



## **BODEMENERGIE MET MIDDELHOGE TEMPERATUUR OPSLAG**

### **INVENTARISATIE MOGELIJKHEDEN VOOR MTO-PILOTS IN ZUID-HOLLAND**

Opdrachtgever: **Greenport West-Holland**

Projectnummer: 2023-GPWH-001

Kenmerk: 240202.MTO.GPWH

Opgesteld door: M.H. van Someren

Datum: 2 februari 2024

1	INLEIDING .....	3
1.1	Aanleiding en doel.....	3
1.2	Leeswijzer .....	4
2	PRINCIPE VAN WARMTE KOUDE OPSLAG EN ERVARINGEN MTO.....	5
2.1	Principe van een open bodemenergiesysteem.....	5
2.2	Generieke onderzoeksresultaten van hogere temperatuur opslag in grondwater .....	5
2.3	Regionale studie bodempotentie HTO in Zuid-Holland .....	8
2.4	Resultaten onderzoek Koppert-Cress .....	9
2.5	Recente resultaten WarmingUp, HTO onderzoek Middenmeer .....	11
3	WETGEVING, VERGUNNINGVERLENING EN PROVINCIAAL BELEID .....	12
3.1	Wettelijk kader bodemenergie.....	12
3.2	Omgevingswet en een Milieu belastende activiteit .....	12
3.3	Beleid provincie Zuid-Holland en gemeenten .....	14
3.4	Aspecten bij de vergunningverlening voor een MTO-pilot .....	15
3.5	Fall back scenario vergunninghouder bij onacceptabele effecten MTO-pilot .....	16
4	GEOHYDROLOGIE IN RELATIE TOT TOEPASSING MTO .....	17
4.1	Bodemopbouw en geohydrologie.....	17
4.2	Resultaten bodemopbouw uit regionale studie bodempotentie HTO .....	17
4.3	Potentieel geschikte watervoerende pakketten voor MTO .....	17
5	INVENTARISATIE AANGEMELDE ONDERNEMERS VOOR DE MTO-PILOT .....	19
5.1	Inventarisatie teelt, omvang ervaring met open bodemenergiesystemen .....	19
5.2	Verschillende vergunning trajecten voor de MTO-pilots .....	20
6	MONITORING EFFECTEN MTO .....	21
6.1	Monitoring bij HTO versus MTO.....	21
6.2	Mogelijke vergunningvoorschriften MTO-monitoring op basis van HTO .....	23
6.3	Kosten en aanpak temperatuur monitoring MTO.....	23
6.4	Mogelijkheden subsidie in gezamenlijk vervolgtraject TKI.....	25
7	AANBEVELINGEN VOOR INITIATIEFNEMERS VAN EEN MTO .....	26
8	SAMENVATTING EN VERVOLG .....	28
9	LITERATUURLIJST .....	30
10	BIJLAGEN.....	31

# 1 INLEIDING

## 1.1 Aanleiding en doel

De energietransitie is in volle gang en daarbij is duidelijk geworden dat op alle gebieden energiebesparende toepassingen wenselijk en noodzakelijk zijn. Een generiek knelpunt bij de energietransitie is het tijdelijk kunnen opslaan van energie. Door de sterk variërende vraag en aanbod van energie krijgt opslag van energie een steeds centralere rol. In de glastuinbouw is, afhankelijk van de inrichting van de kas en de teelt, de energievraag voor koelen en verwarmen zeer groot.

Bodemenergie is een hernieuwbare energiebron waarbij gebruik gemaakt wordt van het per seizoen opslaan en onttrekken van thermische energie in de ondergrond. De in rijksregels generiek toegestane maximale temperatuur om grondwater in de ondergrond op te slaan is 25 graden Celsius. Voor de warmteafgifte aan een gebouw wordt de temperatuur in een generiek bodemenergiesysteem verder verhoogd met een warmtepomp. Dit resulteert in een energiebesparing / CO<sub>2</sub> reductie van circa 50% ten opzichte van conventionele technieken.

Een energiebesparing en dus CO<sub>2</sub> reductie tot 90% is mogelijk als een regulier bodemenergie systeem grondwater mag opslaan met een temperatuur in de orde grootte van 45 à 60 graden Celsius. De noodzaak om een warmtepomp toe te passen wordt namelijk steeds kleiner als de temperatuur van het opgeslagen grondwater overeenkomt met de afgifte temperatuur in het gebouw. Voor de glastuinbouw liggen hier kansen op energiebesparing. Zowel voor de koeling van de teelt als voor verwarming van de kassen. Daarnaast is het gebruik van externe warmtebronnen zoals restwarmte of aardwarmte in de glastuinbouw in Zuid-Holland zeer kansrijk. Door seizoensopslag kunnen deze bronnen bijdragen in een duurzame energiemix.

