 Relining

Relining wordt meestal toegepast wanneer een riool niet vervangen dient te worden of schade heeft aan de rioolbuis. Relining is geschikt voor vrijerval riolering. Een fabrikant van een reliner is Brandenburger, zie Figuur 2.6. Brandenburger maakt gebruik van de glasvezeltechniek. Een andere manier van relinen is door middel van de stoomtechniek; op dit moment is er geen fabrikant die een rioolwarmtewisselaar kan aanbrenge middels deze techniek.

De reliner van Brandenburger bestaat uit drie onderdelen:

1. Buitenvoering, voor revalidatie van het riool;
2. Rioolwarmtewisselaar, in de rioolvoet als absorber voor warmteterugwinning;
3. Binnenvoering, voor bevestiging en bescherming van de rioolwarmtewisselaar.



Figuur 2.6 Brandenburger rioolwarmtewisselaar (Brandenburger, 2019)

De buitenbekleding wordt met behulp van een kabellier in het riool getrokken, met perslucht uitgezet en met UV-licht uitgehard. De buitenste voering neemt de taak op zich om het (eventueel defecte) riool te rehabiliteren en moet zodanig gedimensioneerd zijn dat het aan de capaciteit kan voldoen. Het is ook mogelijk om het systeem zonder buitenvoering te installeren (wanneer het riool niet defect is).

In de tweede stap wordt de mat van de rioolwarmtewisselaar in de pijpplaat getrokken. De binnenvoering wordt vervolgens geïnstalleerd. De binnenvoering kan dunwandig zijn, omdat het geen structurele functie heeft. Net zoals de buitenbekleding wordt deze met behulp van een kabellier in het riool getrokken, met perslucht uitgezet en uitgehard met behulp van UV-licht.

2.3 Overzicht technieken

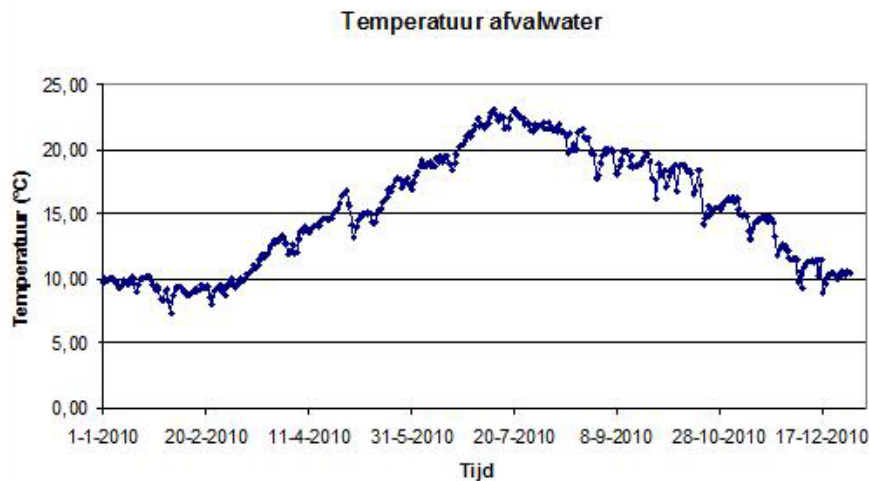
Om de belangrijkste voor- en nadelen van de verschillende rioolwisselaren naast elkaar te zetten, is in Tabel 2-1 een overzicht weergegeven.

Tabel 2-1 Overzicht rioolwarmtewisselaars

Eigenschap	Vrijverval, intern wisselaar bestaand systeem	Vrijverval interne wisselaar prefab systeem	Vrijverval externe wisselaar prefab systeem	Persriool (bypass) externe wisselaar prefab	Relining
Opbrengst per meter (diameter 400 mm)	1,0 – 2,0 kW/meter	1,0 – 2,0 kW/meter	0,25 - 0,75 kW/meter	1 - 1,5 kW/meter	0,15 - 0,5 kW/meter
Kosten per meter	1200 - 1400	1200 - 1400	800 – 1000	500 – 1200	< 500
Beïnvloeding hydraulische werking riool	Beperkt	Beperkt	Niet	Niet	Niet
Beheerskosten riool	Beperkt	Beperkt	Beperkt	Beperkt	Beperkt
Robuustheid (minimale levensduur werking wisselaar)	30 jaar	50 jaar	50 jaar	30 jaar	30 jaar

2.4 Temperatuur afvalwater

In Figuur 2.7 is het temperatuurverloop (zonder toepassing van riothermie) van het rioolwater weergegeven van een vrijvervalriool in Zwolle. Een dergelijk verloop is representatief voor de meeste riolen in Nederland.

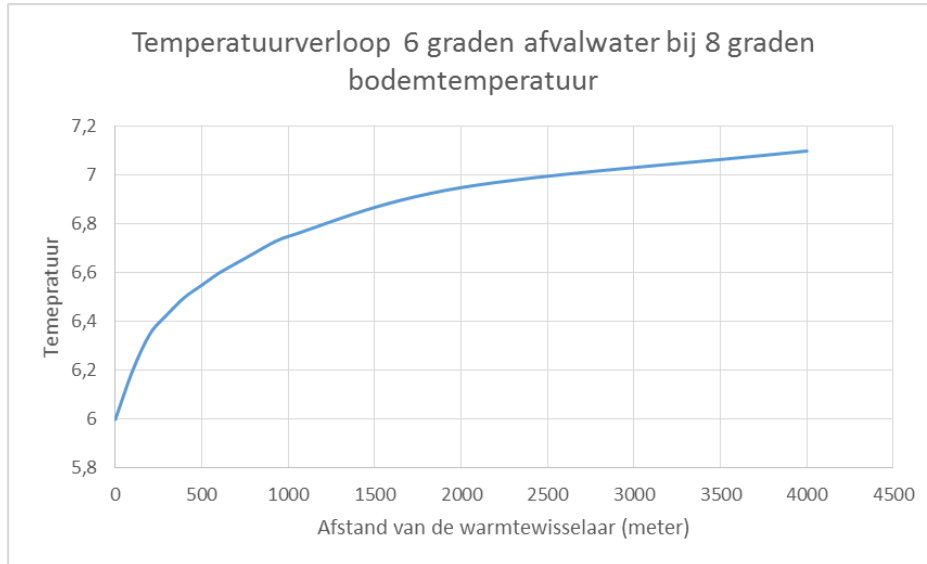


Figuur 2.7 Meting temperatuur afvalwater vrijverval stamriool riool in Zwolle (2010)

2.5 Herstelperiode temperatuur afvalwater

Gemiddeld in Nederland heeft het afvalwater een minimale temperatuur van 8 graden in de winter, met daarbij tijdelijke dalingen onder de 8 graden bij bijvoorbeeld smeltwater. Het afvalwater neemt de temperatuur aan van de omgeving (bodem). Bij het afkoelen van het afvalwater door een warmtewisselaar zal er een temperatuurverschil ontstaan met de bodem. Na een wisselaar zal de temperatuur van het afvalwater langzamerhand zich weer richting de bodemtemperatuur herstellen. De herstelperiode is van belang voor de maximale temperatuurdaling van het afvalwater.

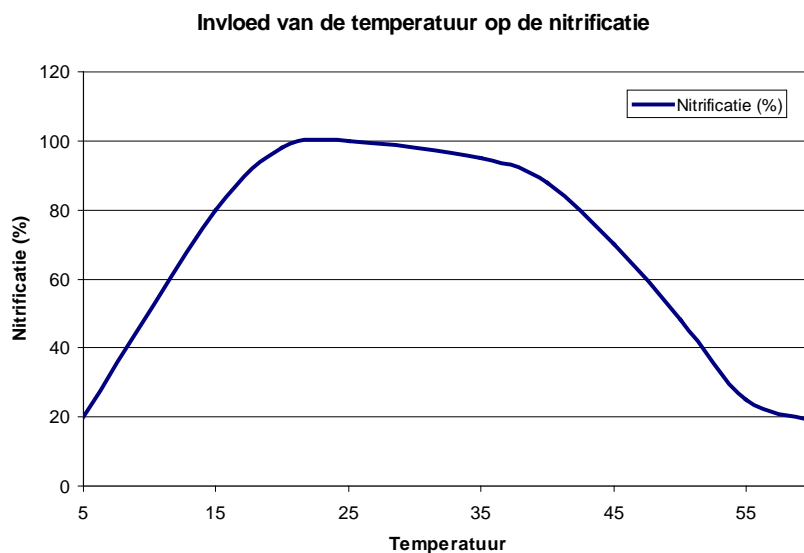
Op Urk ligt een riothermie systeem om het zwembad 't Bun het hele jaar door gasloos te verwarmen. In het kader van monitoring wordt hierbij de temperatuur van het afvalwater gemeten. Op basis van een CFD (computational fluid dynamics) model is bepaald wat de herstelperiode voor de temperatuur in het riool. In Figuur 2.8 is het temperatuurverloop in de koude maanden weergegeven. Hierbij is de temperatuur van het rioolwater 8 °C zoals de bodemtemperatuur. Hierbij blijft na onttrekking van 2 °C nog 6 °C over. Het CFD-model laat zien dat de temperatuur zich niet volledig herstelt tot de 8 °C van de bodem. Hierbij wordt menging met andere stromen niet meegenomen.



Figuur 2.8 Modelberekening temperatuurverloop Urk: uitgangspunt is een bodemtemperatuur van 8 °C, delta T rioolwarmtewisselaar is 2 °C (dus startpunt is 6 °C).

2.6 Warmte onttrekking influent

Warmteonttrekking uit het riool leidt tot een verandering van de temperatuur van het riool. Een daling van de temperatuur van het influent kan effect hebben op de temperatuur van de rioolwaterzuivering (RWZI) en daarmee mogelijk op het zuiveringsproces. Zie Figuur 2.9 voor de invloed van de temperatuur op het nitrificatieproces van een RWZI.



Figuur 2.9 Het effect van temperatuur op het nitrificatieproces bij rioolwaterzuiveringsinstallaties

Om het nitrificatieproces op peil te houden is het belangrijk dat het rioolwater nog voldoende warm is wanneer deze de RWZI bereikt. Daarom wordt geadviseerd om maximaal 1 °C te onttrekken binnen een straal van 1 km van de RWZI, in de winterperiode. Buiten de straal van 1 km kan meer onttrokken worden.

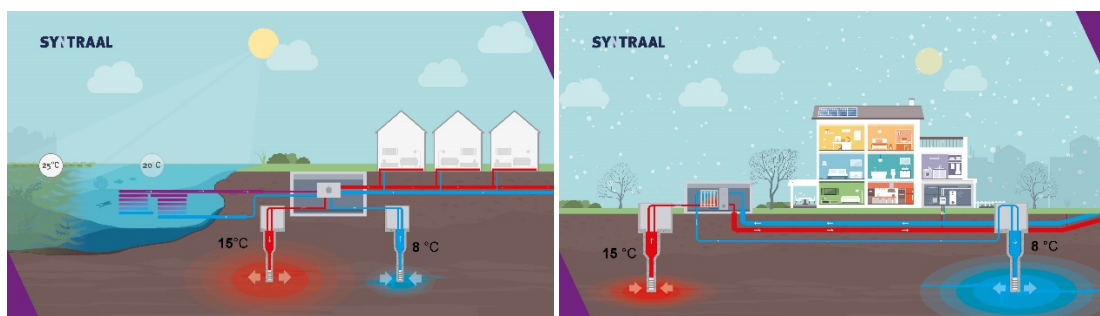
2.7 Warmteonttrekking effluent

Daling van de effluenttemperatuur kan effect hebben op de oppervlaktewatertemperatuur en daarmee ecologische gevolgen hebben voor het oppervlaktewater. Voor koudelozingen op oppervlaktewater is een voorstel vergunningenbeleid koudelozingen opgesteld. Op basis hiervan wordt voorgesteld om een temperatuurverschil van maximaal 5 °C aan te houden ten opzichte van het oppervlaktewater.

2.8 Seizoensopslag – open systeem

Het kan voorkomen dat het vermogen uit riothermie (in de winter) niet voldoende is om de woningen het hele jaar door gasloos te verwarmen, terwijl de hoeveelheid energie jaarrond wel voldoende is. In dit geval kan een seizoensopslag de oplossing bieden. Hierbij kan riothermie (of een andere omgevingswarmtebron) gebruikt worden om de bron(nen) te laden. De meest gangbare optie (techniek) hierin is een warmte-koude-opslag (WKO): een open systeem.

Bij WKO wordt warmte en koude opgeslagen in een watervoerende zandlaag (aquifer) in de bodem (zie Figuur 2.10). In deze aquifer wordt een 'doublet' met minimaal één koude en één warme bron aangelegd. Wanneer er vraag naar koude is, wordt uit de koude bron (6 – 10 °C) grondwater opgepompt. De koude uit dit grondwater wordt met een warmtewisselaar afgestaan aan een warmtepomp in koelbedrijf. Door het onttrekken van koude, warmt het opgepompte grondwater op, waarna het wordt geïnfiltrerd in de warme bron. Is er vraag naar warmte, dan wordt grondwater opgepompt uit de warme bron (13 – 17 °C). Nu wordt warmte aan het grondwater onttrokken en, met een warmtewisselaar, aan de warmtepomp afgegeven.



Figuur 2.10 Principe seizoensbuffering warmte via WKO: warmte wordt in de zomer gewonnen en opgeslagen in het grondwater in een watervoerendpakket (links). In de winter wordt het relatief warme water onttrokken waarbij de warmte aan de woningen wordt afgegeven (rechts).

Een warmte-koude-opslag is een open systeem, niet te verwarren met een gesloten systeem (zogenaamde bodemlussen). Een gesloten systeem maakt gebruik van de geleidbaarheid van de bodem, terwijl een open systeem werkt door het oppompen van grondwater. Daarnaast is er bij WKO sprake van opslag; dit is niet het geval bij bodemlussen.

De mogelijkheden voor het plaatsen van WKO-systemen hangen af van verschillende factoren. Indien er geen directe belemmeringen zijn (specifiek beleid, natura 2000 gebieden etc.) is de locatie afhankelijk van de beschikbaarheid van openbare gronden, de doorlaatbaarheid van de bodem, de thermische straal van de bronnen en de grondwaterstroming. De opbouw van de bodem en de energievraag van de afnemer is van grote invloed op de economische haalbaarheid van een WKO systeem. Het systeem moet aangelegd worden in een zandlaag, een zogenaamd watervoerend pakket. De economische haalbaarheid van een WKO systeem neemt af naarmate deze zandlaag zich dieper in de ondergrond bevindt.

Naast de economische haalbaarheid zijn er ook technische eisen voor een goed werkend WKO systeem:

- Er is een watervoerend pakket (zandlaag) nodig met een hoge hydraulische doorlaatbaarheid,
- Boven en onder het gekozen watervoerend pakket moet er een isolerende/afsluitende laag aanwezig zijn (vaak een kleilaag),
- De grondwaterstroming moet laag zijn (maximaal 60 meter per jaar),
- De chemische eigenschappen van het water moeten geschikt zijn,
- De warme en koude bron moeten ver genoeg uit elkaar liggen (minimaal 3 keer de thermische straal) om kortsluiting te voorkomen.

Om het rendement van een WKO systeem hoog te houden is het belangrijk om het systeem in balans te houden. Dat wil zeggen dat de hoeveelheid warmte die uit de watervoerende laag onttrokken wordt, ook weer in de bodem toegevoegd moet worden. Een warmteoverschot in de bodem is niet toegestaan, een koudeoverschot wel.

Veel vraag naar koude maakt het toepassen van WKO financieel interessant. Het is namelijk niet nodig om de WKO te balanceren (met bijvoorbeeld riothermie) als de vraag naar koude gelijk is aan de vraag naar warmte.

De levensduur van een WKO systeem is 30 jaar, waarbij na 15 jaar groot onderhoud dient plaats te vinden om o.a. de pompen te vervangen en het filter schoon te maken. De grondwaterstroming en de thermische verschillen in dichtheid van het water (tussen de warme en koude bron) hebben verder geen significante invloed op het rendement van het systeem.

2.9 Bodemlussen (gesloten systeem)

In het geval van bodemlussen worden nauwe gaten geboord, waarin een "lus" wordt gebracht, waar een water-glycol mengsel doorheen stroomt (zie Figuur 2.11) Het te winnen vermogen is vele malen kleiner dan bij WKO. De hoeveelheid winbare energie hangt af van de bodemgesteldheid en bedraagt 20-60 W per meter diepte.



Figuur 2.11: de werking van een gesloten systeem (bodemlus): hierbij wordt gebruik gemaakt van bodemwarmte om een woning te verwarmen.

3 Aandachtspunten lage-temperatuur warmtebron

Om een gebouw aan te kunnen sluiten op een lage-temperatuur bron zoals riothermie dient het gebouw te voldoen aan bepaalde eisen. In dit hoofdstuk worden deze eisen toegespitst op het IKC 't Holthuis en Het Drieluik. Daarnaast worden de aandachtspunten benoemd van riothermie in combinatie met een bestaand warmtenet.

3.1 Eisen

Alvorens een gebouw door middel van riothermie van duurzame warmte te kunnen voorzien, dient vastgesteld te worden of een gebouw daar ook geschikt voor is. Het gebouw dient bij voorkeur te voldoen aan onderstaande eisen / voorwaarden:

- Afgiftesysteem moet geschikt zijn voor lage temperatuur ruimteverwarming (tot 55 °C). Hoge(re) temperaturen zijn theoretisch mogelijk, maar zorgen voor een veel groter elektriciteitsverbruik van de warmtepomp, waardoor het rendement (de COP) fors zal afnemen
- Er moeten extra voorzieningen zijn (of komen) voor tapwater omdat vanuit de drinkwaterveiligheid (legionella) hiervoor veel hogere temperaturen vereist zijn (rond 70 graden)
- Het gebouw dient bij voorkeur goed geïsoleerd zijn en mechanisch geventileerd te kunnen worden, om het warmteverlies zoveel als mogelijk te beperken

Lage temperatuur verwarming is vaak vloerverwarming, maar lage temperatuur radiatoren kunnen ook geschikt zijn. Ook dient er rekening gehouden te worden met ruimte voor de warmtepomp.

Of het interessant is om een gebouw aan te sluiten op riothermie heeft vaak ook te maken met de ouderdom van de huidige warmtevoorziening die aanwezig is; als een gasketel bijna afgeschreven is, is het interessanter om te investeren in lage-temperatuurverwarming, dan wanneer er net een nieuwe ketel is geplaatst.

3.2 IKC 't Holthuis en IKC Het Drieluik

Aan IKC 't Holthuis en IKC Het Drieluik is een bezoek gebracht voor een technische inspectie. De scholen liggen namelijk aan het Ot en Sienpad, waar ook een riool ligt welke voldoende warmte zou kunnen leveren aan beide scholen; zo was gebleken uit een eerste quickscan. Helaas bleek na de inspectie dat de scholen niet direct geschikt zijn voor lage-temperatuur verwarming. Daarnaast is er recent geïnvesteerd in een nieuwe gasketel voor hoge-temperatuur verwarming. In onderstaande wordt de staat van de scholen beschreven.

IKC 't Holthuis is in 2018 gerenoveerd. Hierbij zijn kunststof kozijnen en dubbelglas geplaatst. Er heeft geen na-isolatie plaatsgevonden. In medio 2019 zijn alle klaslokalen en kantoren voorzien van airco's, deze airco's dienen ervoor om het binnenklimaat aangeneramer te maken en hebben een vermogen van 3 kW. Ook zijn er nieuwe gasketels geplaatst. Het Drieluik is ook in 2018 gerenoveerd vanuit esthetisch oogpunt. Het gebouw is matig geïsoleerd en ook zijn de kozijnen gedateerd. De radiatoren dateren uit 1970 en zijn nog niet vervangen. Er was op het moment van renoveren geen budget beschikbaar om

airco's te plaatsen om het binnenklimaat 's zomers aangenamer te maken. De school wordt voorzien van warmte door middel van een gasketel die het einde van de levensduur nadert. In beide scholen is nagenoeg geen ruimte voor wand- of vloerverwarming aanwezig. Ook de gebouwschil is van beide scholen niet optimaal. Hierdoor is het niet mogelijk om de scholen kostenefficiënt te voorzien van duurzame warmte middels riothermie. Er zou nog geïnvesteerd kunnen worden in de gebouwschil, waardoor het gasverbruik c.q. de warmtevraag zal afnemen. Daarnaast is het bij IKC 't Holthuis niet logisch om de nieuw geplaatste gasketel op dit moment te vervangen. Het beste moment om over te gaan op duurzame warmtevoorziening is logischerwijs bij het natuurlijke vervangingsmoment van de gasketel.

Samenvattend kunnen we concluderen dat het op dit moment niet zinvol is om de beide scholen van duurzame warmte middels riothermie te voorzien. Om dit wel mogelijk te maken, behoeven de beide gebouwen een forse (aanvullende) aanpassing van het verwarmingssysteem en ook de schilisolatie verdient de nodige aandacht. Daarnaast vergt ook de installatie van een riothermiesysteem de nodige investeringen, zodat we op basis van deze gegevens kunnen concluderen dat er op voorhand niet tot een haalbare business case gekomen kan worden. De terugverdientijd van de investeringen schatten we op voorhand in als meer dan 30 jaar.

3.3 Riothermie als bron voor een (bestaand) warmtenet

Riothermie zou ook als een bron voor een bestaand warmtenet benut kunnen worden. Hierbij zijn een aantal zaken van belang:

- Warmtenetten kenmerken zich door een relatief hoge druk in de (hoofd)leidingen. Dit is nodig om te kunnen waarborgen dat in alle delen van het net voldoende druk én warmte beschikbaar is. Dit heeft tot gevolg dat netbeheerders met name in het hoofdnet de voorkeur hebben voor een minimaal aantal bronnen. Het inpluggen van een nieuwe bron op een bestaand warmtenet zal tot drukverlies leiden, dat weer gecompenseerd moet worden om de warmte te kunnen garanderen. Aanvullende bronnen, zoals riothermie zijn daarmee minder geschikt voor een hoofdnet; de secundaire netten (haarvaten in de wijken) kunnen er wel goed mee (bij)gevoed worden
- Een ander aspect is dat de temperatuur van de bron (riothermie) goed afgestemd moet zijn op de temperatuur van / in het warmtenet. Als de temperatuur van de riothermiebron lager is, dan zal deze de temperatuur in het warmtenet af kunnen koelen en zal het warmteverlies in het net verder toenemen. Dit laatste is vanuit technische en financiële rendementen ongewenst

4 Warmteaanbod riothermie Huissen

Voor de potentie van riothermie is het aanbod bekeken in de omgeving Huissen. Specifiek is er gekeken naar het riool onder het Ot en Sienpad en gemaal Zilverkamp (Rietbaan). De rioolwarmte in de omgeving stroomt af naar dit gemaal.

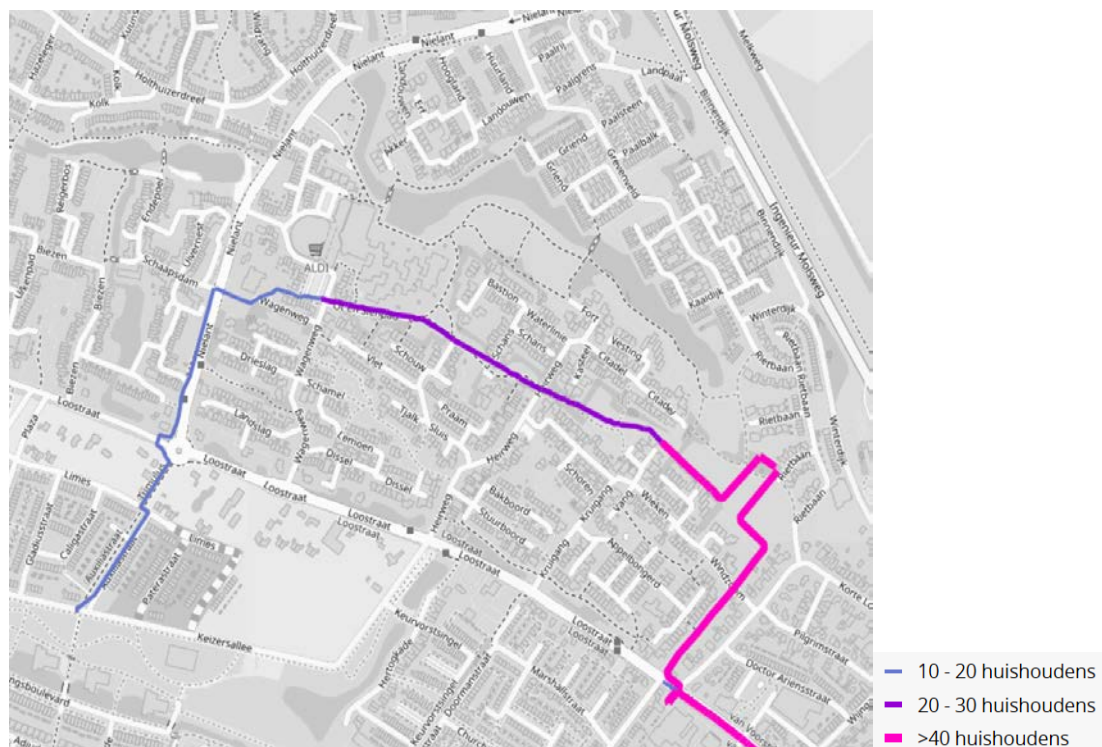


Figuur 4.1: Ligging van IKC 't Holthuis en Het Drieluik weergegeven met het rode symbol (Bron: maps.google.com)

De theoretische bepaling van het warmteaanbod in het riool aan het Ot en Sienpad en het gemaal Zilverkamp is weergegeven in dit hoofdstuk.

4.1 Theoretische bepaling warmteaanbod

De energie van het rioolwater wordt bepaald door de temperatuur van het afvalwater en het debiet (volume in l/s). Er zijn twee manieren om het energieaanbod in het riool te bepalen, door een debiet- en temperatuurmeting uit te voeren of door een theoretische bepaling. De theoretische bepaling is weergegeven in Figuur 4.2 waarbij het aantal huishoudens dat potentieel verwarmd kan worden met riothermie is weergegeven.



Figuur 4.2: Theoretische bepaling warmteaanbod

Zichtbaar is dat de theoretische bepaling aan het Ot en Sienpad een warmtepotentie weergeeft van 20-30 huishoudens, dit staat gelijk aan ongeveer 80 – 120 kW bronvermogen (voor een gemiddelde school is dit normaliter voldoende). Het bronvermogen is de hoeveelheid aan thermische energie wat kan gewonnen worden uit het riool. Met de tussenkomst van een warmtepomp zal dit vermogen toenemen met ongeveer 25 % afhankelijk van het rendement (de COP). De COP (coëfficiënt of performance) is de verhouding nuttige warmte en opgenomen energie. De COP van de warmtepomp is onder andere afhankelijk van het type warmtepomp, de bron- en afzettemperatuur en het type transportmedium. Een COP van 4 wordt vaak gehanteerd, en houdt in dat van de 4 eenheden geleverde warmte, 1 eenheid elektrisch is en 3 eenheden uit de bron (in dit geval riothermie) afkomstig zijn.

Het gemeal Zilverkamp (bij de Rietbaan) verpompt 75 m³/uur. Het warmteaanbod is dan 174 kW, hierbij is rekening gehouden met het onttrekken van 2 °C. Wanneer er sprake is van een rioolwarmtewisselaar in het kader van relining, kan er slechts 1 °C onttrokken worden uit het riool; hierdoor zal het

bronvermogen halveren. In Tabel 4.1 zijn de bronvermogens ten opzichte van het debiet uitgezet (voor de twee situaties; gemaal en riool bij relinen).

Tabel 4.1 Warmtevermogen o.b.v. aanbod bij gemaal De Zilverkamp (bij delta T van 2 graden Celsius) en o.b.v. aanbod bij relining (bij delta T van 1 graden Celsius)

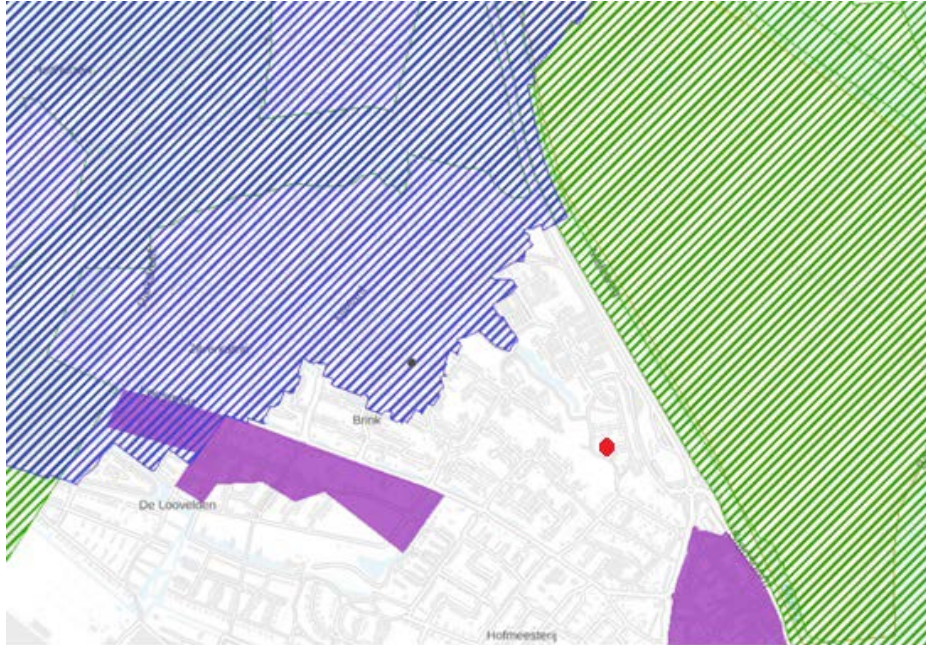
Percentage debiet	Debiet DWA (m ³ /uur)	Bronvermogen (kW) gemaal Zilverkamp	Bronvermogen (kW) uit het riool
100%	75	174	87
90%	67,5	157	78
80%	60	139	70
70%	52,5	122	61
60%	45	105	52
50%	37,5	87	44
40%	30	70	35
30%	22,5	52	26
20%	15	35	17
10%	7,5	17	9
0%	0	0	0

Het gemaal (en daarmee ook het riool) hebben een maximaal debiet van 75 m³/uur. Indien er sprake is van grotere debieten, is er uiteraard ook sprake van een groter bronvermogen:

- Bij een debiet van 100 m³/uur bedraagt het bronvermogen bij een delta T van 2 graden Celsius 232 kW; bij delta T van 1 graad Celsius is dit 116 kW
- Bij een debiet van 500 m³/uur bedraagt het bronvermogen bij een delta T van 2 graden Celsius 1.160 kW; bij delta T van 1 graad Celsius is dit 580 kW

4.2 WKO omgeving Huissen

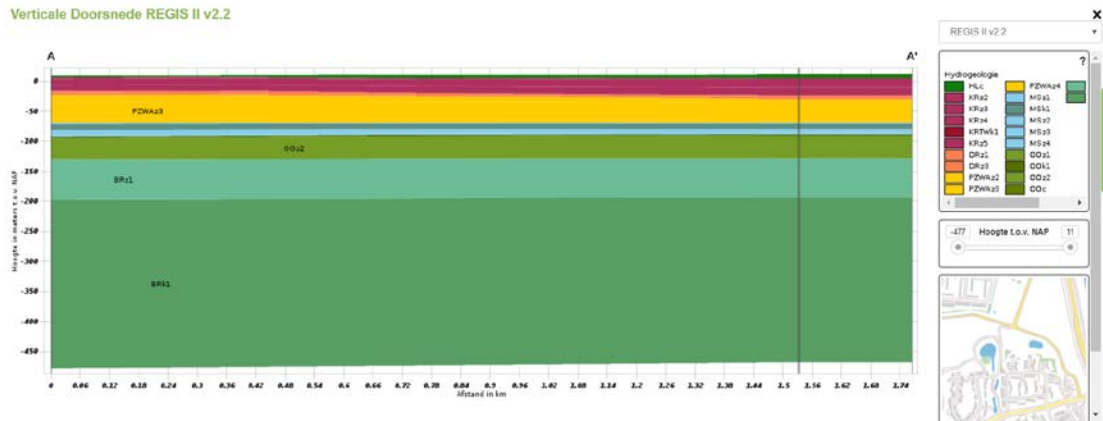
Wanneer er plannen zijn om een WKO te realiseren dient gecontroleerd te worden of dit mogelijk is in verband met het beleid. Zo kan er een specifiek provinciaal beleid gelden of sprake zijn van archeologische waarden in de bodem. Een WKO realiseren in de omgeving van Huissen is mogelijk; wel zijn er een aantal aandachtspunten.



Figuur 4.3 Screenshot WKO-tool, rode punt= gemaal Zilverkamp, blauw=verbodsgebied drinkwaterbescherming, paars=aandachtsgebied archeologie, groen= aandachtsgebied natuur (wkotool.nl)

Het blauw gearceerde gebied in Figuur 4.3 geeft een verbodsgebied weer voor drinkwaterbescherming, hier mag dus geen WKO worden gerealiseerd. Daarnaast dient er rekening gehouden te worden het paarse gebied (archeologische waarden) en het groen gearceerde gebied (natuurgebied) bij het aanvragen van een vergunning.

Voor dit onderzoek is ook DINO-loket geraadpleegd. De bodem van Huissen is geschikt om een WKO toe te passen, zie in Figuur 3.4 de bodemwaarden over een afstand van 1,7 km (bij gemaal Zilverkamp). Rond -70 m NAP en -200 m NAP zijn kleilagen aanwezig, hier tussen (-100 en -200 m NAP) bevinden zich zandlagen die geschikt zijn voor WKO.



Figuur 4.4 Screenshot DINOloket, bodemgesteldheid rondom de omgeving van gemaal Zilverkamp

Bij een combinatie van riothermie met WKO kan er gebruik gemaakt worden van de zomerse temperaturen. Zo kan het bronvermogen van gemaal Zilverkamp verdubbelen omdat er 4 °C onttrokken kan worden in plaats van 2 °C. Het bronvermogen is dan ongeveer 350 kW.

5 Warmtevraag woningbouw

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de warmtevraag van nieuwbouw en bestaande bouw. Ook wordt het warmteaanbod gekoppeld aan de warmtevraag.

5.1 Warmtevraag nieuwbouw en bestaande bouw

De warmtevraag van verschillende type nieuwbouw woningen is weergegeven in Tabel 5.1. Een grote vrijstaande woning heeft een warmtevraag (ruimteverwarming en tapwater) van ongeveer 23 GJ. Een appartement heeft een warmtevraag van ongeveer 10 GJ.

Tabel 5.1 Warmtevraag nieuwbouw woningen

Type woning	Gebruiksoppervlakte (m ²)	Warmtevraag in kW	Warmtevraag in GJ
Appartement	61	5	10
Rijwoning	124,3	7	16
Twee – onder- een kap	147,7	8	20
Vrijstaand	169,5	8,5	23

Wanneer wordt uitgegaan van bestaande bouw heeft een appartement een warmtevraag van ongeveer 26 GJ en een vrijstaande woning ongeveer 50 GJ. Zie hiervoor Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Warmtevraag bestaande bouw

Type woning	Gebruiksoppervlakte (m ²)	Warmtevraag in kW	Warmtevraag in GJ
Appartement	61	10	26
Rijwoning	124,3	12	37
Twee – onder- een kap	147,7	13	44
Vrijstaand	169,5	15	50

5.2 Warmteaanbod gemaal Zilverkamp versus warmtevraag

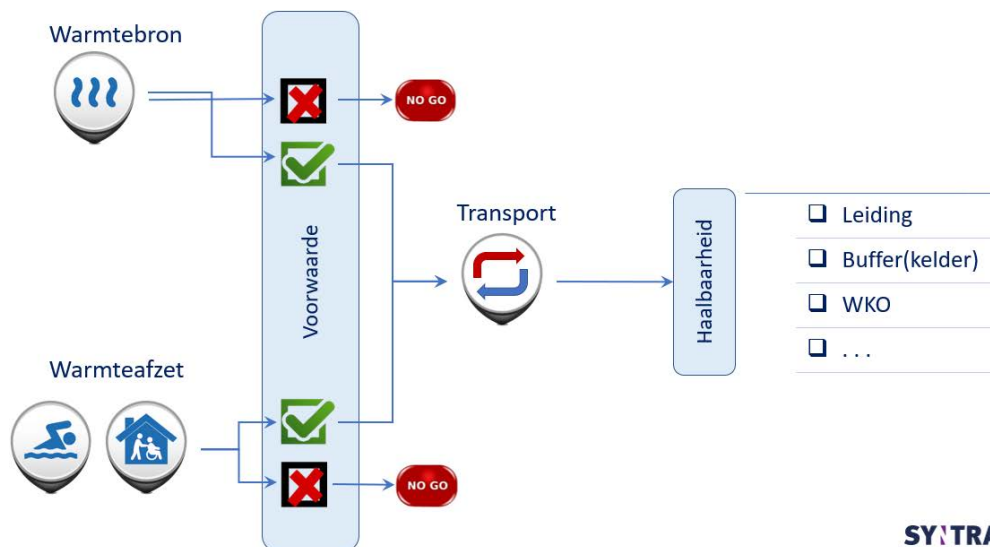
Het warmteaanbod van het gemaal Zilverkamp is ongeveer 174 kW aan bronvermogen. Uitgaande van een COP van 4 zal dit gelijk zijn aan 230 kW aan geleverd vermogen. Wanneer er wordt uitgaan van nieuw te bouwen rijwoningen kunnen er ongeveer 33 woningen voorzien worden van warmte.

Als riothermie zou worden toegepast in combinatie met een WKO is het warmteaanbod ongeveer 348 kW aan bronvermogen. Bij een COP van 4 zal dit gelijk zijn aan 465 kW aan geleverd vermogen. Wanneer er wordt uitgaan van nieuw te bouwen rijwoningen kunnen er ongeveer 66 woningen voorzien worden van warmte.

6 Van potentie tot business case

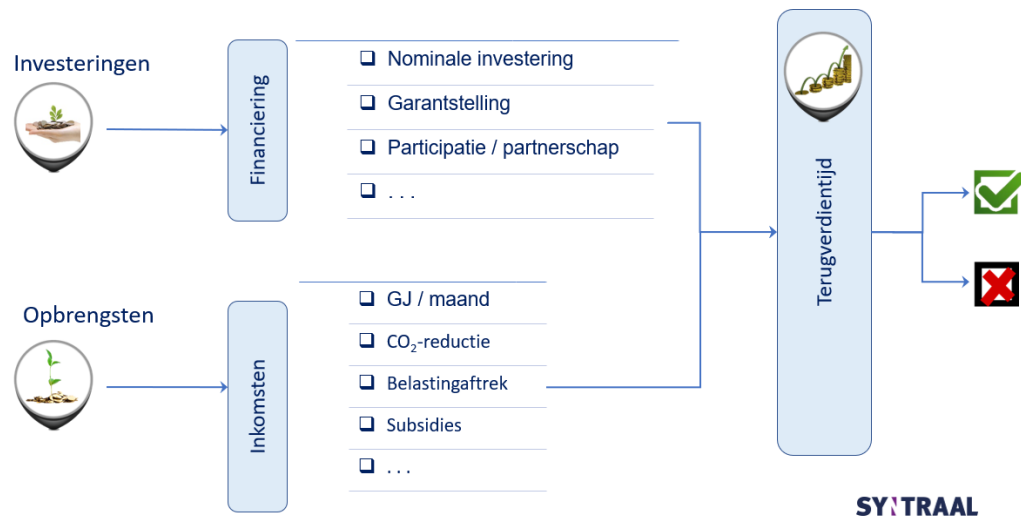
Per warmtevrag (object/woning) kan op basis van een business case bepaald worden of riothermie een interessante optie is voor duurzame warmtevoorziening.

Figuur 6.1 geeft weer op welke manier de technische haalbaarheid van een gebouw in kaart kan worden gebracht. De warmtebron en de warmteafzet worden aan elkaar gekoppeld en de technische potentie wordt bepaald aan de hand van de techniek die nodig is. Onderdelen van de techniek zijn o.a. een rioelwarmtewisselaar, warmtepomp, (eventuele) aanpassingen aan het warmteafgiftesysteem, leidingen (warmtenet) en seizoensopslag (WKO).



Figuur 6.1 Technische haalbaarheid omgevingswarmte

De terugverdientijd van een business case wordt bepaald aan de hand de investeringskosten, de exploitatiekosten (elektriciteitskosten, onderhoud, kosten netbeheerder) en de besparingen (kosten die van toepassing zouden zijn in een alternatief scenario zoals de inkoop van gas of elektriciteitskosten in geval van airco). Figuur 6.2 geeft de belangrijke componenten van financiële haalbaarheid van een riothermiesysteem weer. Hier komt naar voren dat naast de nominale investering ook factoren zoals garantstelling en burgerparticipatie van belang zijn om voldoende draagvlak te creëren voor de toepassing van riothermie. Bovendien kan naast de opbrengsten ten opzichte van een alternatief scenario, ook interessante winst worden behaald in het kader van o.a. CO₂ reductie, belastingaftrek en subsidies.



Figuur 6.2: Financiële haalbaarheid omgevingswarmte

Tabel 6.1 geeft enkele financiële kentallen weer om rekening mee te houden in de business case.

Tabel 6.1 Financiële kentallen van belang in een riothermie business case inclusief WKO

Onderdeel	Financieel kental (excl. BTW)
Rioolwarmtewisselaar (€/ meter)	500 – 1.500
Warmteleiding ongeïsoleerd (€/ meter)	250 – 500
Warmteleiding geïsoleerd (€/ meter)	750 – 1000
Warmtepomp (€/ kW)	250 – 500
Prijs warmte conform warmtewet (€/ GJ)	28,47 ²
WKO (€/ kW)	300 – 450

Onderstaand een voorbeeld van een business case van een riothermiesysteem op basis van bovengenoemde kentallen. Uitgaande van een exploitatieperiode van 30 jaar, bedragen de opwekkosten tussen 25 – 30 €/GJ, waarbij de uitgangspunten zijn:

- 200 kW geleverd vermogen (dus na warmtepomp)
- Maximale benutting van een WKO systeem (elk jaar volledig laden en ontladen)
- Het aantal te leveren GJ's warmte zijn 1870 GJ/jaar (gebaseerd op 200 kW vermogen en 2600 draaiuren WKO); dit is grofweg €56.000 GJ over 30 jaar (ervan uitgaande dat het riothermiesysteem optimaal werkt gedurende de exploitatietermijn)
- Investerings en herinvesterings zijn in totaal ongeveer €500.000
- De exploitatiekosten over 30 jaar zijn €1 miljoen (ruwe vuistregel: exploitatiekosten= 2 maal investeringskosten)

² Inclusief BTW

TNO-rapport

Haalbaarheidsstudie ondergrondse hoge temperatuur opslag (HTO) voor tuinbouwgebied NEXTgarden

Datum	6 maart 2019
Auteur(s)	Maartje Struijk (TNO) & Joris Koorneef (TNO) Rob Kleinlugtenbelt (IF) & Benno Drijver (IF)
Exemplaarnummer	TNO 2019 R10358
Oplage	
Aantal pagina's	63 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Gemeente Lingewaard
Projectnaam	Haalbaarheidsstudie voor ondergrondse hoge temperatuur opslag tuinbouwgebied NEXTgarden
Projectnummer	060.35900

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2019 TNO

Samenvatting

concept

Wereldwijd wordt gewerkt aan de energietransitie, waarbij de overgang van fossiele brandstoffen naar volledige duurzame energiebronnen gemaakt moet worden. In Nederland wordt op dit moment nog ~75% van de warmtebehoefte met aardgas vervuld. Duurzamere alternatieven voor gas zijn bijvoorbeeld Bio-warmtekrachtkoppeling systemen, zonthermie, geothermie of een warmteleiding gevoed met (rest)warmte uit de industrie. Echter, vraag en aanbod van energie door het jaar heen sluit niet goed aan. Hierdoor wordt het steeds belangrijker om de vraag en productie van warmte op elkaar af te stemmen en te optimaliseren; warmteopslag kan hierbij helpen.

Hoge Temperatuur Opslag (HTO) in de ondergrond kan hiervoor een oplossing bieden; het overschot aan warmte met hoge temperaturen wordt opgeslagen in de ondergrond (meestal in de zomer), waarbij in perioden dat de warmtevraag groter is dan het aanbod (meestal in het winterseizoen) kan deze warmte worden teruggewonnen en worden ingezet voor verwarming. In deze studie wordt uitgegaan van HTO met behulp van een open bodemenergiesysteem. Dit betekent dat de warmte wordt opgeslagen in watervoerende pakketten. Voor het transport van het opgewarmde en afgekoelde grondwater vanuit het watervoerende pakket naar de bovengrondse installatie, wordt gebruik gemaakt van bronnen.

Gemeente Lingewaard heeft TNO/IF gevraagd om de haalbaarheid (technisch, economisch, milieu-hygiënisch en juridisch) van Hoge Temperatuur Opslag (HTO) uit te zoeken voor het tuinbouwgebied NEXTgarden, die in de toekomst klimaatneutraal willen zijn.

In deze studie zijn de eigenschappen van de ondergrond onderzocht en is de technische-economische haalbaarheid voor 3 varianten doorgerekend. Het gaat om twee ondiepe varianten (~100m diep), waarbij warmte wordt opgeslagen met een temperatuur van respectievelijk 45 °C en 60 °C. In deze varianten wordt uitgegaan van de inzet van een warmtepomp om het gewenste temperatuurniveau te kunnen behalen. Daarnaast is één diepe variant (~300m diep) uitgewerkt, waarbij warmte wordt opgeslagen met een temperatuur van 95 °C (zonder warmtepomp). Een ondiepe variant met 95 °C is niet verder onderzocht. De negatieve effecten voor de ondergrond die horen bij het injecteren van water van 95 °C op 100 meter diepte zullen naar verwachting projectrealisatie in de weg staan.

Op basis van het (toekomstige) vraag- en aanbodprofiel is ingeschat dat een HTO met een leveringsvermogen van 10-15 MWth inpasbaar is. Elk jaar wordt ongeveer dezelfde hoeveelheid warmte opgeslagen (zomer), maar door warmteverliezen naar de omgeving kan niet alle opgeslagen warmte worden teruggewonnen (winter). Dit resulteert in een thermisch rendement na 5-6 jaar van 80% voor de 45 °C en 60 °C varianten en ~60% voor de 95 °C variant.

Ook zijn de mogelijke milieu- hygiënische invloeden van HTO op de ondergrond nader bekeken, waarbij warmteuitstraling naar omliggende en bovenliggende pakketten en de diepte van het zoet-zout grensvlak van belang zijn. Voor mogelijke zoet-zout menging heeft de provincie Gelderland het beleid dat het niet is

concept

toegestaan dat zoet met zout water gemengd wordt en daarom zijn de kansen voor HTO het grootst als het grensvlak boven de beoogde aquifer ligt (HTO in zoet water bevattende watervoerende pakketten is vanwege mogelijke nadelige effecten op de grondwaterkwaliteit ook minder wenselijk). Op basis van meetgegevens blijkt dat er in het beoogde ondiepe pakket sprake zal zijn van menging van zoet en brak tot zout grondwater. Om een HTO hier toe te staan, zou dus een uitzondering gemaakt moeten worden gemaakt op het bestaande beleid. Hierbij is ook de vraag in hoeverre zoet grondwater zal worden gewonnen uit het bovenste deel van een watervoerend pakket.

De business case berekeningen laten duidelijk zien dat de cashflow voor de diepe variant (95 °C) lang negatief blijft, omdat de HTO in de beginjaren lagere thermische rendementen laat zien en daardoor inkomsten mist. De ondiepe varianten i.c.m. een warmtepomp laten positievere cashflows zien, omdat deze systemen in bijna alle perioden het gevraagde temperatuurniveau kunnen leveren. De totale investeringskosten zijn het hoogste voor de 60 °C variant met warmtepomp, waar een groot deel van deze kosten voorkomt uit de investering in de warmtepomp. Ook voor de 45 °C variant geldt dat de warmtepomp het grootste deel van de investering behelst.

De netto contante waarde (NCW) voor alle varianten onder de huidige aannamen zijn negatief; tussen de 3 en 4 miljoen euro. De 45 °C variant met een NCW van -3 miljoen is de beste variant, gevolgd door de 60 °C variant. De analyse laat verder zien dat de NCW negatief wordt beïnvloed wanneer de kosten voor de geïnjecteerde warmte en voor elektriciteit stijgen. Wanneer de kosten voor elektriciteit onder de 25 euro per MWh komen, laten beide varianten met een warmtepomp een positieve business case zien. Ook laten deze varianten een positieve business case zien wanneer de waarde van verkochte warmte richting de 9 a 10 euro/GJ gaat. De 95 °C variant laat in alle gevallen een negatieve business case zien.

Ten slotte zijn in deze studie de belangrijkste milieuhygiënische effecten, juridische aspecten en projectrisico's geïnterpreteerd om inzicht te geven in belangrijke hordes in verdere projectrealisatie. Ook is een stappenplan bepaald die de route naar projectimplementatie schetst.

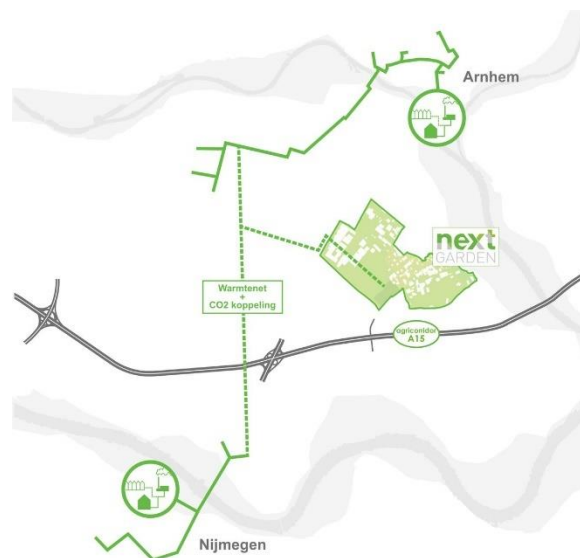
Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	5
1.1	Achtergrond	5
1.2	Doelstelling	5
1.3	Studiegebied	6
1.4	Introductie: Ondiepe geothermie	6
1.5	Introductie: Hoge Temperatuur Opslag	7
2	Geologische haalbaarheid en locatiekeuze	9
2.1	Beschouwing ondiepe geothermie (<1500 meter)	10
2.2	Locatie scan HTO	14
3	Technische en economische haalbaarheid	18
3.1	Energetische uitgangspunten warmte aanbod en vraag	19
3.2	Uitvoeringsvarianten	22
3.3	Voorlopig putontwerp en realisatie	24
3.4	Thermische berekeningen	26
3.5	Basisontwerp en financiële analyse van de HTO	32
4	Milieu hygiënische en juridische aspecten	45
4.1	Grondmechanica: zetting en opheffing	45
4.2	Hydrologische en hydrothermische effecten	45
4.3	Effecten warmte-uitstraling van de putten	46
4.4	Invloed op de chemische en microbiologische grondwaterkwaliteit	46
4.5	Juridisch raamwerk	48
4.6	Stakeholder analyse ondergrond	52
5	Risico inventarisatie en plan van aanpak vervolgstappen	55
5.1	Risico-inventarisatie	55
5.2	Plan van aanpak voor het vervolg	60
6	Referenties	61
7	Ondertekening	63

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het wordt steeds belangrijker om de vraag en aanbod van warmte beter aan elkaar te koppelen, zodat alle warmte optimaal benut kan worden. Het opslaan van warmte met hoge temperaturen in de ondergrond, ook wel hoge temperatuur opslag (HTO) genoemd, zou één van de oplossingen kunnen zijn. Gemeente Lingewaard heeft TNO/IF gevraagd om de haalbaarheid van hoge temperatuur opslag in de ondergrond uit te zoeken voor het tuinbouwgebied NEXTgarden gelegen in Gemeente Lingewaard (Figuur 1.1). Dit tuinbouwgebied heeft als doelstelling om in de toekomst klimaatneutraal te worden en zal hiervoor naar duurzame energievormen moet overstappen.



Figuur 1.1 Locatie glastuingebied NEXTgarden gelegen tussen Arnhem en Nijmegen (bron: <https://www.nextgarden.nl/>).

1.2 Doelstelling

Het doel van deze studie is het inzichtelijk maken van de mogelijkheden wat betreft de geologische, technische en economische haalbaarheid en van de milieu- en veiligheidsrisico's en juridische aspecten die horen bij een hoge temperatuur opslag systeem. De volgende doelen en resultaten zullen o.a. behandeld worden:

Hoofdstuk 2:

- Bepalen waar in de ondergrond en op welke locatie het beste potentieel is voor het plaatsen van een HTO-systeem.

Hoofdstuk 3:

- Selecteren van drie meest optimale scenario's op basis van energievraag en -aanbod en ondergrond.
- Bepalen van het thermisch en energetisch rendement als gevolg van warmteverliezen.
- Indicatie geven van het ontwerp van de HTO-systeem.
- Overzicht van de economische kostenraming voor een HTO-systeem inclusief warmtepomp als deze ingezet wordt.

Hoofdstuk 4:

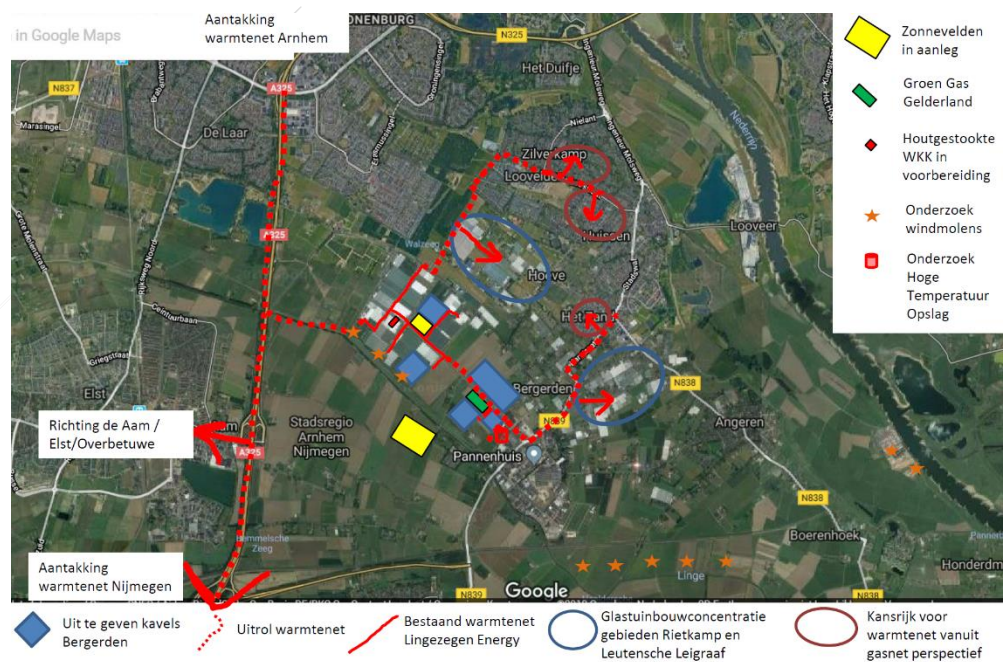
- Bepalen welke mogelijke effecten er zijn op de omgeving als gevolg van de warmteverliezen door injecteren en produceren van warm water.
- Mogelijkheden en beperkingen vaststellen met betrekking tot juridische en milieuhygiënische aspecten.
- Benoemen van de stakeholders wat betreft de ondergrond.

Hoofdstuk 5:

- Inventariseren van de mogelijke risico's en bijbehorende mitigerende maatregelen

1.3 Studiegebied

Het tuinbouwgebied NEXTgarden heeft een omvang van 735 hectare waar 235 bedrijven onder vallen. Op dit moment is er een warmtenet (Linzegeen Energy B.V.) dat mogelijk wordt uitgebreid in de toekomst. Zo kan het warmtenet meerdere bedrijven bedienen en kunnen ook woningen worden aangesloten. Dit warmtenet zal dan in de toekomst kunnen worden gevoed door een uitbreiding van het warmtenet Arnhem. In Figuur 1.2 is een schets gegeven van hoe deze uitbreiding er in de toekomst uit zou kunnen zien (zie ook Figuur 1.1). Het onderzoeksgebied zal dan worden gevoed middels een warmteleiding, maar ook door lokale warmtebronnen. Een uitgebreide analyse van aanbod en vraag naar warmte is beschreven in sectie 3.1.



Figuur 1.2 Schets van mogelijke uitrol van een warmtenet in het studiegebied .