Omdat op praktijkschaal de effecten van warmteopslag boven de 25 graden niet voldoende bekend zijn, zijn de provincies in Nederland als de bevoegd gezagen terughoudend om dit toe te staan. De initiatiefnemer moet vooraf aantonen dat het opslaan van grondwater boven de 25 graden Celsius geen negatieve effecten heeft op het milieu en het functioneren van de bodem. Ofschoon er al heel veel onderzoek verricht is naar ondergrondse warmteopslag is het aantonen dat er geen negatieve effecten zijn voor een initiatiefnemer zeer lastig. Hierdoor stagneert de verdere optimalisering van energiebesparing van deze hernieuwbare energiebron.

In Zuid-Holland is in provinciaal beleid vastgelegd dat bij Midden Temperatuur Opslag (MTO >30°C) of Hoge Temperatuur Opslag (HTO > 60 °C), Gedeputeerde Staten alleen een vergunning kan verlenen binnen een door de provincie *geaccordeerde pilot*. Bij het accorderen van een pilot worden doorgaans door Gedeputeerde Staten aanvullende eisen gesteld.

Greenport West-Holland heeft in overleg met de provincie Zuid-Holland een project opgestart om te inventariseren of bij een aantal al producerende WKO (warmte-koude opslag) -systemen de maximale temperatuur van het grondwater tot circa 45 graden verhoogd kan worden. Uitgangspunt hierbij is dat dit binnen een *geaccordeerde pilot*, onder aanvullende voorwaarden, door de provincie Zuid-Holland toegestaan kan worden. In dit rapport wordt het project nader toegelicht.

Een van de belangrijkste voorwaarden om in te stemmen met warmteopslag boven de 25 graden Celsius is een betrouwbare monitoring van mogelijke effecten in de ondergrond. De te monitoren aspecten zijn de ruimtelijke temperatuureffecten en de chemische en microbiologische samenstelling van het grondwater. Daarnaast zal voorafgaand aan een pilot het verspreidingsgedrag van het warme grondwater in de ondergrond in een 3-dimensionaal tijdsafhankelijk grondwatermodel bepaald moeten zijn. Monitoring van het verkregen energetisch rendement is tevens een vereiste.

De provincie Zuid-Holland wil, binnen de *geaccordeerde pilot*, ook ruimte bieden voor nieuw te ontwikkelen open bodemenergiesystemen waarvoor de realisatie en het bijbehorende vergunningstraject nog geheel opgestart moet worden. Bij deze nieuw te ontwikkelen systemen zijn in overleg met

de provincie ook hogere opslagtemperaturen dan 45 graden Celsius mogelijk. De toe te passen materialen van een MTO-systeem met temperaturen hoger dan 45 graden Celsius zijn veeleisender dan onder 45 graden Celsius.

Tijdens de inventarisatie van MTO-mogelijkheden hebben zich 20 glastuinbouw-ondernemers aangemeld met interesse voor MTO. Met 10 van deze ondernemers is samen met de provincie Zuid-Holland en de Omgevingsdienst Haaglanden gesproken over proces en randvoorwaarden van een “pilot” vergunningverlening.

De doelstellingen van deze MTO-pilots zijn:

- energiebesparing door realisatie van MTO-pilots in de glastuinbouw;
- praktijkervaring opdoen over de bodemzijdige effecten en de doelmatige monitoring daarvan;
- praktijkervaring opdoen over de gebouwzijdige installatietechniek, de kosten en de efficiency;
- praktijkervaring opdoen over eisen aan en vergunningverlening van MTO in de glastuinbouw.

Streven is om in het 1<sup>e</sup> kwartaal 2024 Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland een pilot-voorstel te laten accorderen en tevens de eerste vergunningverlening trajecten met de Omgevingsdienst Haaglanden op te starten. Hiertoe wordt een beknopt plan van aanpak opgesteld en aan de provincie voorgelegd. Deze rapportage kan als bijlage dienen voor het plan van aanpak en als achtergrond document voor vergunningverleners, initiatiefnemers en gemeenten.

## 1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 van dit rapport wordt het principe van bodemenergie en de mogelijke effecten van opslag van grondwater met temperaturen boven de 25 graden Celsius beschreven. Binnen diverse onderzoekconsortia is op verschillende locaties in Nederland al kennis en ervaring opgedaan met MTO. Ook op laboratoriumschaal zijn er veel onderzoeksresultaten beschikbaar over de mogelijke effecten van opwarming van grondwater boven de 25 graden Celsius.

Hoofdstuk 3 beschrijft het wettelijk kader, vergunningverlening en het provinciaal beleid.

In hoofdstuk 4 wordt ingezoomd op de bodemopbouw en andere functies in de ondergrond. Ook worden mogelijke beperkingen voor de ruimtelijke inpassing van MTO-systemen beschreven.