1.4 Introductie: Ondiepe geothermie

Een alternatief voor het gebruik van aardgas zou ondiepe geothermie kunnen zijn. Bij ondiepe geothermie (OGT) wordt aardwarmte uit ondiepere ondergrondse zandlagen (~300-1500 meter) onttrokken uit water met temperaturen van 20-55 °C. Dit is lager dan de temperaturen die gewonnen worden door de bestaande

geothermieprojecten die temperaturen van ~55-120 °C produceren op grotere diepte. De lagere temperatuur kan ingezet worden voor direct gebruik, maar in veel gevallen zal de lagere temperatuur niet voldoende zijn voor directe benutting. In dit geval kan OGT in combinatie met een warmtepomp de temperatuur van het water verhogen tot de gewenste temperatuur. De dieptebegrenzing voor OGT ligt in praktijk niet vast, maar het sediment dat we op deze dieptes zullen ongeconsolideerd zijn en er wordt verwacht dat deze met gebruikelijke grondwaterboortechneken of met vereenvoudigde olie/gas boortechneken aan te boren zijn. Door de ondiepere ligging zullen de investeringskosten voor het boren en de financiële risico's lager uitvallen in vergelijking met diepere geothermieboringen.

Voor het verkrijgen van een vergunning voor OGT (of ook HTO) vallen juridisch gezien aardwarmte gerelateerde activiteiten dieper dan 500 meter onder de Mijnbouwwet, wat onder het bevoegd gezag van Economische zaken en Klimaat valt. HTO en OGT ondieper dan 500 meter valt onder de Waterwet, waarvoor de provincie het bevoegd gezag is.

Er is op dit moment één OGT in ontwikkeling bij Greenbrothers in Zevenbergen. Er wordt geboord naar een diepte op ~700 meter diep met een verwachte temperatuur van ~30 °C. In combinatie met een warmtepomp wordt er ingezet op een thermisch vermogen van 6-9 MW (<https://geothermie.nl/index.php/nl/geothermie-aardwarmte/geothermie-in-nederland/projectoverzicht/231-greenbrothers-zevenbergen>).

1.5 Introductie: Hoge Temperatuur Opslag

Wereldwijd wordt gewerkt aan de energietransitie: de overgang van fossiele brandstoffen naar duurzame energie. Belangrijke argumenten zijn de eindigheid van fossiele brandstoffen, de gevolgen van de winning en het gebruik van fossiele brandstoffen (aardbevingen in Groningen, uitstoot van broeikasgassen, klimaatverandering, zeespiegelstijging, etc.) en de politieke gevolgen (wens om minder afhankelijk te worden van landen die fossiele brandstoffen produceren). Echter, het aanbod van energie vanuit duurzame bronnen sluit meestal niet aan bij de vraag. Zo is het aanbod van zonne- en windenergie bijvoorbeeld sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Ook voor thermische energie is dit het geval: in de zomer is de warmtevraag klein en het aanbod groot en in de winter is het omgekeerde het geval. Om dit op te lossen is opslag nodig. Opslag van warmte (en koude) in de ondergrond is hiervoor een goede optie.

Bij Warmte-/KoudeOpslag (WKO, ook wel aangeduid als open bodemenergiesystemen) wordt de warmte en koude tijdelijk opgeslagen in de ondergrond. Hierbij worden warme en koude bronnen gemaakt. De warme bronnen worden gebruikt voor het opslaan en terugwinnen van warmte en de koude bronnen voor het opslaan en terugwinnen van koude. Meestal is sprake van seizoensopslag, zodat in de winter kan worden verwarmd met opgeslagen zomerwarmte en in de zomer gekoeld met winterkoude. Daarnaast kan het systeem worden gebruikt voor korte termijn opslag (dag/nacht). In Nederland is lage temperatuur WKO uitgegroeid tot een standaard techniek, maar dat geldt niet voor Middelhoge en Hoge Temperatuur Opslag (MTO en HTO).

Lage temperatuur WKO

Na de succesvolle introductie van WKO in de jaren '80 van de vorige eeuw, is in Nederland een exponentiele groei van het aantal WKO-systemen op gang gekomen. Eind 2016 lag het aantal vergunningen voor open bodemenergiesystemen op ongeveer 2.200 (in het jaar 2000 waren dit er nog ongeveer 200 en in 1990 slechts 5). Bij het overgrote deel van de WKO-systemen (> 99%) is sprake van de opslag van koude en warmte op lage temperaturen (< 25 °C). Een typische waarden voor de temperatuur van de warme bel is 14 à 16 °C en voor de koude bel ligt dit meestal rond 7 à 9 °C.

Omdat de temperatuur van de opgeslagen warmte te laag is om een gebouw of tuinbouwkas rechtstreeks te kunnen verwarmen, wordt meestal gebruik gemaakt van warmtepompen. Deze warmtepompen worden ingezet om het temperatuurniveau van de teruggewonnen warmte op te waarden naar een bruikbaar niveau. Hoewel het primair energieverbruik bij gebruik van warmtepompen lager is dan bij conventionele verwarming (middels HR-ketels), kan dit nog veel verder worden verlaagd door de inzet van de warmtepomp te beperken of te voorkomen. De warmtepompen nemen namelijk het overgrote deel van het energieverbruik van een WKO-systeem voor hun rekening. Dit kan op verschillende manieren (of een combinatie daarvan) worden bereikt:

Optie 1: Opslaan van warmte op een hoger temperatuurniveau, zodat de teruggewonnen warmte rechtstreeks inzetbaar is (of minder opgewaardeerd hoeft te worden, zodat de inzet van de warmtepomp wordt beperkt);

Optie 2: Verlagen van de benodigde aanvoertemperatuur van de te leveren warmte door gebruik te maken van lage temperatuur verwarmingssystemen (b.v. vloerverwarming of verwarming van de ventilatielucht in plaats van verwarming op hoge temperaturen via radiatoren). In dit geval blijft een warmtepomp nodig, tenzij ook optie 1 wordt doorgevoerd.

Middelhoge en hoge temperatuur opslag (MTO en HTO)

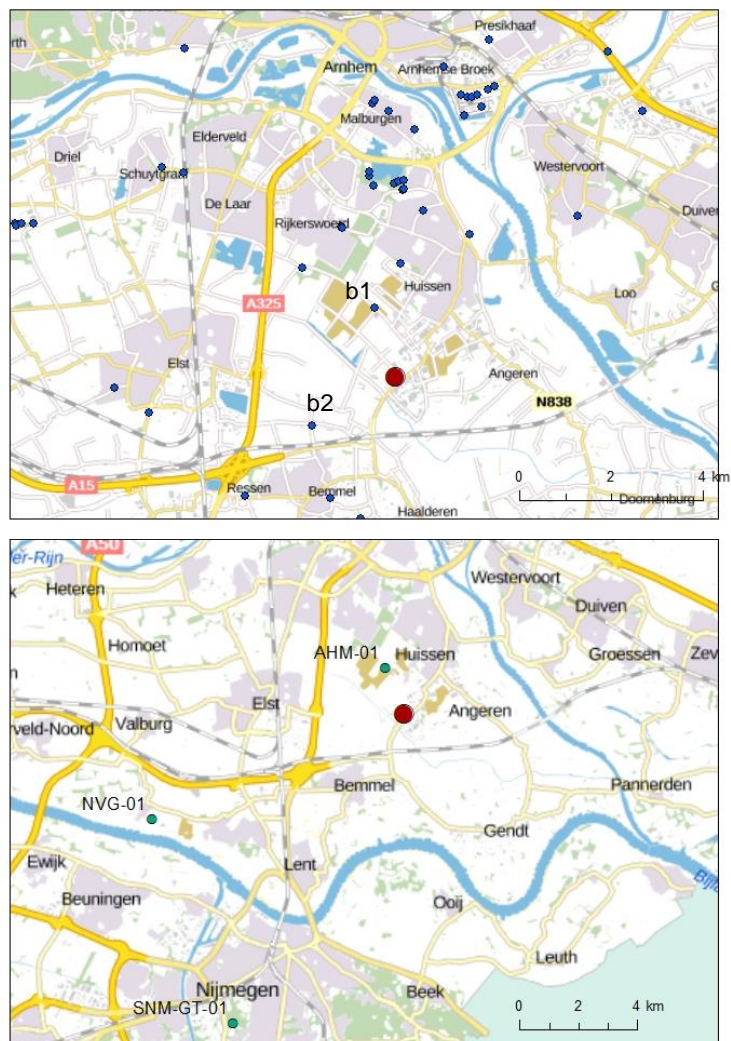
Als wordt gekozen voor optie 1 (of voor een combinatie van beide opties), dan is sprake van opslag van (rest)warmte met een hoger temperatuurniveau. Als de temperatuur van de opgeslagen warmte tussen de 25-60 °C ligt, dan is sprake van Middelhoge Temperatuur Opslag (MTO). Bij opslag van warmte met temperaturen boven de 60 °C is sprake van Hoge Temperatuur Opslag (HTO). MTO en HTO zijn geschikt voor de opslag van warmte uit duurzame bronnen (zoals zonnearmte of geothermische warmte) of restwarmte (uit de industrie, afvalverbrandingsinstallaties of warmtekrachtinstallaties) en kunnen goed worden gekoppeld aan warmtenetten. Bij MTO wordt soms gebruik gemaakt van dezelfde bodemlagen als bij lage temperatuur WKO-systemen. Bij HTO wordt meestal gebruik gemaakt van fijnzinnige bodemlagen op grotere dieptes (> 100 à 150 m diepte).

Er zijn op dit moment zes middelhoge (tot 50°C) temperatuur opslagsystemen gerealiseerd (Eindhoven, Harderwijk, Haarlem, Wageningen, Steenberg en Monster) en twee hoge temperatuur opslagsystemen (90 °C). Beide HTO-systemen (Utrecht en Zwammerdam) zijn, vanwege bedrijfseconomische redenen, niet meer in gebruik. Voor meer details wordt verwezen naar het rapport over Hoge Temperatuur Opslag uit het onderzoeksproject "Meer Met Bodemenergie" (Drijver, 2012).

2 Geologische haalbaarheid en locatiekeuze

Voor de analyse van de geschiktheid van de ondergrond is gebruikt gemaakt van de openbare datasets en modellen beschikbaar bij TNO. Voor deze studie betreft dit de openbare REGIS II hydrogeologische modellen (<https://www.dinoloket.nl/regis-ii-het-hydrogeologische-model>), die een dieptebereik hebben tot ~500 meter en de beschikbare ondiepe boordata op <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>. Voor dieptes groter dan ~500 meter is voornamelijk gebruik gemaakt van de openbare en beschikbare data uit boringen (<https://www.nlog.nl/data>) in combinatie met de openbare modellen (ThermoGIS V2: <https://www.thermogis.nl/> en DGM-diep V4 model: <https://www.nlog.nl/details-dgm-diep-v4-onshore>).

In samenspraak met de gemeente en tuinbouwgebied NEXTgarden is een mogelijke locatie voor een HTO bepaald. Deze locatie ligt nog niet vast, maar is in eerste instantie wel als uitgangspunt genomen voor de verdere ondergrondanalyse. Voor deze locatie (rode stip in Figuur 2.1) en omliggend gebied is de ondergrond bekeken op basis van modellen en de beschikbare data uit ondiepe en diepe boringen in omgeving (Figuur 2.1).



Figuur 2.1 Overzicht van het onderzoeksgebied met de locaties van boven: ondiepe boringen (blauwe punten; <300 meter) die de Formatie van Maassluis of dieper hebben aangeboord en onder: de 3 diepe boringen (groene punten) met einddiepte van ~700 meter (onder). De rode stip is de locatie voor de beoogde locatie voor HTO waarvoor de verdere berekeningen zijn uitgevoerd.

2.1 Beschouwing ondiepe geothermie (<1500 meter)

De ondergrond van gemeente Lingewaard en omgeving is onderzocht om de geschiktheid voor ondiep geothermie (<1500m) in te schatten, waarbij een beknopte analyse gedaan is op basis van modellen en de beperkte beschikbare data.

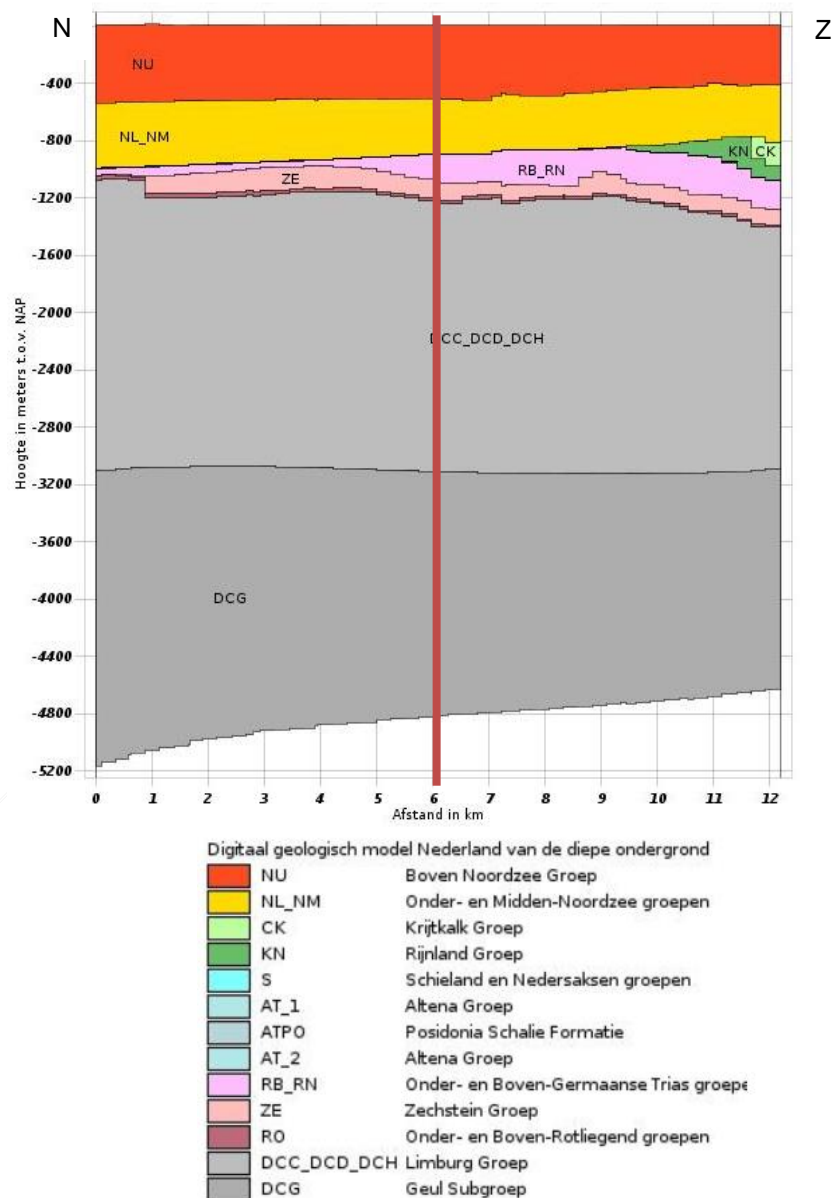
Een doorsnede door het diepe geologische model van de ondergrond van Nederland (DGM-diep V4 model) van Noord naar Zuid is gemaakt door het onderzoeksgebied (Figuur 2.2; locatie doorsnede in Figuur 2.3). Dit geologisch model beschrijft de ondergrond tot een diepte van 5-6 kilometer op hoofdniveau. De basis van de Boven Noordzee Groep (NU) komt zo goed als overeen met de basis van het Breda klei in het REGIS II model (Figuur 2.5). De Boven Noordzee groep is in eerste instantie niet interessant voor OGT aangezien het water een temperatuur van < 20 °C zal hebben. De Onder- en Midden Noordzee Groepen (NL_NM) is opgebouwd uit vele zandige en kleiige lagen. De verwachte totale dikte van de zanden is alleen te weinig voor potentie voor OGT. De Trias groep (RN_RB) bestaat uit enkele zanden en kleien. Ook voor de totale verwachte dikte van de zanden van de Trias zijn te klein voor geothermische potentie (<https://www.thermogis.nl/>) De dikte van de zanden van het Rotliegend is op deze locatie ook te dun. Hieronder liggen de Limburg groep en Geul subgroep die hier volledig bestaan uit slecht doorlatend gesteente bestaande uit (zandige) kleisteen, siltsteen en koollagen (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Geologische eenheden aanwezig in ondergrond van gemeente Lingewaard. Zie Figuur 2.2 voor schematische weergave van deze eenheden.

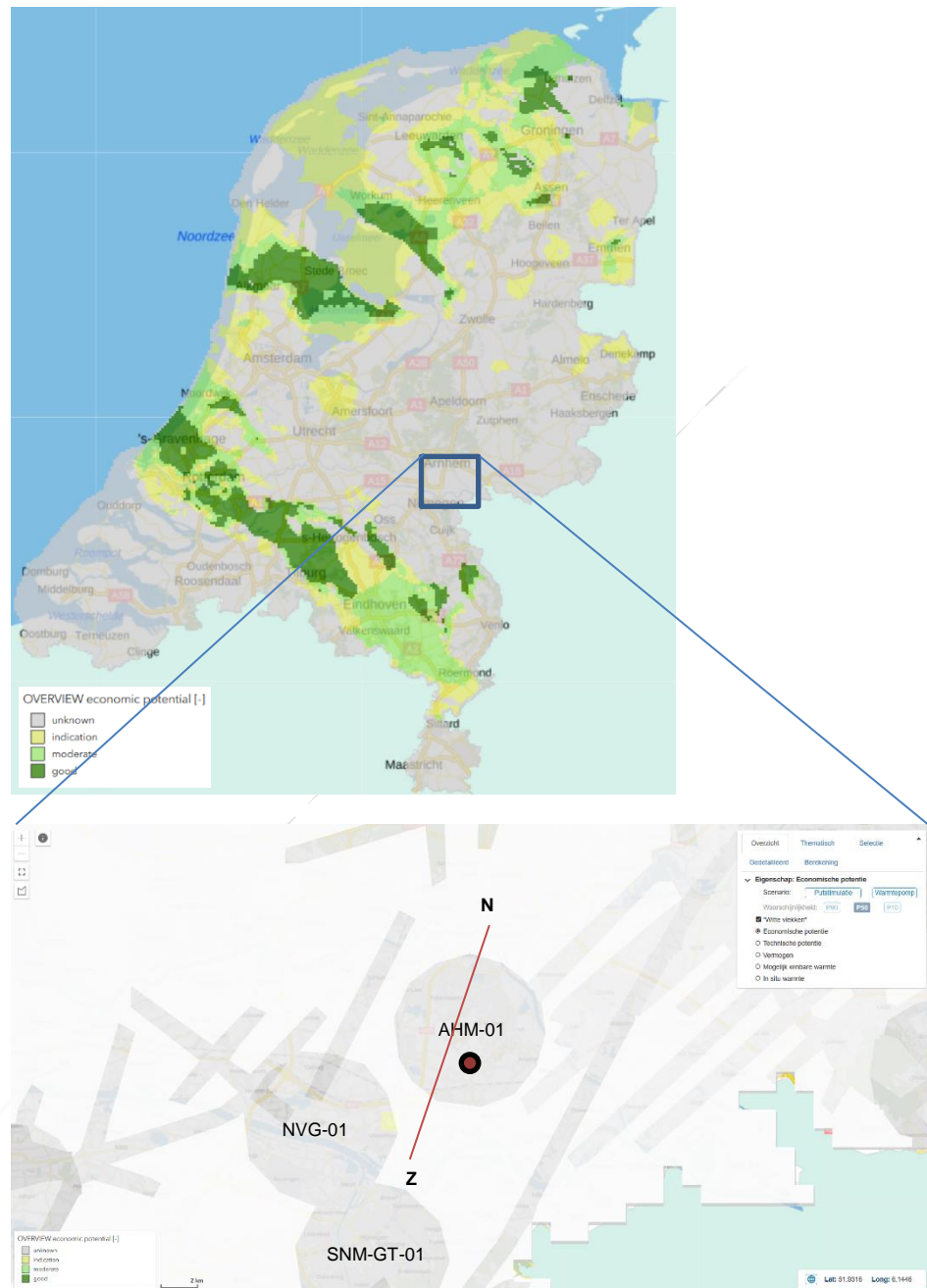
Geologische eenheid	Potentie OGT?
<u>Midden en Onder Noordzee Groep</u>	Totale dikte van mogelijke zanden te klein en verwachte doorlatendheid ook gering
<u>Rijnland Groep</u>	Geen potentiële doorlatende zanden aanwezig
<u>Trias Groepen</u>	Geen potentiële doorlatende zanden aanwezig
<u>Krijtkalk Groep/ Zechtstein Groep/Limburg Groep/Geul Subgroep</u>	Te diep en/of geen zandige aquifers aanwezig

De nieuwe uitkomsten van Themogisv2.0 laten ook zien dat er geen potentie is voor geothermie in gemeente Lingewaard en omgeving (grijs: beperkt tot geen potentieel; Figuur 2.3). In Figuur 2.3 is er ingezoomd in het onderzoeksgebied en is de zogenoemde "witte vlekken" kaart er overheen gelegd; hoe witter de kaart hoe minder data er beschikbaar is. Het blijkt dat er vrij weinig data aanwezig is, maar op basis van deze beschikbare data lijkt het gebied geen tot een zeer beperkt potentieel te hebben voor ondiepe geothermie:

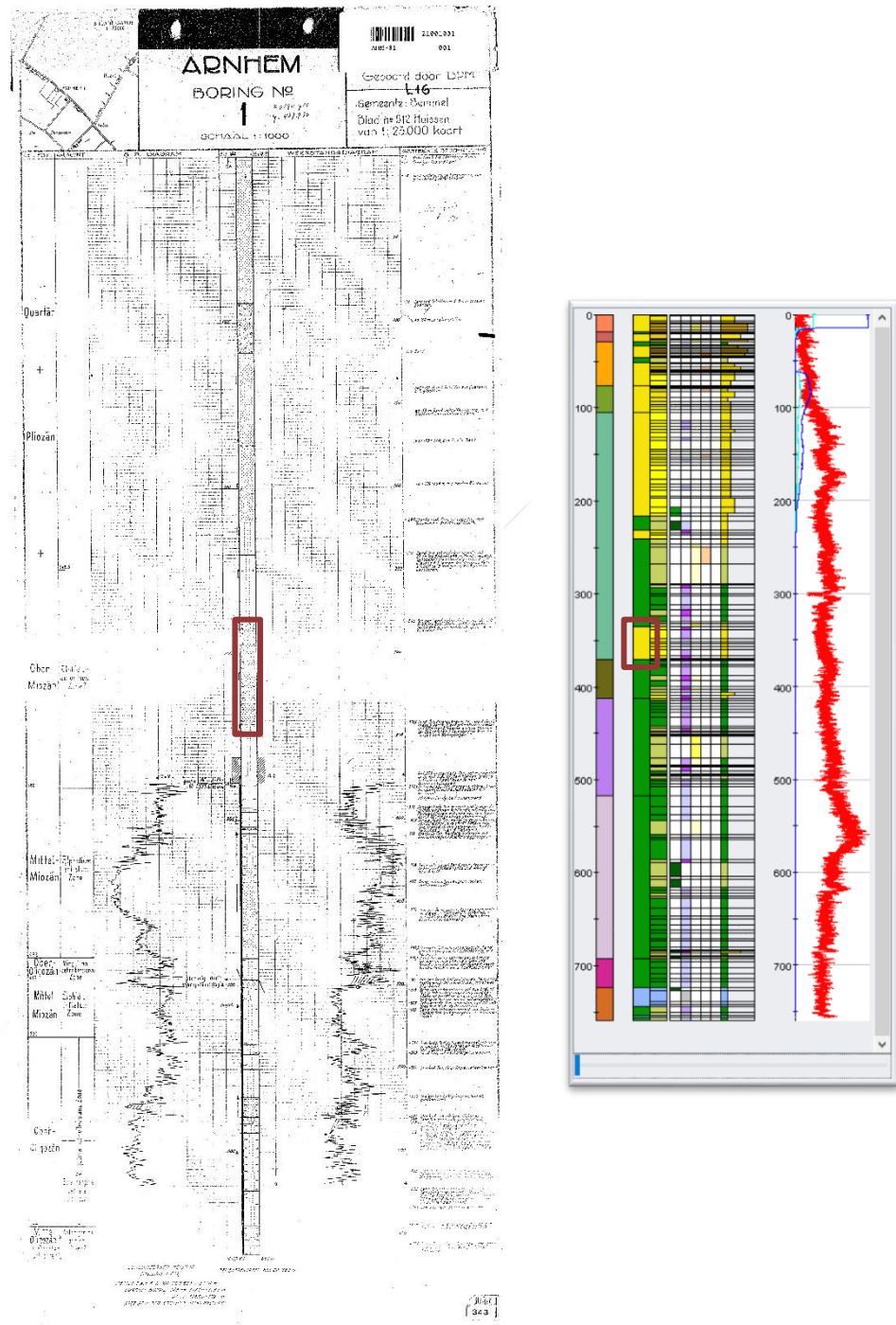
- De boring AHM-01 bereikt een diepte van 650 meter, die vanaf een diepte van 340 meter en dieper beschreven wordt als een sterk slibhoudend humeus fijn zand. Boring
- SNM-GT-01 heeft een diepte van 760 meter, waarbij het overgrootste interval van 360-760 m bestaat uit klei (Figuur 2.4: rechts).
- Boring NVG-01 heeft een grotere diepte bereikt (1277m). Echter, de boorbeschrijving laat ook hier voornamelijk kleiige eenheden zien op >500 meter.



Figuur 2.2 Doorsnede door het diepe geologische model (DGM diep 4.0 model). Basis NU in bovenstaand figuur komt zo goed als overeen met de basis van het REGIS II model (hier basis van Breda klei) in Figuur 2.5. De rode verticale lijn geeft de locatie van de beoogde locatie in Figuur 2.1 weer.



Figuur 2.3 Boven: Overzicht van de economische potentie voor geothermie op basis van modellen in ThermGIS V2. Onder: Ingezoomd overzicht op het onderzoeksgebied met de locatie van de doorsnede in Figuur 2.2, de drie beschikbare diepe boringen, de beoogde locatie voor HTO in gemeente Lingewaard (rode stip) en de “witte vlekken” kaart. Hoe witter de kleur hoe minder data er beschikbaar is in nabije omgeving, gebaseerd op seismiek (grijze lijnen) en boringen (ronde grijze vlekken). Zie tekst voor meer gedetailleerde uitleg.



Figuur 2.4 Beschrijving en interpretaties van twee nabijgelegen boringen. Links: De boring AHM-01 met een diepte van 662 meter. Verschillende kleiige zanden zijn op dieptes > 300 meter geïnterpreteerd (bijvoorbeeld rood omlijnd), maar met de verwachting dat deze te kleiig zullen zijn voor HTO of geothermie/ Rechts: De boring SNM-GT-01 met een dieptebereik tot 759 meter. Geel is zand (z) en groen is klei (k). Het rode omlijnde zand is een dunne laag uiterst fijn zand aan de basis van de Formatie van Breda. Tussen 350-750 meter is voornamelijk klei of kleiige zanden met lage verwachte potentie voor HTO of geothermie.

2.2 Locatie scan HTO

2.2.1 Beschrijving ondergrond

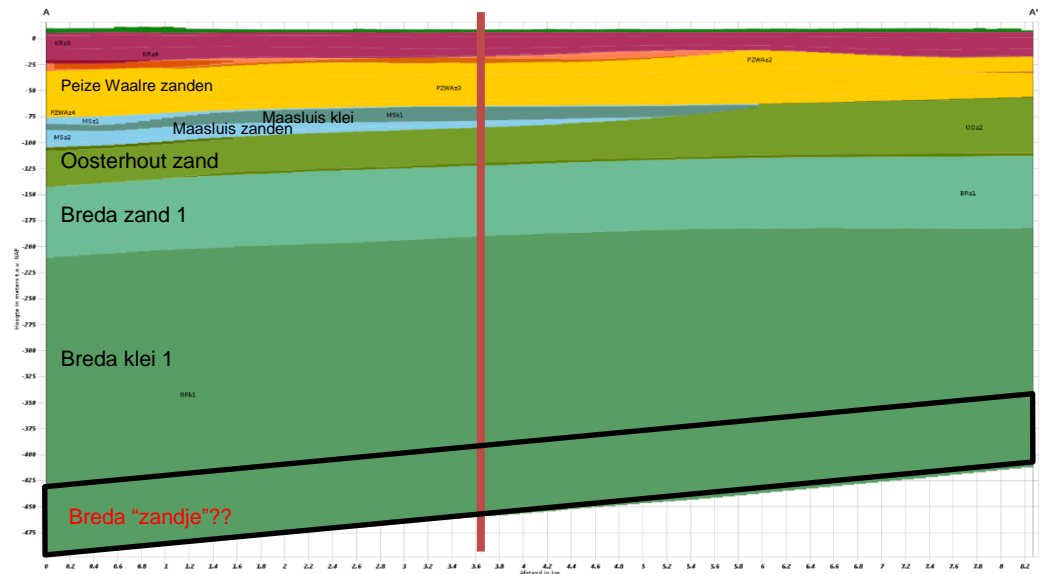
In de omgeving van gemeente Lingewaard, waarin het tuingebouwgebied NEXTgarden is gelegen, bestaat de ondergrond uit een opeenvolging van verschillende pakketten (Tabel 2.2). Deze opeenvolging is duidelijk zichtbaar in de doorsnede door het onderzoeksgebied van Noord (A) naar Zuid (A') in Figuur 2.5. Voor deze studie zijn we geïnteresseerd in de watervoerende zandlagen aanwezig in de Formatie van Maassluis, Oosterhout en Breda.

Tabel 2.2 Overzicht van de verwachte geologische eenheden voor de beoogde locatie op basis van REGIS II modellen.

Geologische eenheid	Afkorting	Opmerking
Waalre klei 1	Wak1	Afsluitende laag
Peize-Waalre zanden	PzWaz	Watervoerende laag
Maassluis zand 1	MSz2	Watervoerende laag
Maassluis klei 1	MSk2	Afsluitende laag
<u>Maassluis zanden</u>	MSz4	Watervoerende laag
<u>Oosterhout zand</u>	OOz2	Watervoerende laag
Breda zand 1	Brz1	Watervoerende laag
Breda klei 1	Brk1	Afsluitende laag
<u>Breda "zandje" (?)</u>		Watervoerende laag: aan de basis van Breda klei 1 zijn er enkele zandlichamen aanwezig. Deze zijn niet als aparte laag geïnterpreteerd in het REGIS II model.

Uit de modellen (Figuur 2.2) blijkt dat voor het onderzoeksgebied de volgende twee geologische eenheden interessant kunnen zijn voor HTO, waarbij we op zoek zijn naar de combinatie van een zandige aquifer met een afsluitende kleilaag:

1. Ondiepe optie: De Maassluis en Oosterhout zanden in combinatie met de Maassluis klei als afsluitende laag.
2. Diepere optie: Uit boringen blijkt dat er aan de basis van het Breda klei 1 nog een zandige laag is afgezet (Breda "zandje"), waarbij Breda klei 1 dan als afsluitende laag geldt.



Figuur 2.5 Doorsnede (REGIS II model) door het beoogde gebied voor het plaatsen van HTO van A (noord) naar A' (zuid). De rode verticale lijn geeft de locatie van de beoogde locatie in Figuur 2.1 weer.

2.2.2 Beschrijving doelpakketten ondergrond

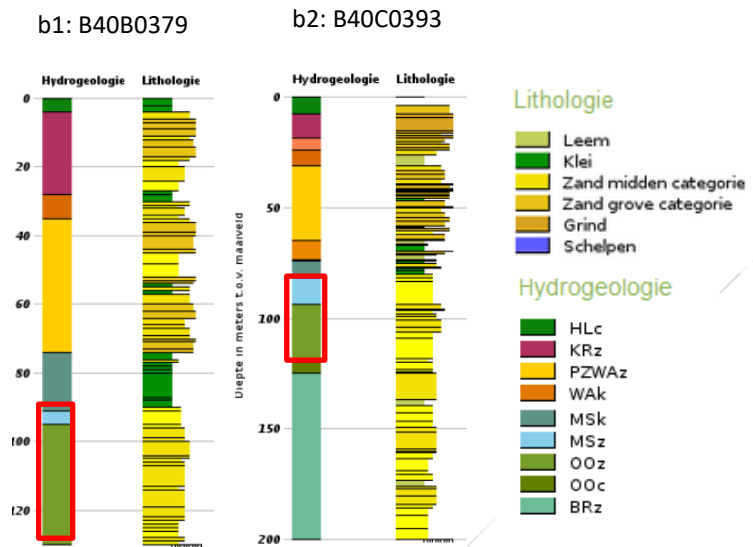
2.2.2.1 Optie 1: Maassluis en Oosterhout zanden

Om in meer detail te kijken naar de opbouw van de ondergrond zijn er verschillende boringen in omgeving bekeken:

- Boring b1: B40B0379 ligt op 1.5 kilometer afstand van de beoogde locatie. Deze boring laat zien dat de top van de Maassluis zanden (MSz) op een diepte van 91 meter diepte ligt met een dikte van de Maassluis klei (MSk) van 17 meter (Figuur 2.1).
- Boring b2: B40C0393 waar de top van de Maassluis op 82 meter ligt en de afsluitende laag hier bestaat uit de Maassluis klei (8 meter dik) in combinatie met Waalre klei (10 meter dik) (Figuur 2.1).

Over het algemeen is deze diepte voor een HTO vrij ondiep. Om de effecten van het opslaan van hoge temperaturen op de ondergrond te beperken is het eigenlijk gewenst om een HTO-systeem op wat grotere diepte te plaatsen. De doorlatendheid van deze ondiep gelegen Maassluis en Oosterhout zanden op basis van het REGIS II model wordt geschat op ~7.5 meter per dag. De doorlatendheid is een belangrijke eigenschap maar is vrij onzeker en blijft vrij onzeker totdat er een

proefboring wordt uitgevoerd. Ook uit de REGIS II modellen blijkt dat de onzekerheid voor de doorlatendheid vrij groot is (Tabel 2.3).



Figuur 2.6 Boring met beschreven lithologie en bijbehorende geïnterpreteerde hydrogeologie (REGIS II). De locaties van deze boringen zijn weergegeven in Figuur 2.1. De Maassluis en Oosterhout zanden zijn aangegeven met de rode omlijning.

2.2.2.2 Optie 2: Breda “zandje”

De formatie van Breda is afgezet in een marien milieu en bestaat uit zeer tot uiterst fijne zanden die naar beneden steeds kleiiger en ziltiger worden. Het Breda zand 1 bestaat nog uit een schone klei-arme zand, waarna hoe dieper men komt meer lemige en kleiige lagen zijn te vinden. Onder het Breda liggen verwachten we enkel zandige kleien met een lage doorlatendheid.

- In de boring SNM-GT-01 in Nijmegen (Figuur 2.4) is er aan de basis van het Breda klei (rood omlijnt) (340-370m) nog een zandlaag aanwezig. De boorbeschrijving geeft aan dat dit om een uiterst fijn matig siltige zand gaat, waardoor verwacht wordt dat deze laag een lage doorlatendheid heeft.
- De AHM-01 boring in Figuur 2.4 laat ook een zandige eenheid zien aan de basis van de Breda klei, die beknopt beschreven is als zand, kleiig, grind en schelpresten. Er is helaas vrij weinig informatie beschikbaar behalve deze oude boorlog. De kans dat dit zand een potentie heeft om water op te slaan, is gering.

Op basis van deze informatie wordt er een lage doorlatendheid van het mogelijk aanwezige Breda “zandje” verwacht. Op basis van de modellen en data uit boringen nemen we een doorlatendheid van 2 meter per dag (m/d) aan met een grote onzekerheid (Tabel 2.3). De doorlatendheid van 2 m/d zou al een vrij hoge inschatting kunnen zijn aangezien op basis van putproefmetingen bij de HTO van NIOO in Wageningen (NIOO) de doorlatendheid in de eerste zandige eenheid van de Formatie van Breda is geschat op 0,3 m/d. Het “Breda zandje” waar het hierover gaat bevindt zich in de eerste kleiige eenheid van de Formatie van Breda. Het gaat hier dus om een andere zandige laag en hierover is bij NIOO geen informatie verkregen. Vanwege de zeer lage doorlatendheid in de eerste zandige eenheid is de verwachting dat de doorlatendheid van een fijnzandige laag in de eerste kleiige eenheid ook zeer laag zal zijn. Dit is echter niet meer dan een inschatting.

Tabel 2.3 De ingeschatte doorlatendheid en dikte van de Maassluis en Oosterhout zanden tezamen en Breda "zandje".

Zandige eenheid	Doorlatendheid (m/dag) P90 – P50 – P10 (op basis van REGIS- modellen)	Dikte (m)
Maassluis en Oosterhout zanden	2.4 – 7.5 – 12.6	40 m
Breda "zandje"	0.01 – 2 – 7.5	~ 60 m

3 Technische en economische haalbaarheid

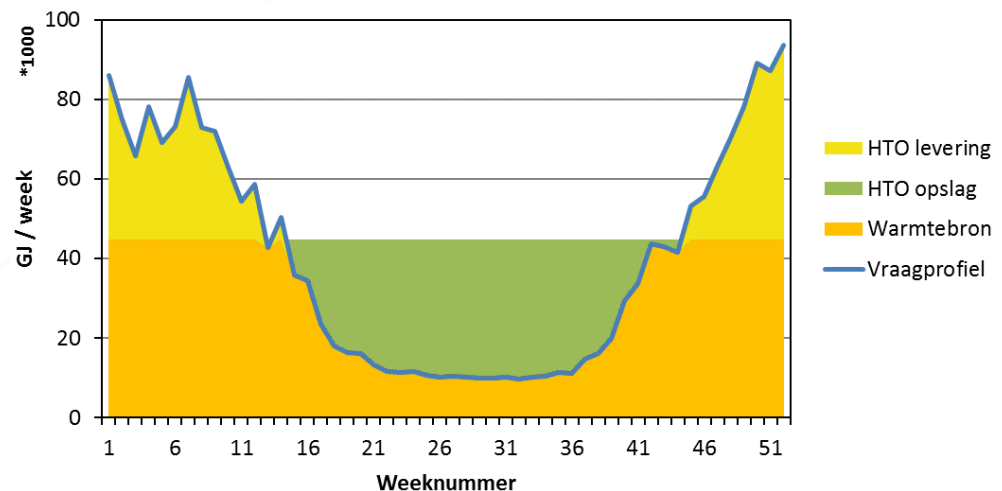
In dit hoofdstuk wordt de haalbaarheid van een HTO besproken vanuit een technisch en economisch oogpunt. Eerdere HTO-projecten en haalbaarheidsstudies hebben uitgewezen wat de belangrijkste voorwaarden zijn, deze worden hier kort geïntroduceerd en in de rest van het hoofdstuk verder besproken voor het onderzochte gebied.

Lage marginale kosten warmte

Een HTO kent hogere investeringskosten dan een conventionele WKO die ondieper ligt (<200 meter) en lagere temperaturen opslaat (<25 °C). Ook treden verliezen op in de ondergrond, zodat niet alle geïnjecteerde warmte kan worden teruggewonnen. Om een HTO-project financieel aantrekkelijk te maken, moeten één of meer warmtebronnen aanwezig zijn met lage marginale kosten, zoals restwarmte van industrie of elektriciteitsproductie, zonnewarmte of geothermie.

Significant seizoenseffect warmtevraag en aanbod

Een significant seizoenseffect moet aanwezig zijn voor een succesvolle business case. De HTO kan worden opgeladen in de zomer en worden gebruikt in de winter (Figuur 3.1). De warmtevraag voor het verwarmen van huizen en gebouwen in een warmtenet heeft een typische 'badkuip' vorm; de warmtevraag is in de winter veel groter dan in de zomer. Voor tuinbouw is dit soortgelijk, al kan het vraag- en aanbodprofiel anders zijn, afhankelijk van het geteelde gewas.



Figuur 3.1 Typische 'badkuip'-vorm voor warmtevraag en -aanbod in een warmtenet. Schematisch is weergegeven hoe een HTO kan worden gevuld in de zomer (HTO-opslag) en gebruikt in de winter voor warmtelevering (HTO-levering).

Bodemgeschiktheid

Een geschikte zandige aquifer is nodig waarin de warmte kan worden opgeslagen. De diepte, dikte en met name de doorlatendheid bepalen de geschiktheid. De aanwezigheid van een dikke afsluitende laag (>15 m) met een lage verticale doorlatendheid bovenop de aquifer en een niet té hoge doorlatendheid van het aquifer verhoogt het rendement; veel grondwaterstroming verlaagt het rendement.

Temperatuur

Twee aspecten zijn hier van belang. 1) Het verschil tussen injectie- en productietemperatuur is van belang in zowel het laadseizoen (zomer) als productieseizoen (winter). Het verschil tussen de productietemperatuur uit de warme put en de injectietemperatuur in de koude put bepaalt, samen met het debiet, het vermogen van het systeem. De retourtemperatuur van het warmtenet is van groot belang omdat dit de injectietemperatuur (in koude put) in de winter beïnvloedt.

In de winter is ook de afkaptemperatuur heel erg belangrijk. Dit is de minimale temperatuur die de HTO tijdens de winter moet kunnen leveren om van waarde te zijn voor het warmtenet. Als de temperatuur in de warme put(ten) onder deze waarde daalt, zal de HTO doorgaans niet kunnen worden ingezet. Echter, in combinatie met een warmtepomp kan de temperatuur worden opgevoerd zodat de HTO toch warmte kan leveren.

Schaal

De schaal van de HTO moet groot genoeg zijn. Een vuistregel voor de vraagkant is een thermisch vermogen van minimaal 5-10 MWth en 2500 draaiuren per jaar. Bij kleinere schaal zullen verliezen toenemen en is het lastig om investeringskosten terug te verdienen. Ditzelfde geldt voor een systeem dat weinig draaiuren heeft.

Opslagrendement

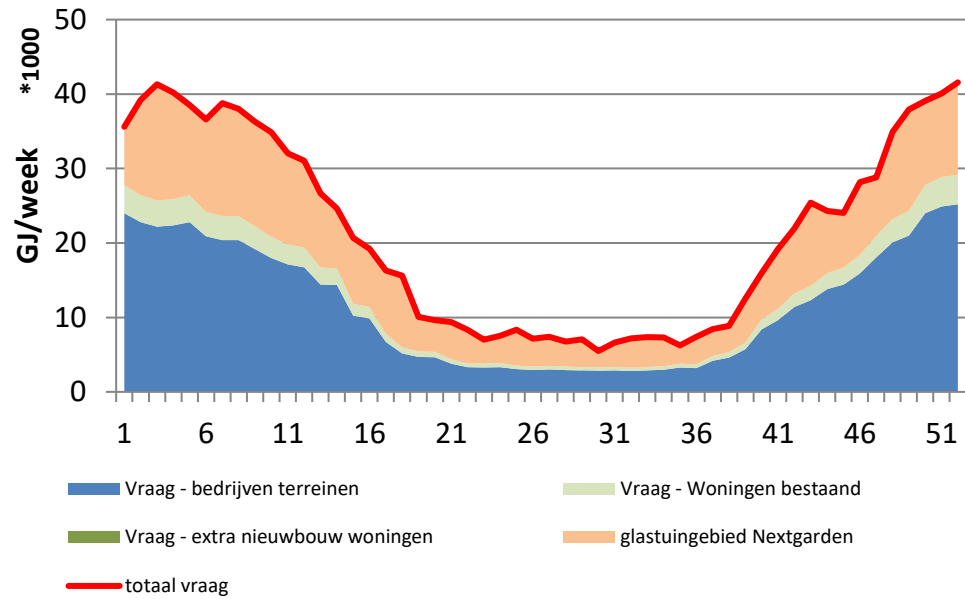
Het opslagrendement is de verhouding tussen de opgeslagen warmte en de nuttig geleverde warmte. Het opslagrendement van een gemiddeld HTO-systeem ligt tussen de 50 en 70%, maar 75 tot 80% is mogelijk. Het rendement neemt doorgaans toe gedurende de eerste paar cycli van opslag en terugwinning van warmte doordat het reservoir opwarmt. Om lagere opslagrendementen in de eerste jaren te voorkomen kan worden overwogen om in het eerste jaar extra veel warmte op te slaan (Sauty et al., 1982).

3.1 Energetische uitgangspunten warmte aanbod en vraag

Zoals gesteld is het noodzakelijk om de schaal van een mogelijk systeem in te schatten dat inpasbaar is in het gebied. Ook is het van belang om het seizoenseffect van vraag en aanbod in te schatten.

Vraag

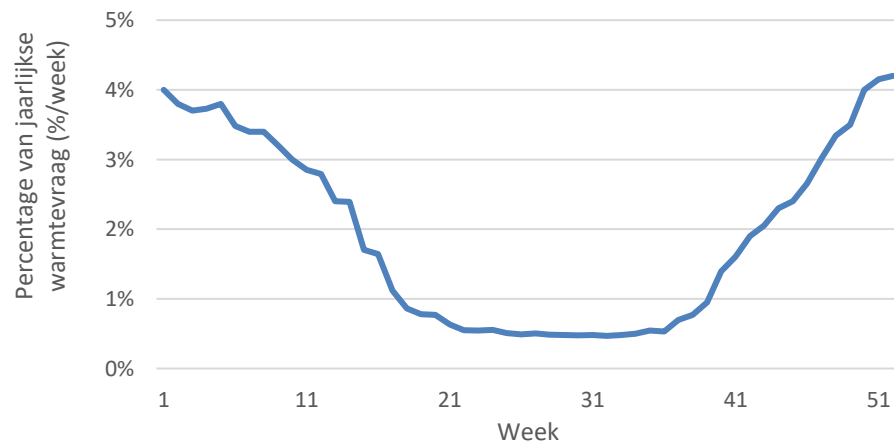
We hebben het jaarlijkse profiel van drie groepen warmtevragers geschat: 1) tuinbouwgebied NEXTgarden, 2) bedrijventerreinen en 3) woningen die mogelijk kunnen worden aangesloten op een nog te ontwikkelen warmtenet.



Figuur 3.2 Geschatte vraagprofiel voor het onderzoeksgebied.

Het vraagprofiel voor het glastuingebied in Figuur 3.2 is bepaald op basis van bestaande gegevens van afgelopen jaren van het tuinbouwgebied. Een schatting voor het warmtegebruik voor de huishoudens (woningen) is uitgegaan van ~2700 bestaande en ~500 nieuwbouwwoningen. Het verbruik van deze huishoudens is geschat op respectievelijk 35 GJ/jaar en 9 GJ/ jaar. Dit jaarlijks verbruik is met behulp van een standaard jaarprofiel ('badkuiprofiel' in Figuur 3.3) over de weken verdeeld. De vraag van nieuwbouwwoningen is nauwelijks te zien in de grafiek door de lage jaarlijkse warmtevraag van dit type woningen en door het relatief beperkte aantal nieuwbouwwoningen dat is aangenomen (500).

De warmtevraag van de bedrijven is geschat op basis van 100 hectare bedrijventerrein met een gemiddelde warmtevraag van 6000 GJ/hectare. Dit getal is een ruwe schatting gebaseerd op gemiddelde warmtevraag van bedrijven in de provincie Gelderland. RVO heeft deze data gepubliceerd. Ook deze jaarvraag is verdeeld over de weken door gebruikt te maken van een standaard jaarprofiel (Figuur 3.3).



Figuur 3.3 Aangenomen jaarprofiel om jaarlijkse warmtevraag te vertalen naar wekelijkse warmtevraag.

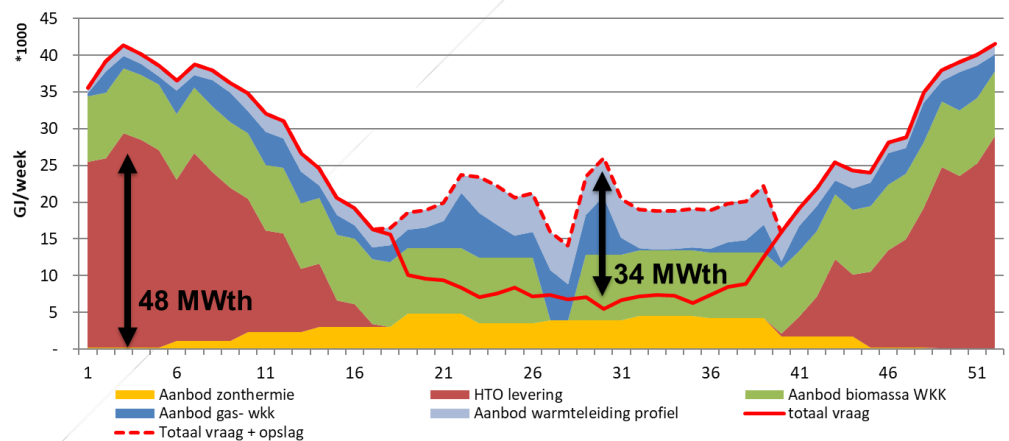


Aanbod

De aanname is dat de warmtevraag in de toekomst kan worden ingevuld door een aantal bronnen:

- Bio-WKK van 10 MWth
- Gasgestookte WKK
- Zonthermie centrale van 10 hectare (opbrengst 1.3 GJ/m²/jaar)
- Warmteleiding van 10 MWth (uitbreiding van warmtenet Arnhem, Duiven, Westervoort)

Op basis van deze bronnen kan het vraagprofiel worden ingevuld en kan worden ingeschat wanneer het technisch gezien wenselijk is om de HTO te laden (verschil tussen rode lijn en rode stippellijn in Figuur 3.4) en wanneer de HTO kan worden ingezet om in een deel van de warmtevraag te voorzien (rode vlak in Figuur 3.4). Bij deze analyse is geen rekening gehouden met de economische voorrang van bepaalde warmtebronnen bij het leveren van de warmte voor gebruik of voor opslag.



Figuur 3.4 Geschatte inzet van warmtebronnen ter invulling van toekomstige warmtevraag.

Deze analyse maakt het mogelijk om een schatting te geven van het gewenste vermogen van de HTO. De grafiek laat zien dat in het ontladseizoen (winter) een vermogen tot 48 MWth inpasbaar zou kunnen zijn. Ook laat het zien dat het mogelijk thermisch vermogen voor het laden van de HTO (zomer) kan oplopen tot 34 MWth. Goed om te vermelden is dat deze getallen voor nu even los gezien moeten worden; een 34 MWth systeem qua laadvermogen zal niet snel in de winter lang 48MWth aan warmte kunnen leveren.

Het gemiddelde benodigde vermogen over het jaar heen is lager en bevindt zich rond de 20 MWth. Gezien het feit dat deze schatting ook op groei van de warmtevraag is gebaseerd, lijkt het verstandig om voor de grootte van de HTO uit te gaan van een opgesteld maximaal vermogen van 10-15 MWth. Hiervoor geldt wel dat het injectievermogen doorgaans hoger is dan het productievermogen (zie details in sectie 3.4)

3.2 Uitvoeringsvarianten

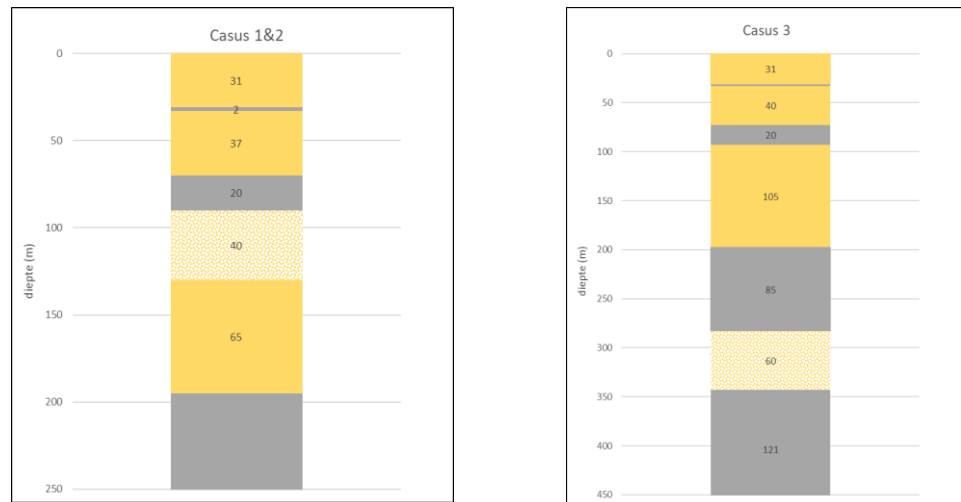
Op basis van de uitkomsten van de ondergrondse geschiktheid zullen er voor de voorgestelde 2 ondiepe en diepe optie in totaal drie uitvoeringsvarianten doorgerekend worden (Tabel 3.1; Figuur 3.5). Eerder uitgevoerde berekeningen

binnen deze studie lieten zien dat bij het opslaan van 95 °C in de ondiepe lagen, de uitstraling van warmte naar bovenliggende lagen vrij/te hoog zal zijn. Ook op basis van eerder onderzoek, dat is uitgevoerd in het kader van het onderzoeksproject Meer Met Bodemenergie (Drijver, 2012) verwachten we dat de uitstraling naar bovenliggende lagen bij het opslaan van hoge temperaturen van ~95 °C (met een verwachte dikte van de afsluitende laag van 15-20 meter) op deze beperkte diepte van de Maassluis en Oosterhout zanden, te groot zal zijn. Daarom is er gekeken naar het opslaan van lagere temperaturen (variant 1: 60 °C en variant 2: 45 °C). Om de gewenste temperaturen te behalen zal de teruggewonnen warmte met behulp van een warmtepomp moeten worden opgewaardeerd. Voor de derde variant is toch, ook al wordt er een lage doorlatendheid verwacht, de technische en economische haalbaarheid ingeschat voor het opslaan van water met 95 °C in het Breda “zandje”. Hiervoor zijn relatief optimistische aannames gemaakt voor doorlatendheid en het daaraan gekoppelde debiet dat kan worden behaald (zie volgende paragraaf).

Om een HTO-systeem met een leveringsvermogen van ~10-15 MWth te creëren zijn er meerdere warme en koude putten nodig. Daarbij zijn er meer koude dan warme putten nodig, aangezien de viscositeit van water bij hogere temperatuur vele malen lager is dan bij koud water, dat betekent dat het moeilijker is om koud water te onttrekken of injecteren in vergelijking met warm water. En aangezien dezelfde hoeveelheid water moet worden (bijvoorbeeld in winter) geproduceerd uit de warme putten en na afkoelen geïnjecteerd moet worden in de koude putten, zijn er meer koude dan warme putten nodig.

Tabel 3.1 Overzicht van de 3 varianten waarvoor de technische en economische haalbaarheid is doorgerekend.

Variant	Diepte (m)	Temperatuur productie/injectie (°C)	Debiet per warme/koude bron (m3/uur)	Debiet totaal (m3/uur)
1	Maassluis en Oosterhout zanden	60/15	90/54	270
2	Maassluis en Oosterhout zanden	45/10	75/45	250
3	Breda “zandje”	95/45	60/36	160



Figuur 3.5 Verticale kolom met opbouw van de verwachte geologische eenheden op de beoogde locatie op basis van REGIS II modellen voor variant 1 en 2 (links) en variant 2 (rechts). Deze opbouw wordt gebruikt als input voor de thermische modelleringen.

3.3 Voorlopig putontwerp en realisatie

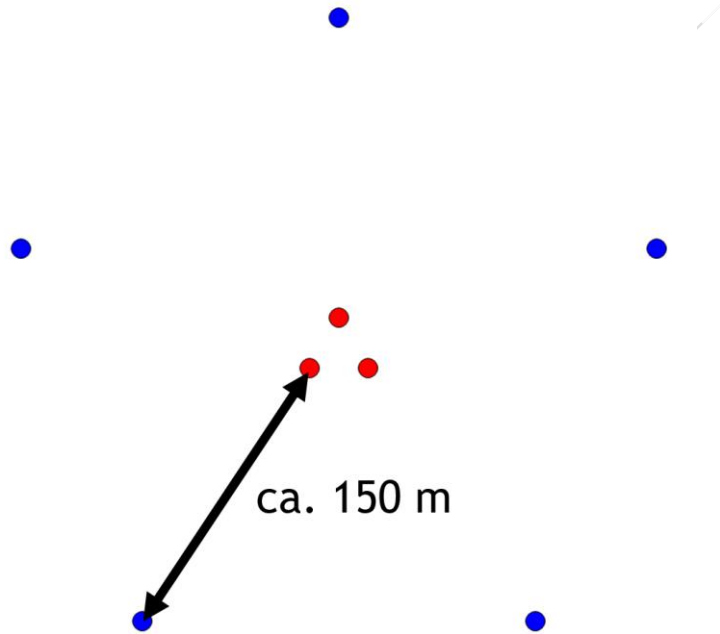
Opslag 95 °C

Als warmte met een temperatuur van 95 °C wordt opgeslagen, dan zal de temperatuur van het geproduceerde water (als er tussen de injectie en het terugwinnen weinig tijd zit) in eerste instantie ook ongeveer 95 °C zijn. Voor de retourtemperatuur van het water in de koude bron is 40 °C aangenomen. Om een maximaal vermogen van 10 MW te behalen, is bij het maximale temperatuurverschil van $(95-40 =) 55$ °C een debiet van 160 m³/uur nodig. Hierbij moet worden opgemerkt, dat het vermogen van de warmtelevering gedurende de periode van warmtelevering aanzienlijk zal dalen, vanwege een dalende temperatuur van het onttrokken water. Bij de afkaptemperatuur van 65 °C is het vermogen bij 160 m³/uur en dezelfde retourtemperatuur van 40 °C nog maar 4,5 MW.