In hoofdstuk 5 wordt een overzicht gegeven van de voor MTO geïnteresseerde ondernemers en de verschillende vormen van te vergunnen situaties.

Hoofdstuk 6 behandelt de verschillende aspecten en kosten van monitoring bij MTO en HTO pilots.

In hoofdstuk 7 worden praktische aanbevelingen beschreven voor ondernemers die een MTO-pilot overwegen of al aan het opstarten zijn.

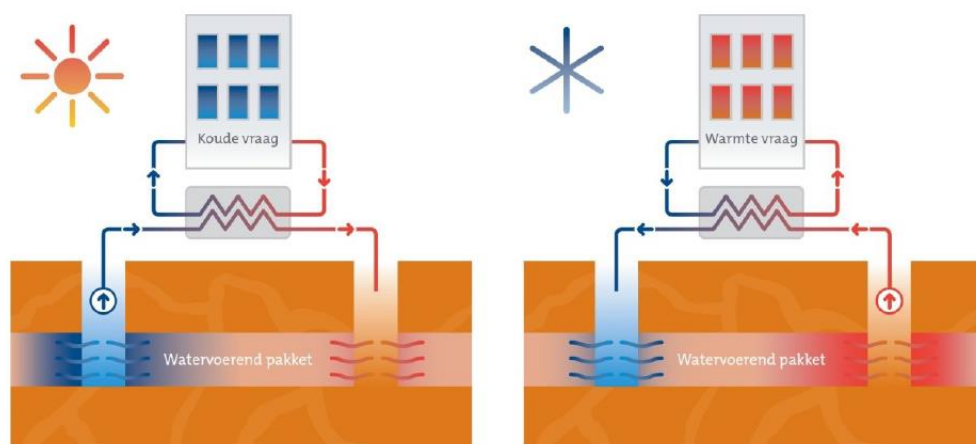
Hoofdstuk 8 geeft een samenvatting en een generieke aanbeveling voor vervolgstappen in het traject van MTO-pilots.

## 2 PRINCIPE VAN WARMTE KOUDE OPSLAG EN ERVARINGEN MTO

### 2.1 Principe van een open bodemenergiesysteem

Bodemenergie met open systemen maakt gebruik van grondwater om warmte en koude op te slaan in de ondergrond. De naam voor deze toepassing is open bodemenergiesystemen of afgekort OBES. Een algemene naam hiervoor is ook Warmte Koude Opslag (WKO). Kenmerk is dat grondwater als energiedrager wordt gebruikt voor ruimteverwarming of -koeling.

Een OBES maakt in de basis gebruik van de natuurlijke achtergrondtemperatuur van het grondwater. Op een diepte van 100 m -mv is dat in Nederland circa 12 graden. Als dit opgepompte grondwater gebruikt wordt om een ruimte te koelen wordt er warmte aan het grondwater toegevoegd. Dit opgewarmde grondwater wordt in een andere bron, binnen hetzelfde watervoerende pakket, teruggebracht in de ondergrond. Op het moment dat er behoefte is voor verwarming van een ruimte wordt het eerder opgeslagen opgewarmde grondwater opgepompt. De warmte uit dit water wordt afgegeven aan de te verwarmen ruimte en het daardoor afgekoelde grondwater wordt teruggebracht in de oorspronkelijke bron, die daardoor afkoelt. In Nederland zijn er meer dan 3000 systemen die op deze manier warmte en koude opslaan in de ondergrond. Bij meer dan 95% van deze systemen ontstaan hierdoor in de ondergrond “warme en koude bellen” met temperaturen tussen circa 17 en 7 graden Celsius. De onderstaande afbeelding toont een opstelling van de koude en warme bron als doublet. Links in de koelmodus en rechts in de verwarmingsmodus, geredeneerd vanuit het gebouw.



Links koudevraag: grondwater warmt op

Rechts warmtevraag: grondwater koelt af

### 2.2 Generieke onderzoeksresultaten van hogere temperatuur opslag in grondwater

In Nederland en Europa zijn en worden meerdere onderzoekstrajecten naar effecten van hogere temperatuuropslag uitgevoerd. Dit betreft onder andere Meer met Bodemenergie (2009-2012), HeatStore, Window (Warmtevoorziening In Nederland Duurzamer met Ondergrondse Warmteopslag), WarmingUP, WarmingUP-GOO en MOOI. Voor de onderzoeksresultaten wordt verwezen naar de desbetreffende project-informatie en documenten die openbaar op internet geplaatst zijn. Vanuit wettelijk kader en juridisch perspectief geeft de rapportage van Window fase 1 richting aan de vergunningverlening van Hogere Temperatuur Opslag (*Juridisch achtergronddocument, Wet- en regelgeving voor de toepassing van Hoge Temperatuur Opslag, IF-technology/KWR*, 26 november 2020, referentie 69161/RK/20201007). Samen met het in WarmingUP gepubliceerde “*Voorlopig afwegingskader voor vergunningverlening HTO*” (KWR/IF-technology, 29 oktober 2021) is hierin een

basis gelegd voor vergunningverlening van warmte opslag in de bodem op temperaturen hoger dan 30 graden Celsius.

Een technisch inhoudelijke algemene analyse van de effecten van generieke bodemenergie tot 25 graden maar ook hoger is in het onderzoeksprogramma "Meer Met Bodemenergie" (2009, in opdracht van SKB) beschreven. Hieronder wordt daar verder op ingegaan.

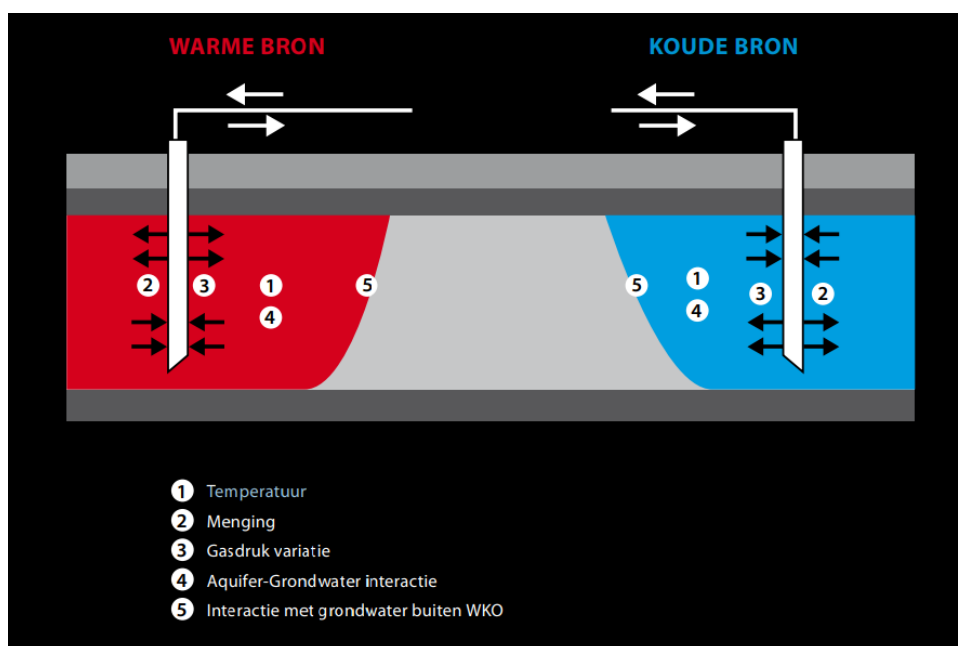
Project specifieke onderzoeksresultaten zijn er ook. Zo is een MTO-pilot in Zuid-Holland binnen het Heatstore onderzoeksprogramma uitgevoerd in de glastuinbouw bij Koppert-Cress in Monster. De bevindingen van deze pilot zijn in paragraaf 2.4 beschreven.

Het onderzoeksprogramma "Meer Met Bodemenergie" was gericht op de chemische, biologische en fysische effecten van bodemenergie op de ondergrond. Beschreven is dat verschillende processen in de bodem door de temperatuur van het grondwater worden beïnvloed, met name:

- dichtheidsstroming;
- microbiologie
- mineraalevenwichten;
- reactiesnelheden.

### Dichtheidsstroming

Grondwaterstroming door verschillen in dichtheid gaat een rol spelen als het grondwater een temperatuur heeft boven de 25 graden Celsius. Indien binnen een grondwaterpakket zout en zout grondwater aanwezig is kan door dichtheidsverschillen ook een grondwaterstroming ontstaan.