Voor deze opslagtemperatuur wordt uitgegaan van gebruik van het Breda “zandje” in de eerste kleiige eenheid van de Formatie van Breda (diepe optie 2). Bij een gemiddelde doorlatendheid van 2 m/d en een filterlengte van 60 m is het maximale debiet van een warme bron 65 m³/uur en van een koude bron 35 m³/uur. Dat betekent, dat voor een HTO met een capaciteit van 160 m³/uur 3 warme bronnen en 5 koude bronnen nodig zijn.

Bij HTO-systemen bestaande uit 3 warme bronnen en 5 koude bronnen, wordt er meestal voor gekozen om de koude bronnen om de warme bronnen heen te plaatsen. Zodoende kan een deel van de warmteverliezen uit de warme bronnen via de koude bronnen worden teruggewonnen. Daarnaast is rond de “koude bronnen” ook sprake van een hogere temperatuur dan de natuurlijke temperatuur in het opslagpakket. Door de koude bronnen om de warme bronnen heen te plaatsen ontstaat rond de warme bronnen een zone met een verhoogde achtergrondtemperatuur, waardoor de warmteverliezen uit de opslag afnemen (zie b.v. Drijver et al., 2012). De afstand tussen de warme bronnen en de koude bronnen is in dit scenario ongeveer 150 m. Een schematische weergave van de bronconfiguratie is weergegeven in Figuur 3.6.

Om een beeld te geven van de invloed van de onzekerheid over de doorlatendheid, is het maximale debiet ook bepaald voor een veel lagere waarde van het gemiddelde doorlatendheid van 0,3 m/d (zie paragraaf 2.2.2.2). In dat geval bedraagt het maximale debiet van een warme bron ongeveer 10 m³/uur en van een koude bron ongeveer 5 m³/uur. Dat betekent dat voor een systeem met een maximaal debiet van 160 m³/uur 16 warme bronnen en 32 koude bronnen nodig zouden zijn. De investeringskosten worden daarmee zodanig hoog, dat deze situatie niet verder is uitgewerkt.



Figuur 3.6 Schematische weergave van de meest optimale bronconfiguratie voor de HTO (95°C) in de Formatie van Breda (scenario met een doorlatendheid van 2 m/d). Op basis van de inpassingsmogelijkheden in het terrein kan het nodig zijn om deze bronconfiguratie aan te passen.

Opslag 60 °C

Ook hier is uitgegaan van een bronconfiguratie bestaande uit 3 warme bronnen en 5 koude bronnen. De bronfilters worden in dit scenario geplaatst in de Maassluis en Oosterhout zanden (ondiepe optie). Het maximale debiet van de HTO is in dit geval circa 270 m³/uur. Ook in dit geval zal het vermogen van de warmtelevering gedurende de periode van warmtelevering aanzienlijk dalen, vanwege een dalende temperatuur van het onttrokken water.

Voor de bronconfiguratie wordt verwezen naar Figuur 3.6, waarbij moet worden opgemerkt, dat de gewenste afstand tussen de warme en koude bronnen in dit scenario circa 260 m is.

Opslag 45 °C

Ook in dit scenario worden de bronfilters geplaatst in de Maassluis en Oosterhout zanden (ondiepe optie) en is uitgegaan van een bronconfiguratie bestaande uit 3 warme bronnen en 5 koude bronnen. Het maximale debiet van de HTO is in dit geval circa 250 m³/uur. Ook in dit geval zal het vermogen van de warmtelevering gedurende de periode van warmtelevering aanzienlijk dalen, vanwege een dalende

temperatuur van het onttrokken water. Voor de bronconfiguratie wordt verwezen naar Figuur 3.6, waarbij moet worden opgemerkt, dat de gewenste afstand tussen de warme en koude bronnen in dit scenario circa 240 m is.

3.4 Thermische berekeningen

Het is belangrijk om de warmte uitstraling in de ondergrond door het injecteren van warm (en ook koud) water te analyseren om verschillende redenen. Ten eerste, het warmteverlies naar de omgeving en bovenliggende lagen heeft invloed op het rendement van het HTO-systeem. Ten tweede, de uitstraling naar bovenliggende lagen kan grote invloed hebben op de mogelijke zoetwater dragende pakketten. Door het verhogen van de temperatuur van het water wordt de dichtheid lager in vergelijking met het omliggende aquifer water, en zal het warmere water de neiging hebben om omhoog te drijven. De mate van opdrijving is vooral afhankelijk van de doorlatendheid en de injectietemperatuur.

Om een inschatting te krijgen van de thermische effecten op de ondergrond en op het rendement zijn er 3D modellen gedraaid met behulp van de intern aanwezige TNO-software "DoubletCalc 3D". Deze software is ontwikkeld om de temperatuur ontwikkelingen met verloop van tijd te modelleren voor elke mogelijke, putconfiguratie.

Voor deze modellen zijn verschillende aannames gemaakt op o.a. basis van aangeleverde gegevens van de Gemeente Lingewaard en tuinbouwgebied NEXTgarden, buiten de al voorgenoemde aannames in Tabel 3.1, zoals:

- Opslagtemperatuur: 45°, 60 °C en 95 °C
- Gewenste aanvoertemperatuur: 85 °C
- Retourtemperatuur distributienet 40 °C
- Minimaal te leveren temperatuur aan distributienet: 65 °C
- 15 jaar lang een statisch profiel van: 5 maanden laden, 1 maand rust, 5 maanden ontladen, 1 maand rust.

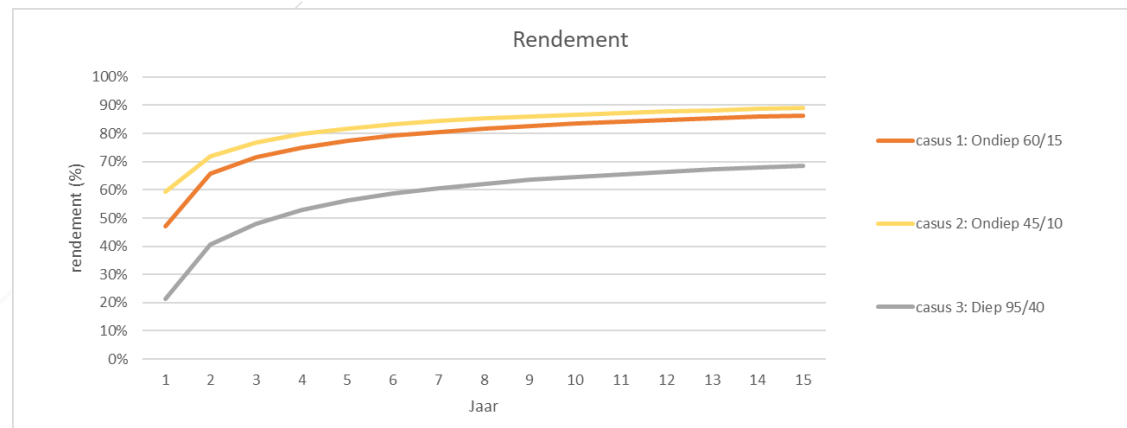
Warmte-uitstraling:

De gemodelleerde onttrekkingstemperaturen (gele lijn) voor variant 1, 2 en 3 over de jaren heen zijn weergegeven in Figuur 3.8. Dit profiel laat zien dat de eerste paar jaar de onttrekkingstemperatuur afneemt tijdens de winterperiode waarin de HTO gebruikt wordt voor warmtelevering. Doordat er elk jaar dezelfde hoeveelheid warmte wordt geïnjecteerd, maar niet alles kan worden geproduceerd, warmt de ondergrond over de jaren langzaam op en zal het verschil in onttrekkingstemperatuur in maand 1 en 5 kleiner worden (gele lijn in Figuur 3.8). De reden dat de temperatuur in de 1^e productiemaand (winter) lager is dan de injectietemperatuur (45, 60 of 95 °C) komt doordat tussen het laden en ontladen van de HTO een maand "rust" is aangenomen, waardoor de temperatuur van het opgewarmde water al afgenomen is voordat productie start. Bijvoorbeeld voor variant 1 is de verwachte temperatuur van het warme water ~55 °C (injectietemperatuur 60 °C) aan het begin van de productieperiode in maand 1 van jaar 1, maar in maand 5 van hetzelfde jaar zakt deze naar ~20 °C (gele lijn in Figuur 3.8a). Voor de 95 °C variant zorgen de warmteverliezen ervoor dat in jaar 1 de productietemperatuur van het water in de 1^e maand nog ~80°C en in de 5^e maand gezakt is naar 30 °C. Na 5 of 6 jaar heeft het HTO-systeem een evenwicht bereikt en ziet het temperatuurprofiel er elk jaar hetzelfde uit. De groene lijn geeft de minimale temperatuur weer die nuttig gebruikt kan worden, de afkaptemperatuur.

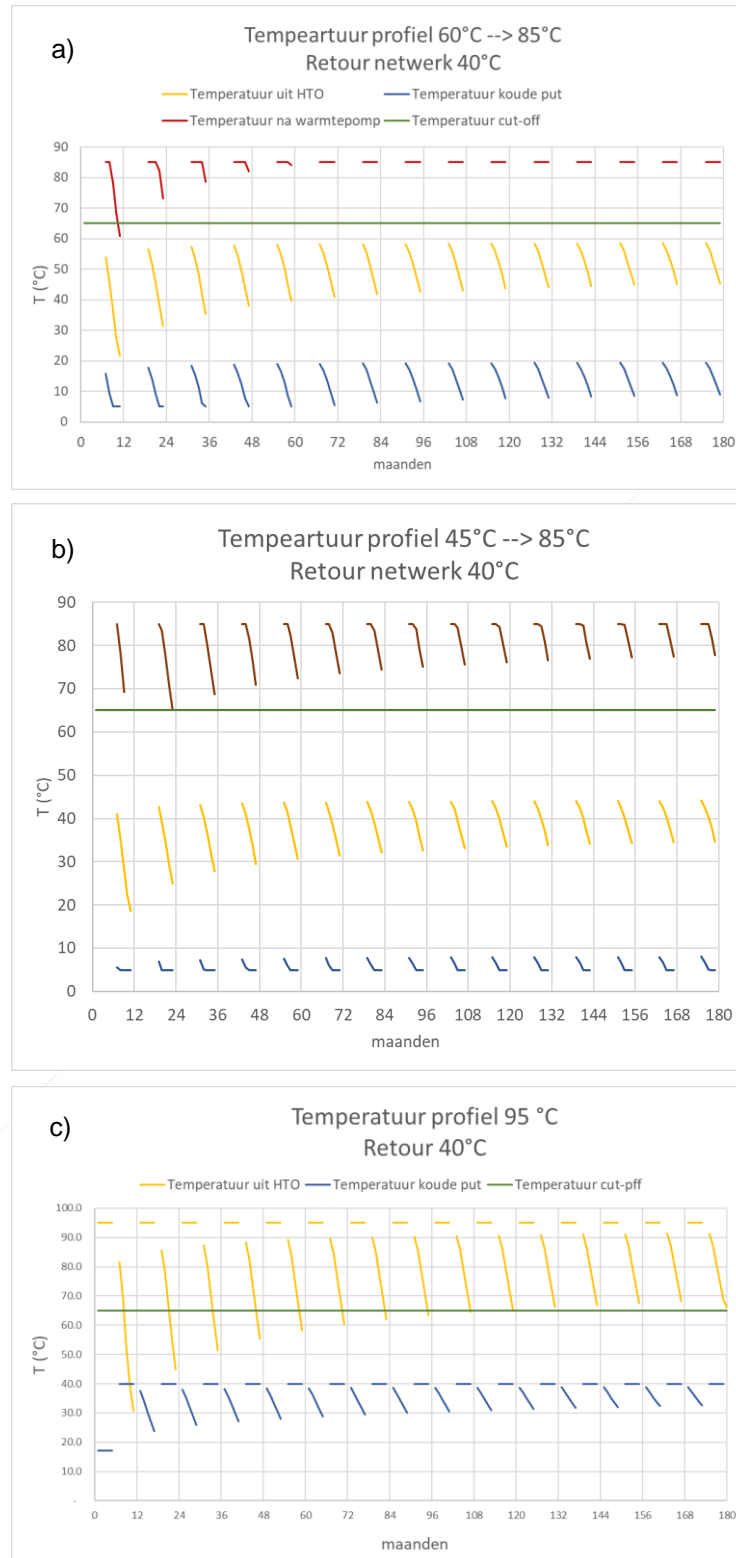
Zodra het warme water een temperatuur heeft van 65 °C zal de HTO niet meer ingezet kunnen worden met de huidige aannames. Het verlagen van deze temperatuur zal de efficiënte van de HTO verhogen.

Er moet echter rekening mee worden gehouden dat in de modellen de warmteproductie doorgaat ook al is de minimale afkaptemperatuur bereikt. Dit betekent dat deze geproduceerde warmte eigenlijk in de grond opgeslagen zou blijven en het dit het jaar daarop gebruik zou kunnen worden. Dit betekent dat de huidig berekende rendementen hierdoor lager uitvallen dan wanneer in het model productie zou stoppen bij het bereiken van de afkaptemperatuur.

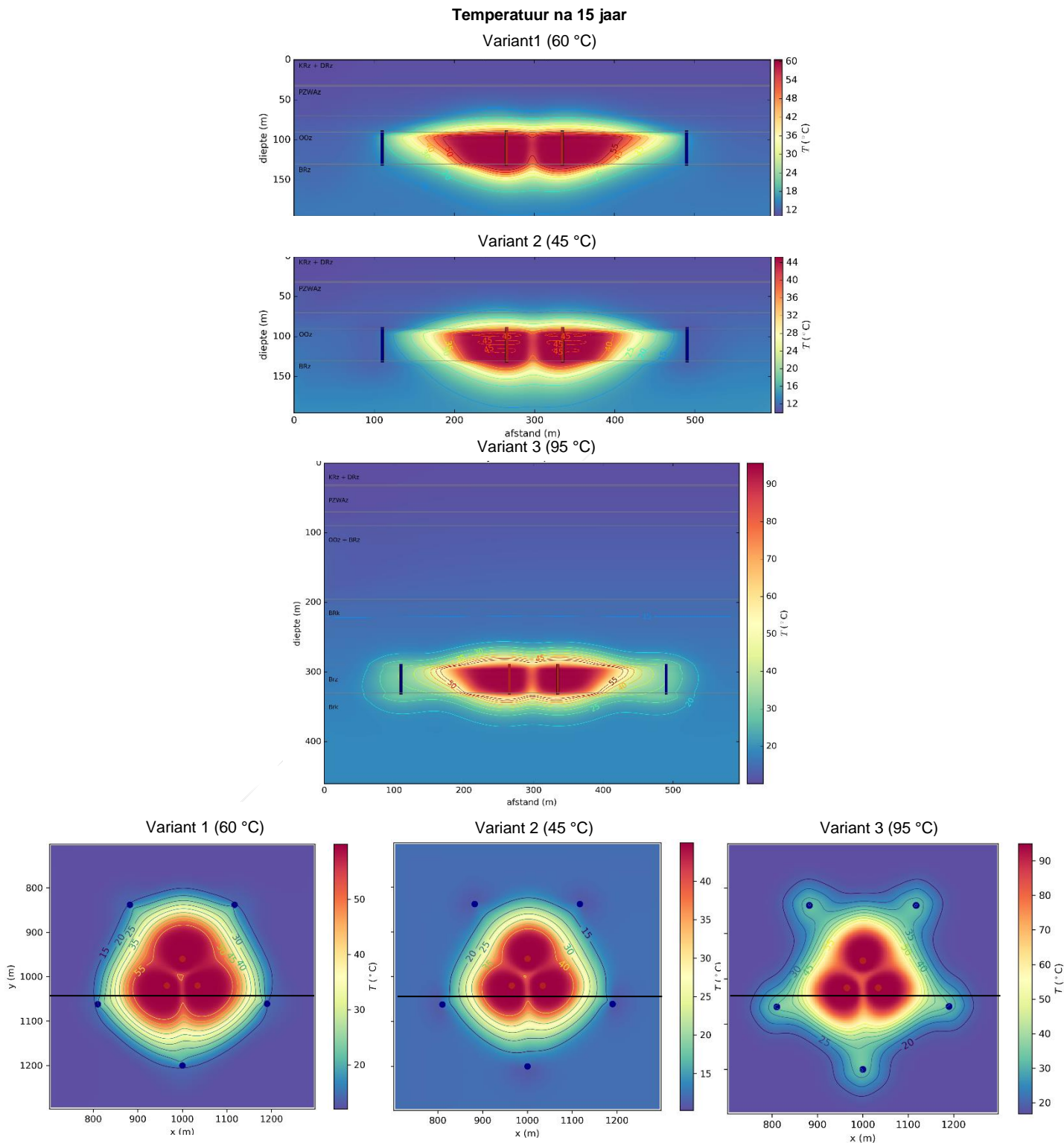
De verwachte uitstraling naar omliggende en bovenliggende lagen na 15 jaar (aan het einde van de injectieperiode) zijn weergegeven in Figuur 3.9. De temperatuur aan de top van de Maassluis klei na 15 jaar voor de 60 °C en 45 °C variant wordt geschat op 20 °C en 17°C, respectievelijk. Bij het injecteren van 45 °C verwachten we een lagere temperatuuruitstraling dan bij 60 °C, zoals ook te zien is in Figuur 3.9. De temperatuurverliezen zijn hierdoor ook lager en daardoor zal het thermisch rendement van de HTO van de 45 °C variant ook hoger zijn dan de 60 °C variant (Figuur 3.7). De 95 °C variant ligt een stuk dieper en de uitstraling naar bovenliggende lagen blijft beperkt door de aanname van de bovenliggende dikke afsluitende kleilaag. **Er moet rekening gehouden worden dat deze modellen niet de realiteit representeren maar enkel een indicatie kunnen geven van de mogelijke thermische effecten op de ondergrond en het rendement.**



Figuur 3.7 Thermisch rendement van de HTO (geen gebruik van warmtepomp) voor de 3 verschillende varianten.



Figuur 3.8 Temperatuurprofielen voor variant 1: 60 °C (a), variant 2: 45 °C en variant 3" 95 °C (c). De profielen zijn de onttrekkingstemperatuur uit de HTO (geel), de temperatuur van het warme water na gebruik van de warmtepomp (rood) en de temperatuur van het geïnjecteerde water in de koude put na gebruik van de warmtepomp (blauw).

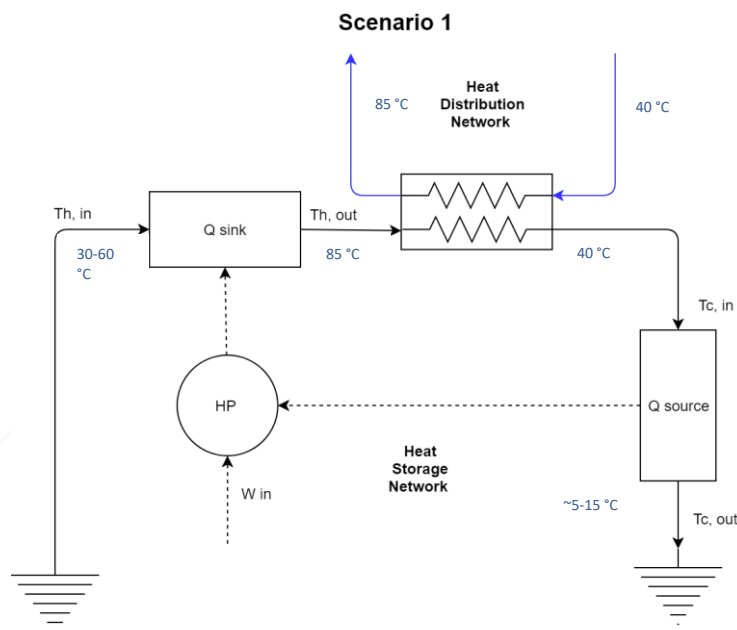


Figuur 3.9 **boven**: Dwarsdoorsnede door de ondergrond van de temperatuuruitstraling aan het eind van de injectieperiode na 15 jaar voor variant 1 en 2, 3. **onder**: Bovenaanzicht van de temperatuuruitstraling op 100 meter aan het einde van productieperiode na 15 jaar. De zwart lijn geeft de ligging van de doorsnede weer, waarbij de rode en blauwe lijnen/stippen de locaties van warme en koude bronnen zijn, respectievelijk. (Let op: de kleurschaal bij de figuren zijn niet hetzelfde)

Variante 1 en 2 in combinatie met warmtepomp:

De twee midden temperatuur varianten (45 en 60 °C) worden in combinatie met een warmtepomp gebruikt. Met deze warmtepomp wordt de warmte uit de warme put (30-60°C in Figuur 3.10) van de HTO opgewaardeerd naar de gewenste temperatuur (~85°C). Door warmteverliezen in de HTO over de maanden heen wordt de temperatuur van het water in de warme put lager, waardoor het lastig kan worden om deze lagere temperatuur op te waarden naar de gewenste 85 °C.

Voor de 60 °C variant is het de eerste jaren niet mogelijk om het warme water (de gehele productieperiode in de winter) uit de HTO tot 85 °C te verhogen, doordat het warme water uit de HTO na enkele maanden een te lage temperatuur heeft (rode profiel in Figuur 3.8a). Op basis van de modellen verwachten we dat, voor de 60 °C variant, na 5 jaar het warme water altijd verhoogd kan worden naar de gewenste 85 °C (rode profiel in Figuur 3.8a). Voor de lagere temperatuur variant (45 °C) is het verschil van gewenste temperatuur van 85 °C en de geproduceerde warme water van (45 °C) veel hoger en daarom is het moeilijk om de temperatuur met de warmtepomp altijd te verhogen naar de gewenste temperatuur (rode profiel in Figuur 3.8b). Dit zal uiteindelijk effect hebben op het geleverde vermogen.

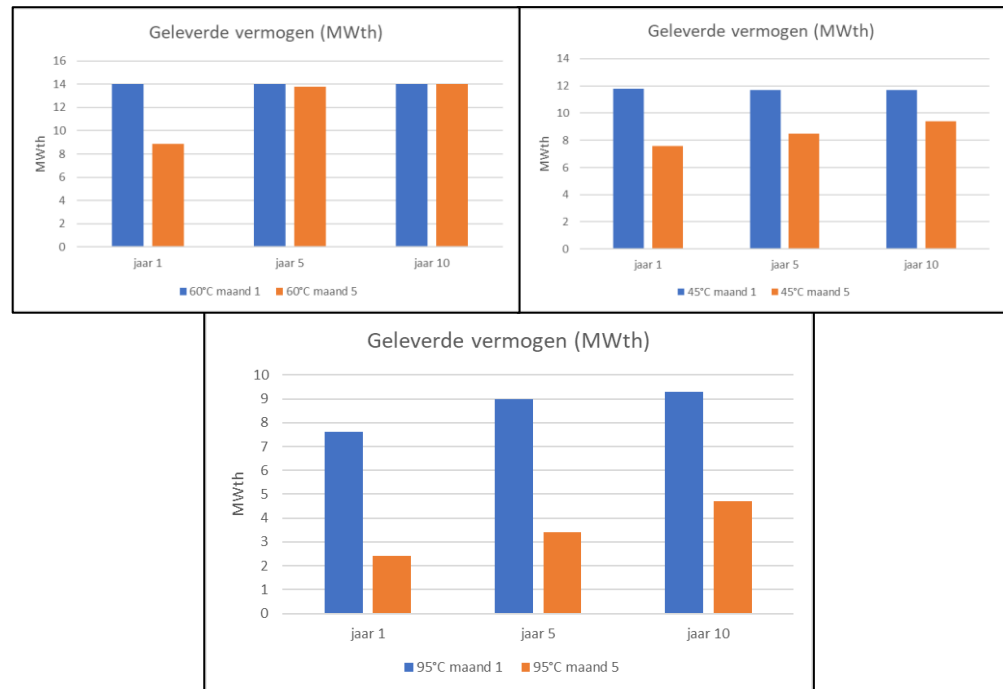


Figuur 3.10 Schematische weergave HTO in combinatie met een warmtepomp.

Energetisch rendement:

Figuur 3.11 geeft het verwachte geleverde vermogen voor jaar 1, 5 en 10 voor het begin (maand 1) en eind (maand 5) van de winterperiode weer. De 60 °C variant levert na 5 jaar gemiddeld een verwacht vermogen van 14 MWth en 45 °C variant is dit wat lager 12 MWth (in de eerste maanden van de winterperiode). Dit komt voornamelijk door de lagere toegestane debiet voor de 45 °C variant t.o.v. de 60 °C. De grotere verschillen tussen maand 1 en 5 voor de lage temperatuur variant komt doordat de 60 °C variant in combinatie met de warmtepomp de gewenste temperatuur gemakkelijker kan halen dan de 45 °C variant zoals eerder besproken. Het ingeschatte vermogen voor de 95 °C variant (zonder warmtepomp) laat een

groot verschil zien tussen de maanden 1 en 5 door de grote verwachte warmteverliezen, voornamelijk in de eerste jaren.



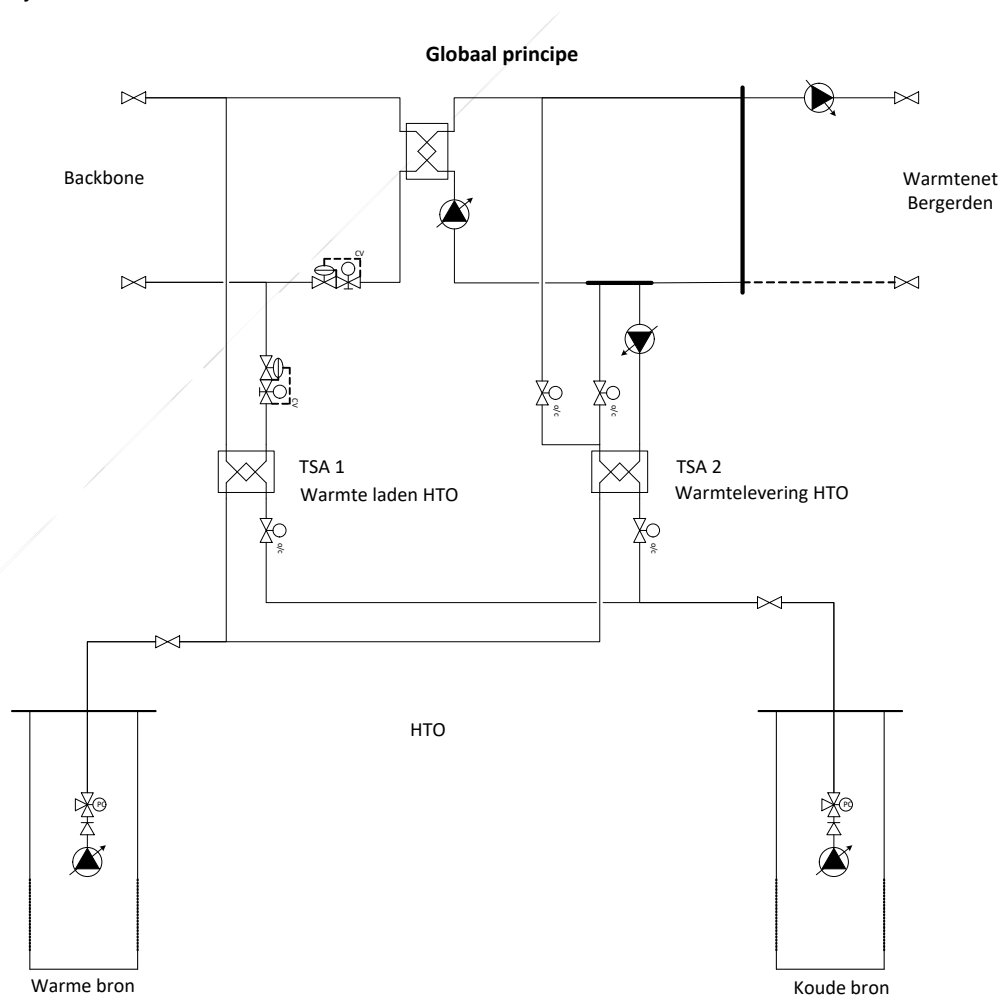
Figuur 3.11 Overzicht van verwachte geleverde vermogen in verschillende productie maanden en jaren na het gebruik van de warmtepomp.