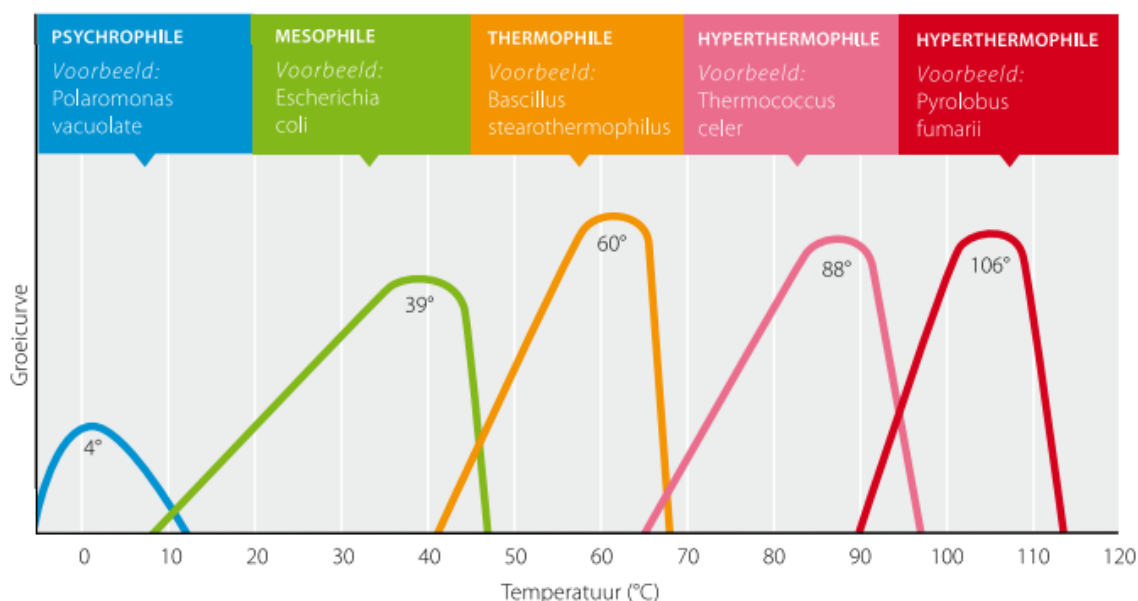
Afbeelding van een doublet met verschillende effecten van een bodemenergiesysteem op het grondwater (bron: Cahier Meer Met Bodemenergie, april 2012)

## Microbiologie

Elk type micro-organisme heeft zijn eigen optimale temperatuur, welke bepaald wordt door het optimale temperatuurbereik van de enzymen waarmee het soort organisme actief is. Bij kleine veranderingen in de temperatuur kunnen de organismen hun processen normaal gesproken blijven uitvoeren. Bij grotere veranderingen in temperatuur nemen andere groepen organismen met andere enzymen deze processen over. Dit gebeurt zowel bij verhoging als bij verlaging van de omgevingstemperatuur. Op het moment dat lokaal het temperatuurbereik van één van de groepen wordt overschreden, kunnen in theorie irreversibele effecten ontstaan. Wordt bijvoorbeeld de temperatuur tot meer dan 50 °C verhoogd, dan verdwijnen of inactiveren temperatuurgevoelige organismen. Daalt de temperatuur vervolgens weer naar 30 °C dan zijn deze organismen niet meer beschikbaar. Binnen het onderzoek in Meer Met Bodemenergie is aangetoond dat de microbiologische functies zich echter ook weer kunnen herstellen. Bijvoorbeeld door aanvoer van oorspronkelijke micro-organismen via het grondwater.

### RELATIE TUSSEN DE GROEISNELHEDEN EN VERSCHILLENDE GROEPEN MICRO-ORGANISMEN

Voor elke groep is de optimale groeitemperatuur van een voorbeeld organisme weergegeven [6].



Figuur uit het onderzoeksprogramma Meer Met Bodemenergie die de relatie tussen temperatuur en groeisnelheden van micro-organismen weergegeven.

De specifieke soorten die de verschillende functies uitvoeren kunnen naar gelang de temperatuur wel veranderen. Blijkbaar worden de functies overgenomen door de nieuwe soorten. Binnen het temperatuurbereik tot 39 °C zijn in de praktijkwaarneming (Beijum, MMB-effecten op de ondergrond, 26.230/59108/MaK 25 juni 2012) geen aanwijzingen gevonden voor toe- of afname van de biodiversiteit door de temperatuur. Dit is van belang voor de veerkracht van het microbiologische systeem.

Bij OBES wordt vaak aangenomen dat de invloed van de temperatuur een belangrijke - zo niet de belangrijkste - parameter is die de chemische en microbiologische samenstelling van het grondwater beïnvloedt. Echter binnen de in Meer Met Bodemenergie (MMB) onderzochte "generiek opererende" OBES blijkt dat menging van grondwater als gevolg van het onttrekken en infiltreren van grondwater hoofdzakelijk de bepalende factor is voor verandering in water samenstelling. Opgemerkt wordt dat deze waarneming ook bij de MTO-pilot van Koppert-Cress naar voren kwam.

Een andere conclusie die op basis van de diverse onderzoeken naar voren komt is dat voor een goede waarneming van effecten allereerst de uitgangssituatie vastgelegd moet worden. Zonder duidelijke nul-situatie van de micro-biologische, thermische en chemische grondwatersamenstelling kunnen effecten van warmte-opslag niet goed bepaald worden. Deze aanbeveling komt terug in de uitgangspunten bij de opzet van een monitoringsstrategie voor MTO-pilots in hoofdstuk 6.