3.5 Basisontwerp en financiële analyse van de HTO

3.5.1 Basisontwerp

Ontwerp

Het basisontwerp is afhankelijk van de uitvoeringsvariant (zie Tabel 3.1). Bij een opslagtemperatuur van 95 °C (variant 3) is het basisontwerp schematisch weergegeven in Figuur 3.12. Warmte uit het hoofdnets kan via een tegenstroomapparaat¹ of TSA 1 opgeslagen worden in de HTO. Via TSA 2 kan vervolgens warmte vanuit de HTO geleverd worden aan het distributienet van Bergerden. Via een derde TSA is het ook mogelijk rechtstreeks warmte vanuit het hoofdnets te leveren aan het distributienet. In deze studie ligt de demarcatie bij TSA 1 en TSA 2. Kosten van de HTO tot en met deze TSA's zijn meegenomen. De koppeling tussen de netten en de verbinding met de warmtewisselaars is geen onderdeel van dit ontwerp. Verder is ervan uitgegaan dat de warmtewisselaars en waterbehandeling kunnen worden geplaatst in de directe nabijheid van het HTO-systeem.



Figuur 3.12 Globaal principe koppeling HTO met hoofd- en distributienet (geen warmtepomp nodig).

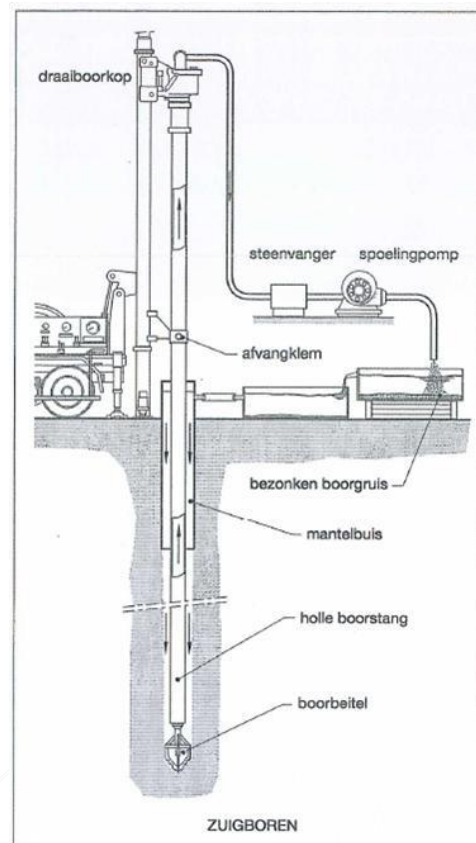
Bij variant 1 en variant 2 liggen de opslagtemperaturen lager (respectievelijk 60 en 45°C). Door de lagere opslagtemperatuur wordt gebruik gemaakt van hoge

¹ ook wel warmtewisselaar genoemd

temperatuur warmtepompen. In dit geval wordt een warmtepomp toegevoegd aan het basisontwerp, zoals schematisch weergegeven in Figuur 3.10.

Bronnen

De bronnen worden gemaakt met de zogenaamde zuigboorteknik (zie Figuur 3.13). Dit type boring is op duizenden plaatsen de afgelopen twintig jaar uitgevoerd; van zeer drukke binnensteden, natuurgebieden tot bedrijventerreinen. Geluidsoverlast is beperkt zodat in de directe omgeving van bebouwing kan worden geboord (mogelijk alleen overdag boren).



Figuur 3.13 Schematische weergave van een zuigboorteknik.

De benodigde ruimte voor het boren bedraagt 300 tot 400 m² (zie Figuur 3.14 voor opstellingsruimte). Het gehele boorproces incl. het schoonmaken van de bron kost 2 - 3 weken.



Figuur 3.14 Boorstelling zuigboren.

De bronnen worden geboord met een diameter van circa 800-1000 mm. Bronnen bij de varianten met een opslagtemperatuur van 60 en 95 °C krijgen een GVK (glasvezel verstrekt kunststof) stijgbuis en RVS (roestvast staal) wikkeldraad filter. Bij een opslagtemperatuur van 45 °C worden de stijgbuis en filter in PVC uitgevoerd. Om de thermische uitstraling naar bovenliggende lagen te voorkomen worden de bronnen aangevuld met isolerend beton. De bronnen worden aan maaiveld afgewerkt met een half bovengrondse putbehuizing (2x2 m, Zie Figuur 3.15).

In het kader van de vergunning Waterwet zal de Provincie vermoedelijk eisen dat er een monitoringsput moet komen. Hierin worden temperaturen en waterkwaliteit gemeten. Geadviseerd wordt de monitoringsput te gebruiken als testboring en deze aan te leggen voordat er een definitief ontwerp wordt gemaakt.



Figuur 3.15 Afwerking bron met half- bovengrondse putbehuizing

Pompen

Iedere bron bevat een separate onderwaterpomp. De pompen voor bronnen tot en met een temperatuur van 45 °C zijn vergelijkbaar met de onderwaterpompen die ook voor WKO (lage temperatuur opslag) in zout grondwater worden gebruikt. Bij bronnen met een temperatuur boven de 45 °C worden pompen gebruikt die bestand zijn tegen hoge temperaturen. De pompen zijn vergelijkbaar met degene die ook bij geothermie worden gebruikt alleen zijn de opvoerhoogtes aanzienlijk lager dan bij geothermie. Om de capaciteit te kunnen regelen (tot ca. 25 % van het maximale debiet) worden de pompen met frequentieregelaars uitgerust.

Waterbehandeling

Specifiek voor hoge temperatuur is de neerslag van carbonaten. Dit effect is bekend vanuit de dagelijkse praktijk: ketelsteen in de fluitketel en kalkaanslag bij het verwarmingselement van de wasmachine. Het risico op carbonaatneerslag is afhankelijk van de kalkverzadigingsgraad van het oorspronkelijke grondwater, de mate waarin de temperatuur wordt verhoogd en de aanwezigheid en concentraties van stoffen die de neerslagreacties vertragen. Aangezien de aanwezigheid van kalkverzadigd grondwater in de te gebruiken bodemlaag aannemelijk is en sprake is van opslag op hoge temperatuur, is carbonaatneerslag waarschijnlijk als geen tegenmaatregelen worden genomen (alleen bij een opslagtemperatuur van 45 °C is dit waarschijnlijk niet nodig). Om carbonaatneerslag te voorkomen kan waterbehandeling worden toegepast. De sterke en zwakke punten en de kansen en bedreigingen van de verschillende technieken zijn opgesomd in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Afweging waterbehandelingstechnieken.

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

Op basis van de aspecten uit de bovenstaande tabel is ionenwisseling een relatief dure techniek die meerdere minpunten heeft. Ionenwisseling heeft daarom niet de voorkeur.

Inhibitors zijn stoffen die een remmende werking hebben op chemische processen. Ook de neerslag van carbonaten kan met behulp van inhibitors worden belemmerd. Bekende inhibitors zijn fosfaten en acrylaten.

Inhibitors zijn kostentechnisch interessant, maar hebben als nadeel dat hier nog geen praktijkervaring mee is. Daardoor is nog onzeker of deze optie in de praktijk ook werkt en is niet bekend wat de effecten op de grondwaterkwaliteit zijn. Gezien de kostentechnische voordelen is nader onderzoek naar deze optie echter nog altijd de moeite waard.

Het oplossen van CO₂ ten behoeve van waterbehandeling bij hoge temperatuuropslag is nog niet toegepast in Nederland. Mogelijk wordt in 2019 bij een HTO-project een CO₂-dosering getest.

Vooralsnog wordt gekozen voor de toepassing van zoutzuurdosering, met name omdat deze techniek zich in de praktijk heeft bewezen (HTO Zwammerdam) en de grondwaterkwaliteitseffecten relatief klein zijn. Deze waterbehandelingstechniek is beproefd en goed beheersbaar. Nadeel zijn de grote hoeveelheden zoutzuur die nodig zijn en de extra zorg voor opslag en gebruik.

Ingeschat wordt dat voor een HTO op 45 °C geen waterbehandeling nodig is (Drijver, 2011), maar in geval van 60 en 95 °C wel. Op basis van de HTO Zwammerdam en het ontwerp van de HTO bij GEOMEDEV (Brielle) wordt verwacht dat een zoutzuurdosering van 0,3 l/m³ (30 % HCl) nodig is (exacte dosering wordt berekend met de grondwaterkwaliteit gemeten tijdens de proefboring). Zoutzuurdosering hoeft alleen plaats te vinden tijdens het laden van de ondergrondse opslag.

Transportleiding en technische ruimte

De bronnen worden via ondergrondse, geïsoleerde transportleidingen met de warmtewisselaars in de technische ruimte verbonden. Transportleidingen bij de 45 °C variant worden uitgevoerd in PE. Bij de 60 en 95 °C variant worden transportleidingen uitgevoerd in GVK. In de technische ruimte staan de warmtewisselaars, regelkasten, filterinstallatie en waterbehandeling van het grondwatersysteem. Bij de 45 °C variant zijn leidingen uitgevoerd in PE. Bij hogere temperaturen zijn leidingen uitgevoerd in RVS 316.

Vanwege het gebruik van chemicaliën bij de waterbehandeling en de hoge temperaturen zal de technische ruimte aan strikte veiligheidseisen moeten voldoen.

3.5.2 Investeringskosten

De investeringskosten voor de drie varianten zijn op haalbaarheidsniveau geraamd tot en met de warmtewisselaars die de HTO scheiden van het hoofdnet en distributienet. De geraamde kosten exclusief BTW zijn weergegeven Tabel 3.3. Een korte toelichting op een aantal onderdelen is gegeven na de tabel.

Tabel 3.3 Geraamde **investeringskosten** HTO varianten

		60 °C opslag	45 °C opslag	95 °C opslag
Bronnen	[€]	875.000	395.000	2.280.000
Waterbehandeling	[€]	80.000	-	60.000
WTB/CT/E	[€]	975.000	870.000	875.000
Bouwkundige voorziening	[€]	p.m.	p.m.	p.m.
Subtotaal 1	[€]	1.930.000	1.265.000	3.215.000
Testboring/monitoringsput	[€]	60.000	60.000	150.000
Ontwerp/advies/vergunningen (15%)	[€]	290.000	190.000	485.000
Subtotaal 2	[€]	2.280.000	1.515.000	3.850.000
Onvoorzien (15%)	[€]	340.000	225.000	580.000
Warmtepomp	[€]	4.180.000	3.500.000	-
Totale kosten	[€]	6.800.000	5.240.000	4.430.000

Bronnen

De geraamde kosten omvatten de kosten voor het realiseren van de bronnen, zoals o.a. het boren, de stijgbuis, een wikkeldraadfilter en het afwerken.

Waterbehandeling

Uitgangspunt is dat waterbehandeling door middel van zoutzuurdosering wordt toegepast bij 60 °C en 95 °C opslag.

WTB/CT/E

Deze post omvat de overige componenten, welke grofweg bestaat uit bronpompen, putbehuizing, transportleidingen, bekabeling, leidingen/kleppen/appendages in de technische ruimte en de warmtewisselaars.

Ontwerp/advies/vergunningen

De ontwerp-, advies- en vergunningskosten zijn ingeschat op 15% van de investeringskosten. De vergunningen omvatten de Vergunningen Waterwet (provincie) en vergunningen om te mogen lozen (Waterschap/gemeente) inclusief milieu-effectenrapportages en MER-beoordeling.

Warmtepomp

De investeringskosten voor de warmtepomp zijn ingeschat op 300 €/kWth.

3.5.3 *Operationele kosten*

De geraamde operationele kosten voor de verschillende varianten zijn weergegeven in Tabel 3.4. Op een aantal onderdelen is een aanvullende toelichting gegeven.

Elektriciteitsverbruik bronpompen

Het elektriciteitsverbruik van de bronpompen wordt bepaald op basis van een SPF (Seasonal Performance Factor). De SPF voor laden en ontladen wordt ingeschat op 50, wat betekent dat voor elke energie-eenheid warmte (MWh_{termisch}) die wordt opgeslagen en geleverd uit de HTO, 20 kWh aan elektriciteit nodig is.

Tabel 3.4 Geraamde operationele kosten HTO varianten.

		60 °C opslag	45 °C opslag	95 °C opslag
Elektriciteitsverbruik bronpompen	[€/jaar]	95.000	65.000	60.000
Onderhoud en beheer bronnen	[€/jaar]	80.000	80.000	80.000
Onderhoud en beheer pompen	[€/jaar]	35.000	15.000	35.000
Onderhoud en beheer overige installatie	[€/jaar]	45.000	30.000	75.000
Waterbehandeling	[€/jaar]	50.000	-	40.000
Monitoring en rapportage Waterwet	[€/jaar]	60.000	60.000	60.000
Totaal HTO	[€/jaar]	365.000	250.000	350.000
Elektriciteitsverbruik warmtepomp	[€/jaar]	Max 445.000*	Max 425.000*	-
Onderhoud en beheer warmtepomp	[€/jaar]	83.000	70.000	-
Totaal warmtepomp	[€]	528.000*	495.000*	-

*Dit is afhankelijk van de temperatuur uit de HTO en verschilt per jaar.

Onderhoud en beheer bronnen

Er wordt vanuit gegaan dat de bronnen elke vijf jaar worden geregenereerd door ze mechanisch en chemisch te reinigen. De kosten hiervoor liggen op 50 k€ per bron. Dit betekent 10 k€/jaar per bron.

Onderhoud en beheer pompen

Er wordt vanuit gegaan dat de pompen (ESP) elke 5 jaar worden vervangen.

Onderhoud en beheer warmtepomp

Het jaarlijkse onderhoud en beheer van de warmtepomp wordt geraamd op 2% van de investeringskosten.

Onderhoud en beheer overige installatie

Het onderhoud en beheer van de overige installatie wordt geraamd op 4%. De overige installaties bedragen ca. 50% van de investeringskosten (subtotaal 1+ 15%).

Waterbehandeling

Voor 60 °C en 95 °C opslag wordt uitgegaan van waterbehandeling met zoutzuurdosering. Uitgaande van 5 ml/30% per kWh warmte (geologische situatie GeoMEC), is dit 5 l/MWh. Uitgaande van 200 euro/ton geleverd met een vrachtwagen op locatie, liggen de pure zoutzuur kosten op 1 € per opgeslagen MWh.

Monitoring en rapportage t.b.v. van Vergunning Waterwet

Op dit moment is HTO voor de meeste provincies een pilotvergunning Waterwet nodig. Dit betekent dat de provincies in zijn algemeen stevige monitoring en analysepakketten zullen eisen. Op basis van de nog lopende MTO-projecten (o.a. NIOO) wordt dit geschat op 60 k€ per jaar per project.

3.5.4 Business case

Aannames

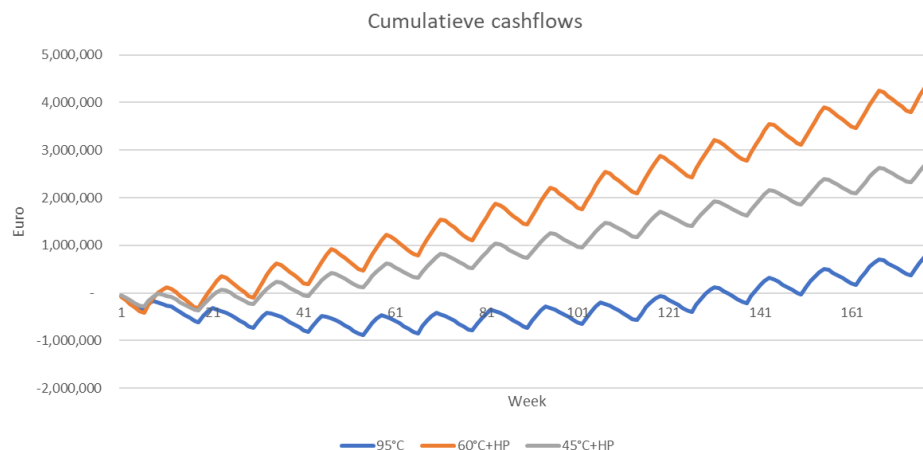
Op basis van de investeringskosten en operationele kosten van de varianten is een business case analyse uitgevoerd. Hiervoor zijn ook aannames gedaan met betrekking tot prijzen van energiedragers en financiering. De belangrijkste aannames voor deze analyse zijn opgesomd in onderstaand Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Aannames voor business case analyse.

Variabele	Eenheid	Waarde
Elektriciteitsprijs	Euro/MWh	50
Discount factor - jaarlijks	%	5%
Inflatie	%	2,5%
Discount factor - jaarlijks (inflatie gecorrigeerd)	%	2,4%
Economische levensduur HTO	Jaren	15
Kosten van geïnjecteerde warmte	Euro/GJ	1,0
Kosten van geïnjecteerde warmte	Euro/MWh	3,6
Waarde van verkochte warmte	Euro/GJ	7,5
Waarde van verkochte warmte	Euro/MWh	27,0

Cashflow

Op basis van het ontwerp en inzet van de HTO-varianten is per maand geschat wat de operationele kosten zijn van de HTO en wat de opbrengsten zijn als gevolg van de verkoop van warmte. Hiermee is op maandbasis een cashflow op te stellen. Hieronder in Figuur 3.16 zijn per variant de cumulatieve cashflows weergegeven; exclusief de investeringskosten en niet verdisconteerd. De resultaten laten duidelijk zien dat de cashflow voor de 95 °C variant lang negatief blijft, omdat enerzijds de HTO moet worden opgeladen in de beginjaren en anderzijds omdat de HTO in de terugleverperiode (winter) niet altijd de gewenste temperatuur kan leveren en dus inkomsten mist. De varianten met een warmtepomp laten betere cashflows zien omdat de systemen (HTO+WP) door de inpassing van een warmtepomp in bijna alle perioden de gevraagde temperatuur kunnen leveren. Dus dat levert een meer stabiele kasstroom op. De 60 °C variant laat een betere kasstroom zien dan de 45 °C variant door het hogere vermogen van de HTO en dus de hogere opbrengsten in de winterperiode. De operationele kosten per jaar zijn wel hoger voor 60 °C variant, maar dat wordt tenietgedaan door de hogere opbrengsten.



Figuur 3.16 Cumulatieve kasstromen voor de drie varianten.

Business case drie varianten

In Figuur 3.18 zijn de belangrijkste resultaten samengevat van de business case analyse. Deze getallen zijn verdisconteerd. De totale investeringskosten zijn het hoogste voor de 60 °C variant met warmtepomp, waar een groot deel van deze kosten voorkomt uit de investering in de warmtepomp. Voor de 45 °C variant geldt ook dat de warmtepomp het grootste deel van de investering behelst.

De operationele kosten voor deze varianten zijn het hoogste voor de varianten met een warmtepomp door de kosten voor elektriciteit. De operationele kosten zijn voor de 60 °C variant ongeveer 2 keer zo hoog als voor de HTO zonder warmtepomp.

Een groot verschil in inkomsten is te zien voor de drie varianten. Dit somt tot bijna 17 miljoen euro voor de 60 °C variant en is bijna 7 miljoen euro voor de 95 °C variant. De 45 °C variant zit hier met bijna 13 miljoen euro tussenin. Het grootste verschil is hier het vermogen van de installaties wat leidt tot hogere opbrengsten voor de varianten met een warmtepomp.

Het totale plaatje laat zien dat de Netto Contante Waarde (NCW) voor alle varianten, onder de huidige aannames, negatief is tussen de 3 en 4 miljoen euro. Hierbij is 45 °C variant met een NCW van 3 miljoen de beste variant, gevolgd door de 60 °C variant.

We hebben de berekeningen ook uitgevoerd met een optimistische set van aannames (Tabel 3.6). In deze set is de elektriciteitsprijs gehalveerd en is de waarde van verkochte warmte iets toegenomen. De resultaten zijn hier gevoelig voor en laten voor de twee varianten met een warmtepomp een positieve business case zien. Met name de 60°C variant profiteert van de lagere elektriciteitskosten en hogere verkoopwaarde doordat de capaciteit van deze variant het grootst is.

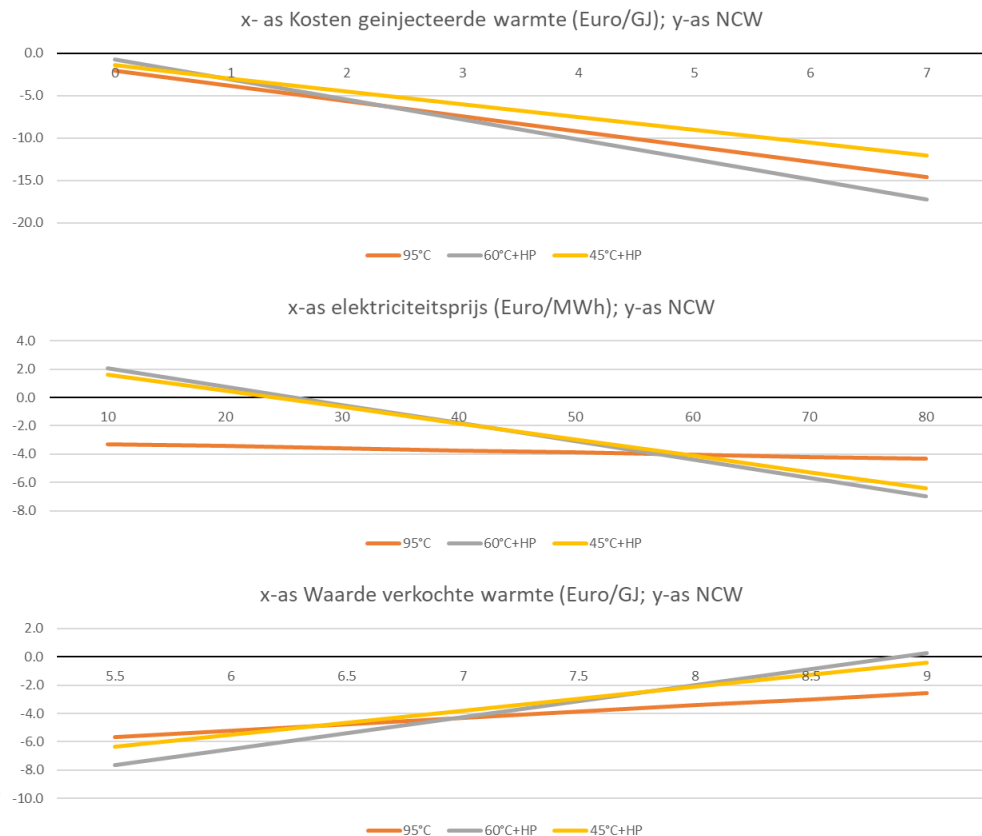
Tabel 3.6 Aannames voor de business case analyse – **optimistische aannames**

Variabele	Eenheid	Waarde
Elektriciteitsprijs	Euro/MWh	25
Kosten van geïnjecteerde warmte	Euro/GJ	1,0
Kosten van geïnjecteerde warmte	Euro/MWh	3,6
Waarde van verkochte warmte	Euro/GJ	8,5
Waarde van verkochte warmte	Euro/MWh	30,6

Gevoeligheidsanalyse

De business case voor de HTO varianten is gevoelig voor een aantal belangrijke aannames. Om dit visueel weer te geven hebben we enkele grafieken gemaakt die laat zien hoe de Netto Contante Waarde beïnvloed wordt door het aanpassen van deze aannames:

- Kosten van geïnjecteerde warmte
- Elektriteitsprijs
- Waarde van verkochte warmte



Figuur 3.17 Gevoeligheidsanalyse voor de drie HTO varianten.

De analyse laat zien dat de NCW uiteraard negatief wordt beïnvloed wanneer de kosten voor de geïnjecteerde warmte en voor elektriciteit stijgen. Wanneer de kosten voor elektriciteit onder de 25 euro per MWh dalen, laten beide varianten met een warmtepomp een positieve business case zien. Ook laten deze varianten een positieve business case zien wanneer de waarde van verkochte warmte richting de 9 à 10 euro/GJ gaat. De 95 °C variant laat in alle gevallen een negatieve business case zien.

De economische levensduur van het project is nu gesteld op 15 jaar, maar dit zou ook zeker 20 jaar kunnen zijn. In dat geval verwachten we dat alle varianten richting een positievere business case gaan waar de cashflows een positieve trend laten zien voor alle varianten en het rendement van de HTO reeds hoog is.

CO₂-besparing

Op basis van enkele kentallen uit de literatuur hebben we een inschatting gemaakt van de CO₂-besparing die de drie varianten kunnen opleveren (Tabel 3.7). Hierbij is

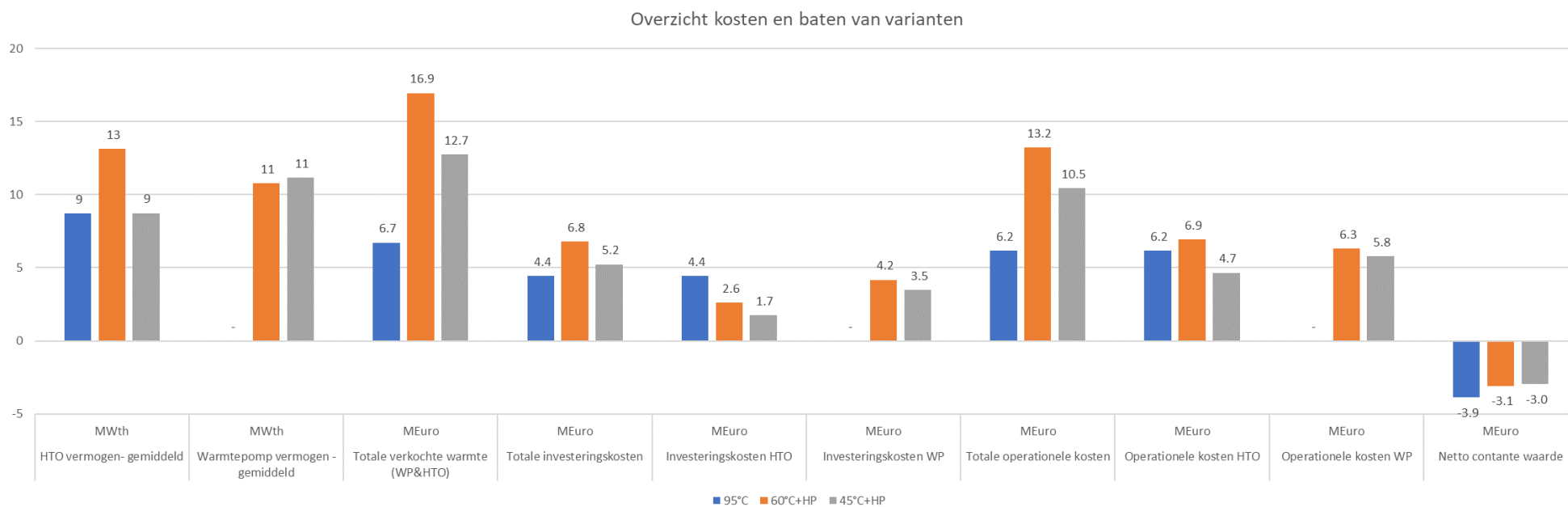
aangenomen dat de referentiewarmtebron een gasketel is met 90% rendement. Verder nemen we aan dat de HTO geladen wordt met CO₂-neutrale of warmte uit de bio-WKK of CO₂-arme warmte uit de warmteleiding. Voor de warmteleiding is aangenomen dat deze 70% reductie oplevert ten opzichte van warmte uit een gasketel². De CO₂-emissie als gevolg van elektriciteitsverbruik is geschat op basis van toekomstige emissiefactoren voor het jaar 2025 uit de Nationale Energieverkenningen 2017.

De hoogste CO₂-besparing wordt verwacht voor de 60 °C variant met een besparing van meer dan 100 kt CO₂ over de levensduur van het project. Dit wordt behaald wanneer de HTO wordt gevoed met warmte uit de bio-WKK. De variant zonder warmtepomp laat een significant lagere CO₂-besparing zien. De besparing is wel sterk afhankelijk van de warmtebron die de HTO voedt en de emissiefactor die wordt aangenomen voor elektriciteit. De gepresenteerde getallen zijn een eerste schatting en dienen in een eventuele ontwerpfase verder te worden gespecificeerd en verfijnd.