### **Mineraalevenwichten**

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. Kalk is een ander veel voorkomend mineraal. Bij een temperatuursverhoging neemt de oplosbaarheid van kalk juist af. Over het algemeen kan gesteld worden dat van alle aanwezige mineralen in Nederlandse aquifers kalk het ‘gevoeligst’ reageert op temperatuurveranderingen. Binnen MMB wordt gesignaleerd dat over de relatie grondwatertemperatuur en “sporen-elementen” nog weinig bekend is. Binnen recentere onderzoeksprogramma’s is aangegeven dat temperatuurverhoging ook mobilisatie van sporenelementen als arseen kan veroorzaken. De praktijkwaarnemingen bij Koppert-Cress geven echter weer een tegengestelde waarneming ten aanzien van mobilisatie van arseen. Waarschijnlijk verstoort het meng-effect daar het temperatuur-effect ten aanzien van mobilisatie van sporen-elementen.

### **Reactiesnelheden chemische en microbiologische processen**

De snelheid van geochemische en biologische reacties neemt met een factor 2 tot 3 toe bij een temperatuurverhoging van 10 °C naar 20 °C. Voor open grondwatersystemen zijn de reactiesnelheden daarom in de koude bron lager en in de warme bron hoger dan bij de natuurlijke grondwatertemperatuur. Hoe groter de temperatuurverandering, hoe groter de veranderingen in de reactiesnelheden.

Verder is gebleken uit labonderzoek naar het effect van temperatuur op organisch materiaal in aquifers dat bij temperaturen boven de 25 °C de microbiële afbraak versnelt (Brons et al., 1991). De chemische oxidatie versnelt eveneens en mogelijk zelfs meer dan de microbiële afbraak. Bij temperaturen boven de 45 °C worden fulvoren uit het organisch materiaal gemobiliseerd waardoor onder meer het opgelost organisch koolstof (DOC) en chemisch zuurstof gebruik (COD) in het grondwater toe neemt. (ref. MMB – rapport 2, literatuuronderzoek)

## **2.3 Regionale studie bodempotentie HTO in Zuid-Holland**

In opdracht van EBN is een inventarisatie uitgevoerd van de ondergrondse potentie voor warmte opslag. Door IF-technology is hier in juni 2023 een rapport over gepubliceerd. *“Hoge Temperatuur Opslag van warmte Stand der techniek en bodempotentie RES Rotterdam Den Haag & omgeving Leiden, kenmerk PR09455/RK/20230601”*.

Het onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van een gezamenlijk werkprogramma van de RES-Regio Rotterdam-Den Haag, Invest-NL, Gasunie en EBN waarin wordt toegewerkt naar een richtinggevend toekomstbeeld van de Regionale Structuur Warmte (RSW) en de Regionale Energie Strategie (RES 1.0). Het werkprogramma concentreert zich rond het opzetten en ontwikkelen van een publiek toegankelijk platform waarin alle data is opgenomen over (potentiële) warmtebronnen en warmtevragers in de regio.



Techniek	Afkorting	Opslagtemperaturen	Aantal systemen in NL
Warmte Koude Opslag	WKO	5 - 25 °C	> 99% van alle OBES
Middelhoge Temperatuur Opslag	MTO	25 - 50 °C	< 1 % van alle OBES
Hoge Temperatuur Opslag	HTO	50 - 90 °C	1 operationeel systeem (2 voormalige systemen)

*Het verschil in de praktische toepassing anno 2023 van WKO, MTO en HTO (bron IF-technology)*

Binnen het RES-onderzoek is HTO gedefinieerd als opslag van warmte binnen het temperatuurbereik van 30 tot 90 graden Celsius waarbij met een lauwe en een hete bron gewerkt wordt. HTO wordt hier als onderdeel van een groter energiesysteem gezien waarin het als warmtebuffer werkt tussen een grote externe warmtebron en de warmteafnemer. Deze manier van warmteopslag wijkt af van de in onderhavige MTO-pilot beoogde koude en warmteopslag. Bij HTO worden de bronnen niet voor koeling gebruikt en is er long-term een groot warmteoverschot in de ondergrond. De omvang van warmteverliezen aan de ondergrond zijn groot en ook bepalend voor de efficiency van HTO. Voor HTO is het essentieel is dat een goede afsluitende kleilaag boven het opslagpakket aanwezig is. Dit is enerzijds nodig om opdrijven van warm geïnfiltrerd grondwater naar ondiepere bodemlagen door temperatuur gerelateerde dichtheidsverschillen te voorkomen. Anderzijds dempt een afsluitende kleilaag ook de directe effecten van warmteverlies naar ondiepere bodemlagen. Het belang van de aanwezigheid van een goed afsluitende kleilaag is dus hoog om een HTO op een succesvolle manier te bedrijven. Ofschoon opdrijven ook bij MTO optreedt is het belang daar iets minder. Er is namelijk maar 1 warme bron en het temperatuurverschil met het van nature aanwezige omringende grondwater is maximaal circa 33 graden (45-12) Celsius. Bij HTO is dit verschil maximaal 78 graden (90-12).

De andere scope van HTO maakt ook dat de definitie van “potentie” voor HTO niet 1 op 1 kan worden overgenomen voor MTO toepassing. Desalniettemin geeft het rapport een bruikbaar beeld van de regionale ondergrond waarin de toepassing van MTO ook mogelijk is.

## 2.4 Resultaten onderzoek Koppert-Cress

Binnen het Europese Heatstore en het Windowsonderzoeksprogramma zijn de effecten van de MTO-projecten van NIOO-KNAW in (Wageningen, Gelderland) en Koppert-Cress (Monster, Zuid-Holland) onderzocht. Beide bodemenergie-systemen functioneren met opslag temperaturen van maximaal 45 graden Celsius. We beschouwen hier alleen de conclusies uit het onderzoek van Koppert-Cress aangezien de bodemopbouw en geohydrologische setting het best overeenkomt met de beoogde toekomstige MTO-pilots in Zuid-Holland.

De resultaten van de pilot bij Koppert-Cress zijn beschreven door KWR (*KWR 2020.156 | December 2020 Open bodemenergiesysteem Koppert-Cress met verhoogde opslagtemperatuur*). De conclusies en aanbevelingen zijn:

- De toepassing van hogere temperaturen heeft geleid tot minder CO2 emissies en minder energiegebruik en daardoor lagere kosten en verkleinen de thermische onbalans.
- De verwachting is dat vergelijkbare prestatieverbeteringen ook bij andere OBES projecten met een grote warmte vraag haalbaar zijn met het verhogen van de injectietemperatuur in de warme bron.
- De verhoging van de injectietemperaturen van een OBES lijkt bij dit project tot 40 °C geen significante effecten te hebben op de chemische en biologische waterkwaliteit.
- Het bevoegd gezag wordt geadviseerd om na te gaan of, en onder welke condities, ze opslag bij hogere temperaturen ook wil toestaan op andere locaties.
- De belangrijkste aanbevelingen ten aanzien van monitoring is dat de thermische verspreiding adequaat kan worden bepaald met metingen via een glasvezelkabel (DTS) hoewel de verpompte debieten daar ook een goed beeld over geven.
- Voor de chemische en microbiologische grondwaterkwaliteit is het vooral van belang om de locatie van het bemonsteringspunt zorgvuldig te kiezen en in de analyse ook rekening te houden met mengeffecten.

### Monitoring Koppert-Cress

Ten aanzien van het aspect monitoring beschrijft KWR dat de observaties van de thermische verspreiding bij Koppert-Cress heeft bijgedragen om de te verwachten thermische effecten bij ondergrondse warmte opslag beter te kunnen anticiperen.

### Modellerings thermische verspreiding

Met een modellerings-module hiervoor zou het bevoegd gezag af kunnen wegen of de thermische effecten in de omgeving van de OBES acceptabel zijn of niet. De belangrijkste onderdelen hiervoor zijn de verspreiding van warmte in de horizontale richting (van de bron af in de opslag-aquifer en de verspreiding van warmte in de verticale richting (door de afsluitende laag naar boven/onderen). Deze mate waarin warmte zich verspreid wordt in beide richtingen bepaald door verschillende processen:

1. De minimale horizontale verspreiding wordt bepaald met het geïnjecteerde volume in de warme en/of koude bronnen. Op basis van het netto opgeslagen volume per seizoen kan worden bepaald hoe groot de reikwijdte is van de warme of koude bel in de ondergrond. Deze "thermische straal" geeft daarbij de minimale verspreiding van de opgeslagen thermische energie weer rondom de bronnen.
2. De verticale opwarming van bovenliggende en onderliggende pakketten rondom de opslag-aquifer(s) kan ontstaan door voornamelijk twee processen: warmtegeleiding (conductie) door de afsluitende laag of door warmteverliezen uit de bronbehuizing in bovenliggende watervoerende pakketten, eventueel versterkt door grondwaterstroming. Verticale grondwaterstroming en effecten van opdrijving door dichtheidsverschillen zijn bij Koppert-Cress niet gesignaleerd. Het voornaamste verticale warmtetransport is als steady-state warmteverspreiding beschouwd die enkel gebaseerd is op conductie door de kleilaag. De meeste opwarming vindt plaats tot ongeveer 5 à 10m boven het opslagpakket. Echter, deze opwarming verdwijnt ook weer grotendeels door afkoeling in het voorjaar. De blijvende opwarming die ontstaat in de ondergrond is slechts een paar graden en bevindt zich ongeveer 5m in het kleipakket.