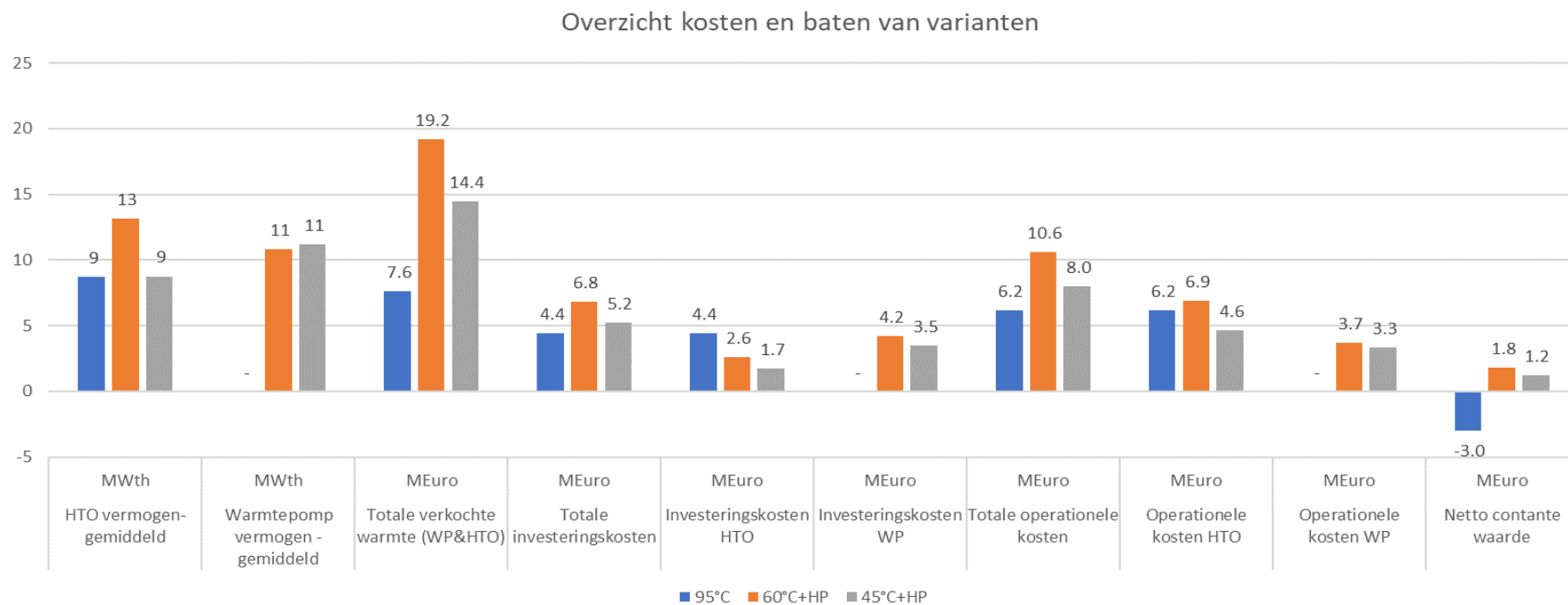
Tabel 3.7 Geschatte CO₂-besparing als gevolg van inzet HTO-varianten.

Variabele	Eenheid	95 °C	60 °C+WP	45 °C+WP
CO ₂ -besparing: bio-WKK voedt HTO	ktCO ₂	65	131	93
CO ₂ -besparing: warmteleiding voedt HTO	ktCO ₂	25	79	60

² Het is lastig de toekomstige reductie als gevolg van inzet van de warmteleiding te schatten. 70% kan als een voorzichtige schatting worden gezien, daar de huidige reductie op 85% is berekend door NUON, zie <https://www.nuon.nl/producten/stadsverwarming/co2-reductie/arnhem/>.



Figuur 3.18 Overzicht van belangrijkste techno-economische resultaten voor de drie varianten – **basis aannames**



Figuur 3.19 Overzicht van belangrijkste techno-economische resultaten voor de drie varianten – **optimistische aannames**

4 Milieu hygiënische en juridische aspecten

4.1 Grondmechanica: zetting en opheffing

Veranderingen in het temperatuurveld van de ondergrond kan het ondergrondse stressveld beïnvloeden. Voor alle materialen resulteert een temperatuurverandering in volumeverandering. Een verhoging of verlaging van de temperatuur kan leiden tot expansie of contractie van het materiaal (in dit geval zand/klei). Hoe hoger de temperatuur hoe groter we verwachten dat de lokale opheffing zal zijn. Echter na enkele berekeningen wordt er verwacht dat dit een gering effect zou kunnen hebben van minimaal 1 tot maximaal 3 cm opheffing in verticale richting.

4.2 Hydrologische en hydrothermische effecten

De effecten van het opslaan van warme water op de omgeving en bovenliggende lagen kan van invloed zijn op de vergunbaarheid van de HTO. De grootte van de thermische straal en de temperatuur aan de top van de bovenliggende kleilaag na 15 jaar zijn samengevat in Tabel 4.1. Er wordt vaak aangenomen dat de verhoging van de temperatuur van het water in bovenliggend pakket niet hoger mag zijn dan 25 °C. De temperatuur aan de top van de kleilaag komt, volgens de huidige berekeningen, voor de lage temperatuur varianten niet boven de 20 °C. Voor deze studie is een economische haalbaarheid van 15 jaar aangenomen, in praktijk zal de levensduur van HTO langer zijn en kan de temperatuur aan de top van de kleilaag nog wat hoger worden. De omvang van de HTO is bepaald op basis van de thermische straal wat de afstand is vanaf het midden van de warme bronnen tot waar het warme water de originele temperatuur heeft van ~15 °C (Figuur 3.9). Ook de hoeveelheid geïnjecteerde warmte speelt een rol bij de uiteindelijke thermische invloed.

Het is hier wederom van belang te weten dat deze uitkomsten een indicatie geven van een mogelijk uitkomst. Deze resultaten zijn gebaseerd op bepaalde aannames voor de belangrijke eigenschappen dikte van de afsluitende laag en doorlatendheid die voornamelijk de uitstraling naar bovenliggende lagen bepalen. In de praktijk kunnen deze er anders uitzien en kan dit de uitkomsten ook beïnvloeden.

Tabel 4.1 Overzicht van de thermische effecten op de ondergrond voor de drie varianten. Zie ook Figuur 3.9.

variant	doorsnede in x-y richting van thermische invloed	temperatuur top kleilaag
Variant 1 – 60 °C	360 meter	20 °C op 70 meter
Variant 2 – 45 °C	300 meter	17°C op 70 meter
Variant 3 – 95 °C	400 meter	Geen thermisch effect door opslag aan de top van de kleilaag op ~200 meter

4.3 Effecten warmte-uitstraling van de putten

Om HTO mogelijk te maken, worden boorgaten gemaakt tot in de zandlagen van het opslagpakket. In de doorboorde lagen worden dichte verticale leidingen (casings of stijgbuizen genoemd) aangebracht, die worden gebruikt om het warme water van en naar het opslagpakket te pompen. Doordat de casing een veel hogere temperatuur heeft dan de omgeving waarin de casing is aangebracht, zal warmte verloren gaan via warmtegeleiding. Deze warmteverliezen zorgen in de bodemlagen boven de warmteopslag voor opwarming in de directe omgeving van de putten. Dit proces van warmtegeleiding is ook bekend van de zogenaamde gesloten bodemenergiesystemen, waarbij door middel van een gesloten buizensysteem warmte aan de bodem wordt onttrokken.

Als gevolg van deze warmteverliezen is sprake van opwarming van de directe omgeving van de casing. Deze opwarming treedt vooral op bij de warme put. Als gevolg van de dichtheidsverschillen die veroorzaakt worden door de opwarming, kan in bepaalde gevallen opwaartse stroming langs de casing optreden (b.v. van Lopik et al., 2015). Deze opwaartse stroming langs de casing kan gevolgen hebben voor de grondwaterkwaliteit als er binnen een bovenliggend watervoerend pakket sprake is van belangrijke grondwaterkwaliteitsverschillen (b.v. de aanwezigheid van een overgang van zoet naar brak of zout grondwater). Als hierbij ongewenste effecten te verwachten zijn, dan kan worden overwogen om de casing van de warme bron beter te isoleren door te kiezen voor een dikkere omstorting en/of een omstorting toe te passen met een lagere warmtegeleidingscoëfficiënt.

4.4 Invloed op de chemische en microbiologische grondwaterkwaliteit

De hoge temperaturen hebben tot gevolg dat de effecten op de chemie en de microbiologie van het grondwater duidelijk groter zijn dan bij "lage temperatuur" WKO. In het huidige beleid wordt daarom een maximale infiltratietemperatuur van 25 °C gehanteerd. De belangrijkste effecten bij hogere temperaturen zijn:

Oplossen en neerslaan van mineralen

De bodemdeeltjes waaruit de ondergrond is opgebouwd, bestaan uit verschillende mineralen. De oplosbaarheid van deze mineralen in water is afhankelijk van de temperatuur. Eén van de belangrijkste mineralen is kwarts. De oplosbaarheid van kwarts is bij natuurlijke grondwatertemperaturen zeer laag en neemt beperkt toe bij hogere temperaturen. Bij kolomexperimenten door Bonte et al. (2013) zijn bij het injecteren van 60 °C water, verhoogde concentraties kalium en silicium waargenomen, die zijn toegeschreven aan het oplossen van Kaliveldspaten (Bonte et al., 2013).

Kalkneerslag en waterbehandeling

Kalk is een ander veel voorkomend mineraal. Bij een temperatuurverhoging neemt de oplosbaarheid van kalk af. Over het algemeen kan gesteld worden dat van alle aanwezige mineralen in Nederlandse aquifers kalk het 'gevoeligst' reageert op temperatuurveranderingen. Om technische problemen als gevolg van kalkneerslag (verstopping van de warmtewisselaar en de bronnen) te voorkomen kan het bij de opslag van hogere temperaturen nodig zijn om waterbehandeling toe te passen (Drijver, 2011; Sanner (ed.), 1999). Het uitgevoerde onderzoek geeft aan dat deze waterbehandeling nodig kan zijn bij temperaturen boven de 40-70 °C. De meest

geschikte methode van waterbehandeling is het toevoegen van een beperkte hoeveelheid zuur aan het water. Bij de HTO van Zwammerdam (gerealiseerd project dat nu niet meer in bedrijf is) is gebruik gemaakt van zoutzuur. Bij de HTO van ECW (ontwerpfase) wordt onderzocht om koolzuur te gebruiken (CO₂). De invloed van de waterbehandeling op de grondwaterkwaliteit treedt alleen op in het behandelde grondwater, dat zich direct rond de bronfilters van de HTO bevindt.

Mobilisatie van organische stof

Uit onderzoek (Brons et al., 1991 en Brons, 1992) is gebleken dat temperatuurverhogingen tot boven de 45 °C kunnen leiden tot mobilisatie van organische stof. Bij kolomexperimenten door Brons in het temperatuur bereik 10-30 °C kon extra mobilisatie van organische stof niet worden aangetoond. De resultaten van kolomexperimenten door Bonte komen overeen met de bevindingen van Brons (Bonte et al., 2011). De metingen die in het kader van MMB zijn uitgevoerd op de onderzoekslocaties bevestigen dit beeld.

Uit kolomexperimenten van Jesuþek et al. (2013) volgt dat bij 25 °C sprake is van een lichte verhoging van het gehalte organische stof in het grondwater en dat deze invloed bij hogere temperaturen toeneemt. De verschuiving van de redoxtoestand naar meer gereduceerde omstandigheden die daarbij ook optreedt, wordt toegeschreven aan (1) de verhoogde microbiologische activiteit die het gevolg is van de hogere temperatuur en (2) de verhoogde beschikbaarheid van organische stof. Bonte et al. (2013) schrijven de mobilisatie van organische stof toe aan een combinatie van desorptie en mineralisatie van organische stof uit het sediment.

Arseen

Bij kolomexperimenten (Bonte et al., 2013) is bij 25 °C een verhoogd gehalte arseen gemeten en bij 60 °C een verhoogd gehalte arseen, organische stof, Kalium, Silicium en enkele sporenelementen. Als mogelijke verklaringen voor de toename in de concentratie arseen is het versneld oplossen van ijzeroxiden (en het daaraan gebonden arseen) genoemd, als gevolg van de mobilisatie van organische stof en de daaraan gekoppelde verschuiving van de redoxtoestand. Ook het vrijkomen van geadsorbeerd arseen is een mogelijke verklaring.

Kationuitwisseling

Ook de samenstelling van het kation uitwisselingscomplex wordt beïnvloed door de temperatuur. Bij een verhoging van de temperatuur neemt daardoor de concentratie van Ca²⁺ in het grondwater af en nemen de concentraties K⁺ en NH₄⁺ toe.

Menging en dichtheidsstroming

Net als bij lage temperatuur WKO systemen is sprake van menging van grondwater over het diepte-traject van de bronfilters. Als bijvoorbeeld sprake is van een overgang van zoet naar zout grondwater, dan wordt het zoete grondwater met het brakke-zoute grondwater gemengd. Daardoor wordt het voorheen zoete grondwater zouter en het voorheen zoute grondwater zoeter. Deze menging treedt op in de zone direct rond de bronfilters van de WKO/HTO en stroomafwaarts daarvan (voor zover sprake is van regionale grondwaterstroming).

Een indirect gevolg van de hoge temperaturen kan zijn dat dieper grondwater wordt aangetrokken als gevolg van de veroorzaakte dichtheidsstroming. Invloed op de

grondwaterkwaliteit kan dan optreden als het diepere grondwater een andere samenstelling heeft (bv. zouter is).

Invloed op de microbiologie

Ieder type micro-organisme kan alleen binnen een zeker temperatuurbereik overleven. Veelal is dit bereik ongeveer 30 °C groot. Bij een sterke toename van de temperatuur zal daarom een verschuiving optreden in de samenstelling van de microbiologische populatie, waarbij de soorten die het beste zijn aangepast aan de nieuwe omstandigheden (mesofielen en thermofielen: soortgroepen die zijn aangepast aan verhoogde temperaturen) de overhand zullen hebben. Uit het onderzoek dat is uitgevoerd binnen het onderzoeksproject “Meer met Bodemenergie” (Hartog et al., 2013; Dinkla et al., 2012 en De Boer et al., 2012) blijkt, dat deze effecten op functioneel niveau omkeerbaar waren. Bij de het voormalige HTO systeem van Zwammerdam (opslag 90 °C warmte) was de temperatuur in de warme bron ten tijde van de metingen (meerdere jaren na stopzetting van het warmteopslagsysteem) teruggezakkt naar ongeveer 28 °C. De microbiologische populatie bleek vergelijkbaar met de oorspronkelijke populatie (maar niet hetzelfde) en verzorgde dezelfde functies.

In het onderzoeksproject “Meer met Bodemenergie” zijn geen aanwijzingen gevonden voor risico's op groei van ziekteverwekkers (pathogenen). De biodiversiteit (het aantal verschillende soorten) leek niet te worden beïnvloed op de onderzochte locaties (temperaturen tot 39 °C).

Een versnelde groei van de microbiologische populatie door de verhoogde temperatuur wordt in de praktijk beperkt door de beschikbaarheid van organisch koolstof dat voor de micro-organismen bruikbaar is. Mogelijke mobilisatie van organische stof (hogere concentraties opgelost organisch koolstof) bij hoge temperaturen zou daarom aanleiding kunnen geven tot microbiologische groei. Anderzijds zou de waargenomen toename in de concentratie opgelost organisch koolstof ook kunnen duiden op een toename van de fractie organisch koolstof die slecht afbreekbaar is. In dat geval is geen noemenswaardige microbiologische groei te verwachten. Uit de beschikbare praktijkgegevens van het onderzoeksproject “Meer met Bodemenergie” (temperaturen tot 30 °C, daarboven te weinig informatie) volgt geen correlatie tussen de temperatuur en het aantal micro-organismen. Blijkbaar blijft het aantal bacteriën vanwege de beperkte beschikbaarheid van bruikbaar organisch koolstof min of meer constant. Wel is door Jesušek et al. (2013) bij 70 °C een verhoogde microbiologische activiteit waargenomen als gevolg van de hogere temperatuur.

4.5 Juridisch raamwerk

Hoge Temperatuur Opslag

Binnen het huidige beleid is hoge temperatuur warmteopslag in principe niet toegestaan. Allereerst ligt de infiltratietemperatuur hoger dan de maximale waarde van 25 °C. Verder is bij HTO sprake van een warmteoverschot in de ondergrond, wat volgens de huidige wetgeving niet is toegestaan. Dit warmteoverschot is bij HTO niet te voorkomen, omdat de temperatuur bij zowel de warme bron als de koude bron boven de natuurlijke grondwatertemperatuur ligt. Dit betekent dat zowel bij de warme bronnen als bij de koude bronnen warmteverliezen optreden. HTO is daarom alleen mogelijk door af te wijken van het beleid.

De bestaande HTO-systemen zijn mogelijk gemaakt door deze projecten als pilot te bestempelen. Een pilot is een project, waarbij wordt afgeweken van het bestaande beleid om een potentieel interessante techniek zoals HTO mogelijk te maken. Bij een pilotproject is meestal sprake van aanvullende eisen aan de monitoring en de evaluatie van de meetgegevens. Deze aanvullende metingen en evaluaties zijn bedoeld om de effecten van HTO in de praktijk te onderzoeken. De onderzoeksresultaten helpen om de processen in de ondergrond (en de daaraan gekoppelde effecten) beter te begrijpen. Dit vormt vervolgens weer de basis voor de beleidsvorming: waar is HTO acceptabel en waar niet?

Het bestaande beleid is gebaseerd op eerder onderzoek, waaruit volgt dat er bij temperaturen beneden de 25 °C en bij een energiebalans geen significante effecten op de grondwaterkwaliteit zijn. Boven de 25 °C kunnen wel effecten van betekenis optreden. Het gaat hierbij vooral om de mobilisatie van organische stof (en de invloed daarvan op de redoxtoestand), veranderingen in de microbiologie, potentiële kalkneerslag en de invloed van dichtheidsstroming. Daarnaast kan het bij de opslag van hoge temperaturen nodig zijn om waterbehandeling toe te passen, wat ook gevolgen heeft voor de kwaliteit van het behandelde grondwater. Per project zal een (integrale) afweging gemaakt moeten worden op basis van de voor- en nadelen.

Belangrijke aspecten bij deze afweging zijn:

- Het milieuvoordeel dat de HTO oplevert (verduurzaming, emissiereductie);
- De geschiktheid van het grondwater voor drinkwaterwinning, zowel in het opslagpakket als in de bovenliggende lagen. Het gaat hierbij niet alleen om de aanwezigheid van drinkwaterwinningen, maar ook om de (mogelijke) invloed op grondwater dat in de toekomst gewonnen zou kunnen worden voor de drinkwatervoorziening;
- De beschikbaarheid van grondwater dat geschikt is voor drinkwaterwinning in de regio. Als het voor de drinkwaterwinning geschikte grondwater schaars is, dan is het belang om dit grondwater te beschermen veel groter dan wanneer de beschikbaarheid ruim voldoende is;
- In hoeverre de temperatuurveranderingen ook in bovenliggende watervoerende pakketten merkbaar zijn;
- De (mogelijke) invloed op andere bestaande belangen in het gebied.

Algemeen beleid WKO

Voor WKO-systemen is een vergunning Waterwet nodig. Deze vergunning dient te worden aangevraagd bij de provincie Gelderland. Belangrijke randvoorwaarden uit het beleid van de provincie Gelderland zijn:

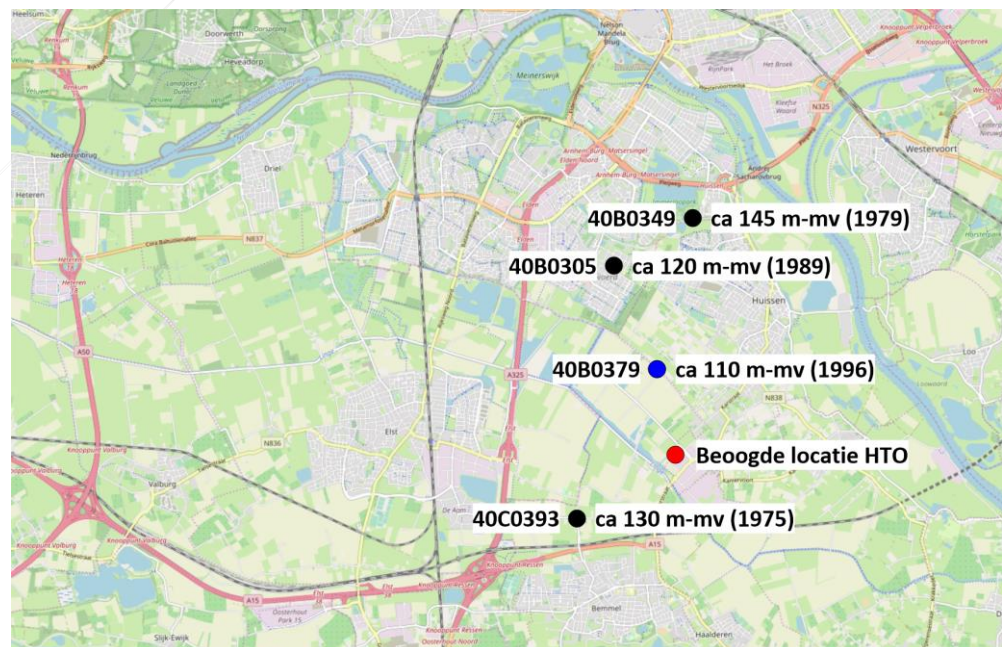
- a) De infiltratietemperatuur in de bronnen mag niet hoger zijn dan 25 °C;
- b) Het veroorzaken van een warmteoverschot in de bodem is niet toegestaan;
- c) Verzilting van zoet grondwater is niet toegestaan;
- d) De bronnen van een bodemenergiesysteem bevinden zich in één watervoerend pakket;
- e) Het gemiddelde temperatuurverschil tussen de warme en koude bron bedraagt tenminste 4 °C;
- f) Andere belangen mogen niet nadelig worden beïnvloed door het WKO-systeem (zoals drinkwaterwinningen, andere bodemenergiesystemen,

verontreinigingen, natuur, landbouw, archeologische waarden, bebouwing en infrastructuur).

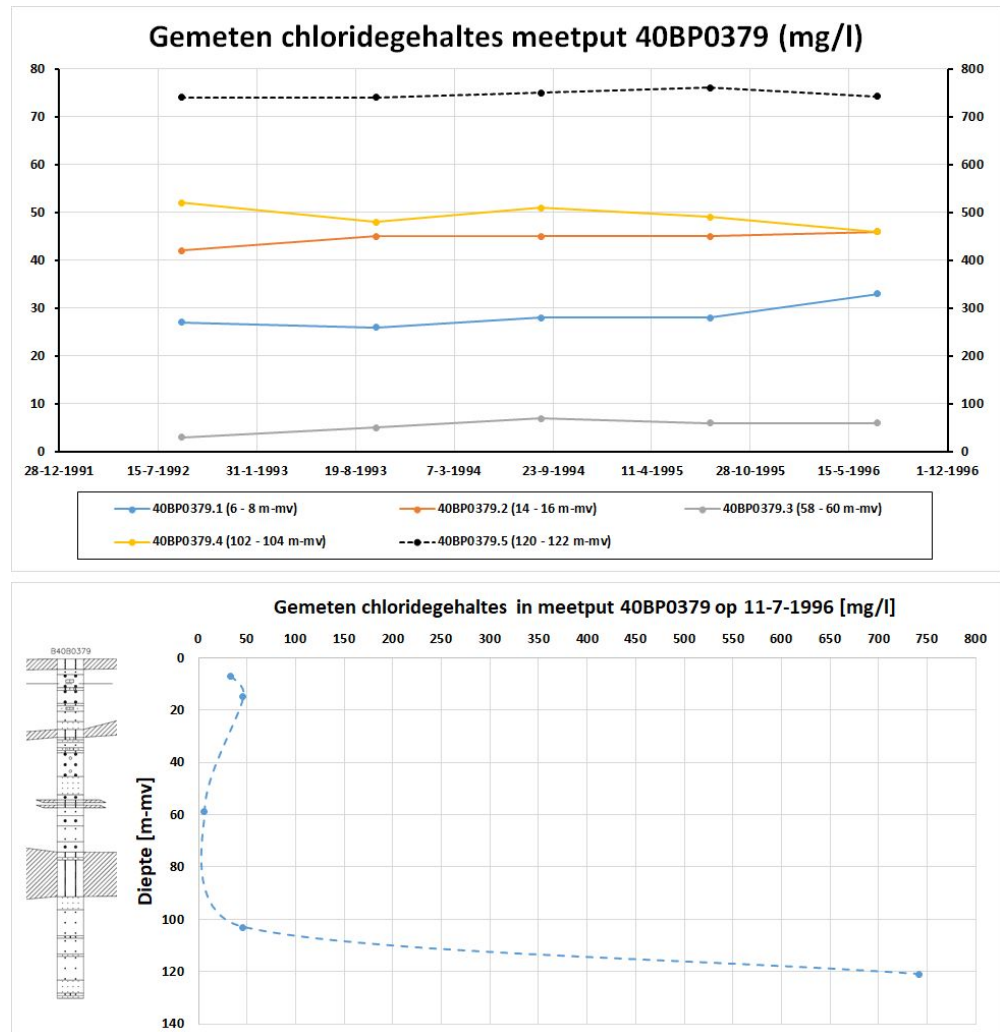
- g) Bodemenergiesystemen zijn niet toegestaan in waterwingebieden, grondwaterbeschermingsgebieden en boringvrije zones.

Bij de toepassing van HTO kan niet worden voldaan aan de randvoorwaarden a) en b). Dat betekent, dat een HTO project alleen mogelijk is, als wordt afgeweken van het huidige beleid.

Randvoorwaarde c) (verziltiging van zoet grondwater is niet toegestaan) is van belang voor de mogelijkheden in het derde watervoerende pakket (Formaties van Maassluis en Oosterhout). Op basis van de nu beschikbare informatie is namelijk de verwachting, dat zich binnen het derde watervoerende pakket een overgang van zoet naar zout grondwater bevindt. Deze verwachting is gebaseerd op gegevens die zijn opgevraagd bij drinkwaterbedrijf Vitens, eigenaar van de drinkwaterwinning Ir. Sijmons die ongeveer 4 km ten noorden van de beoogde locatie van de HTO ligt. Bij deze drinkwaterwinning wordt zoet grondwater gewonnen uit het tweede watervoerende pakket. Figuur 4.1 toont een overzicht van de diepte van de zoet-/zout overgang in de omgeving van NEXTgarden, waaruit kan worden afgeleid dat de overgang van zoet naar zout grondwater zich op de beoogde locatie van de HTO op circa 110 à 120 m-mv bevindt. In Figuur 4.2 is voor meetput 40B0379 het verloop van het chloridegehalte in de tijd (per peilfilter) en met de diepte weergegeven, met ook een boorprofiel van op basis van de boorbeschrijving van deze meetput. Het derde watervoerende pakket bevindt zich bij deze meetput op ongeveer 90-130 m-mv. Dat betekent, dat de overgang van zoet naar zout grondwater, zich ongeveer halverwege het derde watervoerende pakket bevindt.



Figuur 4.1 Overzicht informatie over de diepte van de zoet-/zout overgang in de omgeving van de beoogde HTO locatie.



Figuur 4.2 Bovenste grafiek: verloop van de gemeten chloridegehalten in de tijd voor de peilfilters van meetput 40B0379 (zie Figuur 4.1 voor de locatie van deze meetput). De chloridegehalten voor de 4 meest ondiepe peilfilters (getrokken lijnen in de grafiek) zijn af te lezen op de linker y-as en voor het diepste peilfilter (zwarte stippellijn in de grafiek) op de rechter y-as. Onderste grafiek: verloop van het chloridegehalte met de diepte volgens de laatste metingen (1996). Aan de linkerzijde is de bodemopbouw volgens de boorbeschrijving van deze boring schematisch weergegeven.

Uit bovenstaande informatie volgt, dat bij toepassing van HTO in het derde watervoerende pakket waarschijnlijk sprake zal zijn van menging van zoet en brak tot zout grondwater. Volgens het beleid van de provincie Gelderland is dat niet toegestaan. HTO in het derde watervoerende pakket is daardoor alleen mogelijk, als ook op dit punt een uitzondering op het bestaande beleid wordt gemaakt. Een belangrijke vraag hierbij is, in hoeverre verwacht mag worden dat er in de toekomst zoet grondwater zal worden gewonnen uit het bovenste deel van het derde watervoerende pakket. Op voorhand lijkt dat niet waarschijnlijk, omdat bij het winnen van zoet grondwater al snel zout grondwater zal worden aangetrokken.

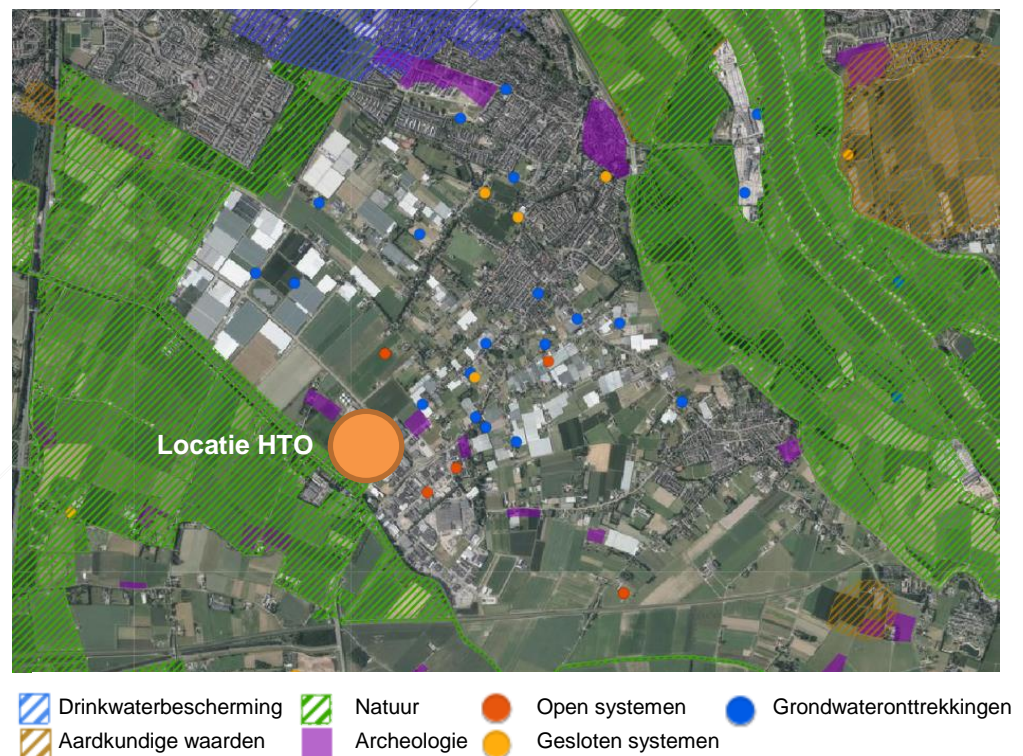
Volgens voorwaarde g) mag er geen nadelige invloed op andere belanghebbenden zijn. Hierop wordt ingegaan in de volgende paragraaf.

4.6 Stakeholder analyse ondergrond

Er is een eerste aanzet gemaakt voor een stakeholderanalyse. Deze richt zich op de ondergrond. Bovengrondse stakeholders vallen buiten de scope van dit onderzoek. Geadviseerd wordt om in een later stadium de stakeholderanalyse verder uit te breiden.

Met behulp van de WKO-tool is een eerste inschatting gemaakt van de aanwezige ondergrondse belangen. Dit is grafisch weergegeven in Figuur 4.3. Aanwezige belangen zijn:

- Nabijgelegen open systemen (WKO)
- Nabijgelegen gesloten systemen
- Nabijgelegen (overige) grondwateronttrekkingen
- Archeologie
- Natuurgebieden
- Grondwaterbeschermingsgebied



Figuur 4.3 Belangen in de omgeving van de beoogde HTO locatie.

De belangrijkste ondergrondse stakeholders zijn hieronder kort beschreven.

Provincie Gelderland

Om een HTO te mogen realiseren, zal een vergunning nodig zijn in het kader van de Waterwet. De Provincie Gelderland is hiervoor het bevoegd gezag. In principe is binnen de huidige regelgeving niet toegestaan om een HTO te realiseren, maar de Provincie mag hier van afwijken. Het is aan de Provincie om een afweging te maken tussen duurzame warmte en de effecten op de ondergrond. Belangen waarmee de Provincierekening zal houden zijn onder andere de grondwaterkwaliteit, belangen van het drinkwaterbedrijf (Vitens), natuurgebieden en

interferentie met andere grondwatergebruikers. Om een goede afweging te kunnen maken zal de provincie middels modelberekeningen een inschatting willen krijgen van de effecten naar de omgeving en zullen ze eisen stellen aan de monitoring. Toepassen van een HTO kan bijdragen aan de klimaatdoelstellingen van de provincie Gelderland.

Gemeente Lingewaard

Het HTO systeem is gepland in de gemeente Lingewaard. Hiermee is de gemeente Lingewaard rechtstreeks een belangrijke stakeholder. Belangen waar de gemeente Lingewaard rekening mee dient te houden zijn verontreinigingen, archeologie, interferentie van nabijgelegen gesloten bodemenergiesystemen en ondergrondse kabels en leidingen. In geval van waterbehandeling door middel van zoutzuurdosering dient rekening te worden gehouden met de geldende veiligheidsnormen. Mogelijk dient hiervoor het bestemmingsplan gewijzigd te worden. HTO kan een bijdrage leveren aan het warmtetransitieplan van de gemeente en ander lokale duurzaamheidsdoelstellingen.

Eigenaar distributienet

Het distributienet zal direct gekoppeld worden aan het HTO-systeem en zal warmte afnemen van het HTO-systeem. De eigenaar van het distributienet kan tevens eigenaar worden van het HTO-systeem, maar dit eigendom zou ook bij de Nuon/Alliander kunnen liggen, of bij een andere partij. Voor de eigenaar van het distributienet zal het van belang zijn dat de HTO in combinatie met het hoofdnet het distributienet van voldoende warmte kan voorzien tegen een marktconforme prijs. Daarnaast kan HTO een bijdrage leveren aan duurzaamheidsdoelen. Wie de eigenaar gaat worden van het nieuwe distributienet, is nog onbekend. Mogelijke kandidaten zijn GreenVice en Lingezegen Energy.

Nuon/Alliander/AVR

Nuon/Alliander is eigenaar van het hoofdnet. AVR is leverancier van warmte, die via het warmtenet wordt gedistribueerd. Het directe belang is de verkoop van extra warmte en aansluiting bij nationale energie- en klimaatdoelen. In combinatie met een HTO is het mogelijk om optimaler gebruik te maken van de bestaande infrastructuur en installaties, om zodoende meer warmte te transporteren en verkopen op jaarbasis. Nuon/Alliander zou mogelijk eigenaar kunnen worden van het HTO-systeem.

Waterschap Rivierenland

Bij de ontwikkeling en periodiek onderhoud van het HTO systeem zal water geloosd moeten worden. Dit dient in overleg te gebeuren met Waterschap Rivierenland. Naast aansluiting bij beleidsdoelen voor klimaat en energie is er een direct belang dat de beschikbaarheid van voldoende en schoon water geborgd is. Een ander belang is de bescherming van waterkeringen. De waterkeringen liggen echter op grote afstand van de beoogde locatie, waardoor dit naar verwachting geen belemmering gaat vormen.

Vitens

Vitens onttrekt drinkwater ten noorden van de beoogde locatie. De afstand van de beoogde locatie van de HTO tot de drinkwaterwinning Ir. Sijmons (ca. 4 km) is dermate groot, dat een HTO-systeem naar verwachting geen belemmering zal vormen. Wel wordt geadviseerd om Vitens te betrekken en is afgesproken om Vitens op de hoogte te houden van het project.

Eigenaren open- en gesloten bodemenergiesystemen en overige grondwateronttrekkingen

In de directe nabijheid van de beoogde locatie liggen een aantal open- en gesloten bodemenergiesystemen en overige grondwateronttrekkingen. De eigenaren van deze systemen hebben een direct belang dat de beoogde HTO geen nadelige

invloed heeft op hun systemen. Bij de provincie Gelderland zijn de bij hen geregistreerde grondwateronttrekkingen opgevraagd. Binnen een straal van 5 km van de beoogde locatie van de HTO zijn (afgezien van de drinkwaterwinning van Vitens) de volgende onttrekkingen geregistreerd:

- Gietwaterbedrijf Bergerden BV heeft een vergunning voor het onttrekken van maximaal 1,4 miljoen m³/jaar uit het tweede watervoerende pakket (50-70 m-mv) op 1,6 km ten westnoordwesten van de beoogde locatie van de HTO.
- Lingezege Energy BV heeft een vergunning voor het onttrekken en infiltreren van maximaal 980.000 m³/jaar in het tweede watervoerende pakket (30-70 m-mv) op circa 800 m ten noordwesten van de beoogde locatie van de HTO.
- Op 2,2 km afstand van de beoogde locatie van de HTO is een WKO vergunning op naam van Evers geregistreerd. Volgens de vergunning mag hier maximaal 450.000 m³/jaar worden onttrokken en geïnfiltreerd tussen 25 en 60 m-mv (tweede watervoerende pakket).
- Gemeente Lingewaard (3,1 km van de locatie) heeft vergunning voor het onttrekken en infiltreren van maximaal 200.000 m³/jaar tussen 33 en 65 m-mv (tweede watervoerende pakket) ten behoeve van WKO.
- Op 4,2 km afstand van de beoogde locatie van de HTO is een WKO vergunning op naam van Gellecum geregistreerd. Volgens de vergunning mag hier maximaal 250.000 m³/jaar worden onttrokken en geïnfiltreerd tussen 30 en 70 m-mv (tweede watervoerende pakket).

Gezien de afstand tot deze grondwateronttrekkingen en het feit dat deze grondwateronttrekkingen zich niet in hetzelfde watervoerende pakket bevinden, is de verwachting zal er geen nadelige invloed zijn op deze grondwateronttrekkers.

5 Risico inventarisatie en plan van aanpak vervolgstappen

5.1 Risico-inventarisatie

De belangrijkste projectrisico's zijn geïnventariseerd op basis van projecten in het verleden en op basis van resultaten beschreven in voorgaande hoofdstukken.

Risico's zijn onder te verdelen in:

- Technische risico's
- Commerciële risico's
- Milieu- en veiligheidsrisico's
- Juridisch kader en maatschappelijk draagvlak

5.1.1 *Technisch risico en mitigatie*

De belangrijkste risico's van technische aard zijn:

- Onzekerheid eigenschappen doelpakket en bovenliggende lagen
- Operationele prestaties van componenten, met name bronmaterialen en pompen
- Integriteit van bronnen

Een onzekere factor is de doorlaatbaarheid van het beoogde opslagpakket. Voor de beoogde locatie is de dikte van de bovenliggende kleilagen ook van groot belang. Dit heeft namelijk sterk invloed op de verwachte temperatuurstijging in bovenliggende lagen. De belangrijkste mitigatiemaatregel is het uitvoeren van een proefboring. Hiermee kunnen de eigenschappen van het doelpakket en die van bovenliggende lagen beter worden gekarakteriseerd, zodat de performance van de HTO en de mogelijke effecten op bovenliggende lagen in meer detail kunnen worden berekend.

Een technisch risico die de operationele prestaties van de HTO kan beïnvloeden is de scaling en de verstopping van de bron; en dan met name carbonaatneerslag. De geochemie van het doelpakket en de temperaturen in de operationele fase van de HTO zijn belangrijke parameters die de scaling en verstopping kunnen voorspellen. Afhankelijk van de gekozen opslagtemperatuur en de watersamenstelling in het gebruikte watervoerende pakket kan waterbehandeling nodig zijn, in combinatie met een goed monitoringssysteem (zie paragraaf 3.5.1 en 4.4).

Materiaalkeuze is hier ook een belangrijke mitigatiemaatregel en hier zal dan ook uitgebreid aandacht aan moeten worden besteed in de ontwerpfase. Ook hier is het temperatuurniveau van de opgeslagen een belangrijke randvoorwaarde. Bij lage opslagtemperaturen (45 °C) kan nog gewerkt worden met standaard materialen die gebruikelijk zijn bij "lage temperatuur WKO-systemen". Als de opslagtemperaturen verder oplopen, moet worden overgeschakeld op andere materialen, die bestand zijn tegen de hogere temperaturen.

Belangrijke componenten in het ontwerp van de HTO zijn de pompen. Een hoogstwaarschijnlijke keuze is die voor een submersible pump ESP. Het ontwerp en configuratie voor de pompinstallatie is van groot belang voor de continuïteit van de operatie van de HTO en verdient dus extra aandacht in de ontwerpfase. Het vervangen van een pomp tijdens operationele fase is een kostbare en tijdrovende situatie. Redundantie in het ontwerp (bijvoorbeeld door capaciteit middels meerdere injectie en productiebronnen), O&M planning en monitoring van de pompen tijdens operationele fase zijn belangrijke mitigatiemaatregelen.

Erosie en corrosie zijn belangrijke faalfactoren voor geothermische systemen, zo mogelijk ook voor HTO. De belangrijkste reden dat bij geothermie sprake is van

corrosie-risico's is dat gebruik wordt gemaakt van koolstofstalen casings met een lage corrosiebestendigheid. Bij de HTO projecten uit het verleden is voor de casings gebruik gemaakt van Glasvezelversterkt Kunststof en is daardoor geen sprake van een risico op corrosie van de casings. Wel is er in het ontwerp aandacht nodig voor corrosierisico's voor andere componenten in het systeem. De hoge temperaturen en het toevoegen van zuur ten behoeve van de waterbehandeling zijn hierbij risico verhogende factoren.

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

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

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

5.1.2 *Commerciële risico's*

De belangrijkste commerciële projectrisico's zijn:

- Tegenvallende investeringskosten
- Rendement en kwaliteit van de geproduceerde warmte
- Volume en prijsrisico's

De techniek HTO staat sinds de jaren 80 van de vorige eeuw in de belangstelling. Tot op heden zijn slechts een paar HTO-systemen gerealiseerd in Nederland. De kostenschattingen in dit rapport zijn gemaakt op basis van gerealiseerde projecten (ook WKO in Maassluis) en recent uitgevoerde ontwerpen (bijvoorbeeld GeoMec en HTO opslag bij AVR-Duiven). De kostenschatting voor de investering kunnen daarom in realiteit afwijken (zeker +/- 25%). Na het doen van de proefboring en de terrein-inventarisatie kunnen de kosten veel nauwkeuriger (+/- 10 %) worden ingeschat.

De marginale kosten van de HTO wordt voor een groot deel bepaald door het rendement van HTO-systeem. Het opslagrendement is de verhouding tussen de opgeslagen warmte en de nuttig geleverde warmte. Warm water heeft een lagere dichtheid dan koud water. Hierdoor ontstaan dichtheidsstromingen, waarbij warm water naar boven stroomt en koud water in het onderste deel van het opslagpakket wordt aangetrokken. Een deel van de opgeslagen warmte gaat verloren. Dit uit zich als niet teruggewonnen warmte en temperatuurdaling van teruggewonnen warmte. Het rendement van de HTO kan tegenvallen door tegenvallers in de ondergrond, door suboptimale inzet of extreme seizoensvariaties tussen verschillende jaren. De verhouding tussen geïnjecteerde warmte en teruggewonnen warmte moet goed

worden afgestemd (geen jaarlijkse over-injectie of onderproductie van warmte). De afkaptemperatuur dient ook zo laag mogelijk te zijn, zodat ook productie van lagere kwaliteit warmte aan het einde van het stookseizoen nog nuttig kan worden ingezet. Dit kan door het combineren van de HTO met een (industriële) warmtepomp of (hulp)warmtebron.

Volume- en prijsrisico's van de warmtelevering zullen moeten worden gedekt. Volumerisico's door voldoende zekerheden in warmteafname door gedegen vraagvoorspelling en vastlegging voor de economische looptijd van de HTO. Prijsrisico's kunnen ook worden afgedekt door warmteafnameovereenkomsten.

5.1.3 *Milieu- en veiligheidseffecten en risico's*

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

De belangrijkste aandachtspunten in de vergunningverlening zijn:

- Grondwaterkwaliteit
- Microbiologie
- Zettingen door temperatuurveranderingen
- Effecten waterbehandeling op waterkwaliteit

Risico's voor het milieu kunnen voortkomen uit lekkage van bronnen. Het is daarom aan te bevelen een risicoanalyse te doen van het HTO-systeem in ontwerpfasen en deze risico's waar nodig te monitoren gedurende de operationele fase en na afsluiting. Een eerder uitgevoerde haalbaarheidsstudie voor een HTO-project liet een kwalitatieve analyse van de mogelijke risico's van putfalen zien. Deze omvatte de belangrijkste faalscenario's voor de bronnen in de HTO: Interne en externe corrosie; materiaalstress; en productiefouten. Deze scenario's kunnen lekkage van formatiewater in bovenliggende watervoerende pakketten als gevolg hebben. Dit kan vervolgens thermische, chemische en microbiologische effecten hebben. Er zijn beproefde methoden beschikbaar om bovenstaande faalscenario's en hun mogelijke effecten te monitoren. Tenslotte zijn de effecten te corrigeren doormiddel van technische en operationele maatregelen. Mochten er milieueffecten optreden dan lijken deze niet onomkeerbaar.

5.1.4 *Juridisch kader en maatschappelijk draagvlak*

De Provincie is de vergunningsverstrekker voor HTO-projecten ondieper dan 500m. Hiervoor dient een Waterwetvergunning te worden aangevraagd, conform artikel 6.4 van de Waterwet. Volgens de AMvB Bodemenergie is de injectie van water boven de 25 °C niet toegestaan, maar als het project wordt beschouwd als een pilot R&D project kan er (onder bepaalde voorwaarden) wel een vergunning worden verleend. Het bevoegd gezag zal eisen aan onderzoek en monitoring stellen om mogelijk nadelige effecten van hogere injectietemperatuur en het warmteoverschot beter in kaart te brengen en, indien noodzakelijk, te mitigeren.

De aandachtspunten vanuit vergunningverlening voor ondiepe HTO systemen zijn:

- De hogere infiltratietemperatuur en mogelijk effecten op de bodem en grondwater (temperatuurstijging en chemie & microbiologie);
- De hoeveelheid opgeslagen warmte, het overschot en de mogelijke effecten hiervan;
- Het verwachte en gerealiseerde energierendement;
- Eventuele verzilting van het zoete grondwater door menging en/of dichtheidsgedreven grondwaterstroming.

Het maatschappelijk draagvlak bij omwonenden en andere belanghebbenden kan zowel een kans als risico betekenen voor het project. Om het laatste te voorkomen wordt aanbevolen om een volledige stakeholder analyse uit te voeren van belanghebbenden rond het realiseren, vergunnen en exploiteren van een HTO-project. Hier opvolgend kan dan een communicatie- en participatieplan worden opgesteld, zodat in vroeg stadium hobbels worden weggenomen voor de verlening van een vergunning vanuit het bevoegd gezag en het versterken van maatschappelijk draagvlak.

5.1.5 *Risico mitigatie: proefboring*

De proefboring maakt een aantal zaken duidelijk die van groot belang zijn voor de performance van de HTO: dikte afsluitende kleilaag, dikte zandlaag, horizontale en verticale doorlatendheid. Daarnaast levert de proefboring inzicht in de bodem- en grondwatereigenschappen die van belang zijn voor het inschatten van scaling, corrosie en bodemzetting als gevolg van de HTO.

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

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

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

5.1.6 *Inschatting belangrijkste projectrisico's*

Een inschatting van de belangrijkste projectrisico's is weergegeven in Tabel 5.1. Zoals aangegeven in de tabel wordt het risico van het niet vergunnen van het project als grootste projectrisico gezien. Dit komt met name door het feit dat niet verkrijgen van een vergunning een directe impact heeft op de doorgang van het project. De overige projectrisico's kennen één tot meerdere beheersmaatregelen en zijn daardoor lager ingeschaald. Het reduceren van projectrisico's zal het meest effectief zijn door een dialoog op te zetten met bevoegd gezag en belanghebbenden om het vergunning traject succesvol te laten verlopen, het laten uitvoeren van een proefboring en het opstellen van een robuuste strategie voor de operationele inpassing van de HTO. Een belangrijke complicerende factor voor dit project is dat in het meest geschikte watervoerende pakket een overgang van zoet naar zout grondwater aanwezig is: daardoor is afwijken van het bestaande beleid niet alleen nodig op het punt van de opslag temperatuur en het warmteoverschot in de ondergrond, maar ook op het punt van verzilting van het zoete grondwater. Het drinkwaterbedrijf (Vitens) en wellicht ook het Gietwaterbedrijf Bergerden zijn hierbij de belangrijkste partijen die mogelijk bezwaar zouden kunnen hebben. Naast de Provincie is het daarom belangrijk om deze partijen in het vervolgtraject te betrekken.

Tabel 5.1 Overzicht projectrisico's.

Risico	Kans	Gevolg	Beheersmaatregel
HTO niet vergunbaar en/of niet acceptabel voor stakeholders	Verhoogd risico	Vergunning wordt niet verleend, maatschappelijk draagvlak ontbreekt	Vroegtijdig betrekken en informeren van het bevoegd gezag en stakeholders
Operationele inpassing in bedrijf warmtenet suboptimaal: - Ongunstige verhouding tussen opgeslagen en teruggewonnen warmte - Vraagontwikkeling blijft achter	Gemiddeld risico	Opslagrendement lager dan verwacht Lagere opbrengsten dan verwacht	- Robuuste operationele strategie voor verschillende stookseizoenen opstellen - Monitoren van performance HTO (met name temperatuur) - Ontwerpen op een zo laag mogelijke afkaptemperatuur - Afzetmarkt warmte uit HTO garanderen
Warmteverlies in de ondergrond boven verwachting	Gemiddeld risico	- Lager vermogen en temperatuurniveau aan het einde van het stookseizoen - Lagere inkomsten en/of hogere operationele kosten - Grotere thermische effecten (en daaraan gekoppelde effecten op de grondwaterkwaliteit)	- Proefboring om met grotere zekerheid de opbouw en eigenschappen van de ondergrond te bepalen - Optimalisatie van het ontwerp om het opslagrendement te maximaliseren (b.v. verlagen afkaptemperatuur of aanpassen putconfiguratie) - Putafwerking met isolerend materiaal en/of dikkere omstorting - Operationele strategie aanpassen
Overschrijding CAPEX door extra onvoorziene kosten tijdens uitvoering of ongunstige aanbesteding	Gemiddeld risico	Verslechtering businesscase	Goed ontwerp met veel aandacht voor inpassing in een complexe omgeving
Debiet per bron lager dan verwacht	Beperkt risico	Lager vermogen dan verwacht	- Proefboring om met grotere zekerheid het debiet per bron te kunnen bepalen - Aanpassen ontwerp: aantal bronnen vergroten om vermogen te verhogen (grote invloed op investeringen)
Verstopping van warmtewisselaar en bronnen door scaling	Beperkt risico	Daling vermogen door lager debiet en slechtere warmteoverdracht	- Proefboring om geo-chemische eigenschappen van grondwater en doelpakket te analyseren en

		- Hogere operationele kosten	ontwerp daarop afstemmen (materialen en waterbehandeling) - Gebruik waterbehandeling aanpassen - Systeem reinigen gedurende operatie
Verstoring bodemmilieu en integriteit	Beperkt risico	- Mogelijke operationele consequenties: verlagen debiet, verlagen temperatuur	- Risicomanagement systeem - Monitoringsprogramma

5.2 Plan van aanpak voor het vervolg

Op basis van de resultaten van het voorliggende onderzoek worden de volgende vervolgstappen aanbevolen (steeds uitgaande van een positief resultaat van de voorgaande stap):

1. Het traject met de Provincie en Vitens om de vergunbaarheid (op basis van de huidige informatie) helder te krijgen en een beslisboom af te stemmen.
2. Herbemonsteren van meetput 40B0379 (na voorafgaande toestemming van Vitens), om de huidige diepte van de zoet-/zout overgang vast te stellen.
3. Uitgebreide stakeholderanalyse en plan opstellen voor informeren stakeholders gedurende het vervolgtraject
4. Optuigen projectorganisatie
5. Vaststellen definitieve locatie HTO (voor zover mogelijk rekening houdend met input Provincie en Vitens)
6. Voorlopig ontwerp en aanvraag vergunning Waterwet.
7. Verkennen subsidiemogelijkheden project ³
8. Uitvoeren proefboring met putproef en grondwaterkwaliteitsonderzoek om de ondergrond beter in beeld te krijgen. De proefboring dient tevens als monitoringsput tijdens de operationele fase van het project.
9. Herbeoordeling van de haalbaarheid op basis van de resultaten van de proefboring.
10. Definitief Ontwerp van het HTO-systeem
11. Aanbesteding van de werkzaamheden die nodig zijn voor de realisatie
12. Realisatie van het HTO-systeem
13. Exploitatie en monitoren van het HTO-systeem

³ Verschillende subsidietrajecten zijn denkbaar:

DEI regeling: <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/demonstratie-energie-innovatie>

Hernieuwbare Energie regeling: <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/subsidies-energie-innovatie-topsector-energie/hernieuwbare-energie>

MMIP -Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma's: <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/subsidies-energie-innovatie-topsector-energie/meerjarige-missiegedreven-innovatie-programmas>.

Als voorloper van zo'n MMIP wordt op dit moment het consortium WINDOW (Warmtevoorziening In Nederland Duurzamer met Ondergrondse Warmteopslag) opgetuigd. De eerste fase van WINDOW zal een totale omvang hebben van ongeveer 1,5 tot 2 miljoen euro, verdeeld over generiek onderzoek en het uitvoeren van case studies en nader onderzoek op projectlocaties (o.a. proefboringen). In de tweede fase worden 2 à 3 demonstratieprojecten uitgevoerd en ondersteund met subsidie die elk zeker 3 jaar worden gemonitord

6 Referenties

Bonte, M., Visser, P., Kooi, H., van Breukelen, B., Claas, J., Chacón Rovati, V. and Stuyfzand, P.J. (2011). Effects of aquifer thermal energy storage on groundwater quality elucidated by field and laboratory investigations. Proceedings 1e Nationaal Congres Bodemenergie, Utrecht, Nederland.

Bonte, M., van Breukelen, B. M. and Stuyfzand, P.J. (2013). Temperature-induced impacts on groundwater quality and arsenic mobility in anoxic aquifer sediments used for both drinking water and shallow geothermal energy production. *Water Research* 47: 5088-5100.

Brons, H.J. (1992). Biogeochemical aspects of aquifer thermal energy storage. 127 pages. LUW, Wageningen.

Brons, H.J., Griffioen, J., Appelo, C.A.J. and Zehnder, A.J.B. (1991). (Bio)Geochemical Reactions in Aquifer Material from a Thermal-Energy Storage Site. *Water Research*, 25(6): 729-736.

Drijver, B.C. (2011). High Temperature Aquifer Thermal Energy Storage (HT-ATES): Water treatment in practice. Eerste Nationaal Congres Bodemenergie, Utrecht, Nederland, 13 - 14 Oktober 2011.

Drijver, B. (2012). Hogetemperatuurwarmteopslag - kennisoverzicht en praktijkmetingen rondom hogetemperatuurwarmteopslagsystemen. Deelrapport 6 onderzoeksprogramma Meer Met Bodemenergie.

Drijver, B., van Aarssen, M., de Zwart, B. (2012). High-temperature aquifer thermal energy storage (HT-ATES): sustainable and multi-usable. Paper presented at InnoStock 2012, Lleida, Spain, May 2012.

De Boer, S., Dinkla, I., Drijver, B., Hartog, N., Koenders, M., en Mathijssen, H. (2012) Cahier Meer Met Bodemenergie. SKB, Gouda.

Dinkla, I., Lieten, S., Hartog, N. en Drijver, B. (2012) Effecten op de ondergrond - Effecten van bodemenergiesystemen op de geochemie en biologie in praktijk. Resultaat metingen op pilotlocaties en labtesten. Deelrapport 3-4 onderzoeksprogramma Meer Met Bodemenergie

Hartog, N., Drijver, B., Dinkla, I. and Bonte, M. (2013) Field assessment of the impacts of Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) systems on chemical and microbial groundwater composition. Proceedings European Geothermal Congress 2013, Pisa, Italy, 3-7 June 2013.

Jesušek, A., Grandel, S. and Dahmke, A. (2013). Impacts of subsurface heat storage on aquifer hydrogeochemistry. *Environ Earth Sci* 69: 1999-2012.

Sanner, B. (ed.) (1999). High Temperature Underground Thermal Energy Storage, State-of-the-art and Prospects. *Giessener Geologische Schriften*, 67, 158 p., 1999.

Sauty, J.P., Gringarten, A.C., Menjoz, A., Landel, P.A. (1982). Sensible energy storage in aquifers: 1. theoretical study. *Water Resour Res* 18(2):245-252.

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

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

Van Lopik, J.H., Hartog, N., Zaadnoordijk, W.J., Cirkel, D.G., Raof, A. (2015). Salinization in a stratified aquifer induced by heat transfer from well casings. *Adv Water Resour* 86: 32-45.

7 Ondertekening

Utrecht, 6 maart 2019

TNO

Paul Wyers
(TNO)

Rob Kleinlugtenbelt (IF) & Benno Drijver (IF)
Afdelingshoofd

Maartje Struijk (TNO) & Joris Koorneef

Auteur