### DTS of temperatuurlogger

De temperatuur in de ondergrond is gemonitord met DTS kabels en met temperatuur loggers. De temperatuurloggers hangen in een peilbuis ter hoogte van het filter. Indien er sowieso peilbuizen aanwezig zijn om de grondwaterkwaliteit te monitoren is het aan te raden om daar een temperatuurlogger in te hangen, zodat andere temperatuurmetingen hiermee kunnen worden vergeleken. De DTS kabels geven veel meer detail in de verticaal, wat inzicht kan geven in de verticale variatie in permeabiliteit in de opslag-aquifer. Ook kan de temperatuurontwikkeling in boven, en eventueel onderliggende pakketten in beeld worden gebracht, ook waar deze niet doorlatend zijn. Een ander voordeel van DTS metingen is dat de benodigde glasvezelkabels, in tegenstelling tot peilbuizen, met goedkopere technieken kunnen worden geplaatst. Met DTS kan goed inzichtelijk worden gemaakt hoe de warmte zich met de tijd in de horizontale en verticale richting verspreidt.

### Chemie/microbiologie met grondwatersamples

Voorafgaand aan start pilot is een nulmeting van de chemische en microbiologische grondwatersamenstelling essentieel. Dit ontbrak deels bij Koppert-Cress. Ook moet er gelet worden op representatieve monsternamenpunten ter hoogte van het filtertraject van de warme bron. Verder is een goede parameter-set van de chemische grondwaterkwaliteit nodig om ook andere effecten dan temperatureffecten te kunnen onderscheiden. Bij Koppert-Cress leken de meng-effecten groter dan de temperatureffecten en nam de concentratie van het sporenelement arseen af in plaats van toe, tegen de verwachting in.

## 2.5 Recente resultaten WarmingUp, HTO onderzoek Middenmeer

In december 2023 is binnen WarmingUp een evaluatie gepubliceerd over de monitoring van een HTO systeem (*Waterkwaliteitseffecten bij en monitoring van HTO systemen, Synthese en update op basis van de monitoring bij HTO Middenmeer, KWR, 15 december 2023*). De aanbevelingen over de monitoringsinspanning worden in onderhavig rapport beschreven in paragraaf 6.1. De conclusies over de effecten op de grondwaterkwaliteit zijn hieronder beschreven.

Opgemerkt wordt dat bij deze HTO grondwatertemperaturen van boven de 50 graden Celsius worden toegepast. Bij de interpretatie van effecten dient altijd de temperatuurbereik waarbij dit op tredt betrokken te worden, zoals al is beschreven in de voorgaande paragrafen.

De evaluatie van de grondwaterkwaliteitsmonitoring is uitgevoerd bij het HTO-systeem van Ennatuurlijk Aardwarmte (voormalig ECW Energy) in Middenmeer – het enige operationele HTO-systeem boven de 50°C in Nederland. De conclusies over de grondwaterkwaliteit daarbij zijn:

- De microbiologische samenstelling en activiteit zijn na realisatie van de putten sterk beïnvloedt door de (biologisch afbreekbare) boorspoeling die gebruikt is bij de aanleg van putten. De afbraak van deze boorspoeling resulteerde in tijdelijke verhoging van de microbiële activiteit (ATP) en een verlaging van de microbiële diversiteit.

- De thermofiele en/of spore-vormende micro-organismen nemen in relatieve aanwezigheid toe. Daaronder soorten die geassocieerd worden met methaanproductie en sulfaatreductie. Het effect hiervan lijkt beperkt te zijn gebleven tot licht toegenomen methaanconcentraties. Monitoring moet uitwijzen hoe die methaanconcentraties zich verder gaan ontwikkelen.

- De concentraties arseen, silica en methaan zijn significant verhoogd (50 tot 250%). Dit is deels veroorzaakt door lekkage vanuit een andere watervoerende laag, deels door het oplossen van arseenhoudende ijzer- en mangaanhydroxiden, silicaatverwerking, kwartsoplossing en voor methaan de toegenomen microbiologische activiteit.

Voor de HTO-locatie in Middenmeer kan gesteld worden dat de ingreep in het “natuurlijke systeem” een flinke impact heeft in de gemeten grondwaterstelling, direct na aanleg. Dit betreft effecten van boorvloeistof bij aanleg van de putten en monitoringsfilters en de lekkage vanuit doorboorde andere watervoerende pakketten. Ook de opstart van het systeem waarbij het grondwater wordt rondgepompt heeft een impact op de eerste resultaten na inwerkingtreding. De versturende effecten van de aanleg lijken na 2 jaar productie wel zijn weggenomen en de genoemde effecten t.a.v. methaan, arseen en silicaat zijn vooralsnog de eerste trends. Significante negatieve effecten op de grondwaterkwaliteit door de HTO zijn vooralsnog niet waargenomen in deze grondwatermonitoring.

### 3 WETGEVING, VERGUNNINGVERLENING EN PROVINCIAAL BELEID

#### 3.1 Wettelijk kader bodemenergie

Bij een open bodemenergiesysteem wordt grondwater verpompt. Op basis hiervan is onder de Grondwaterwet en later de Waterwet (2008) de bevoegdheid voor het handelen met grondwater bij de provincies belegd. De vergunningverlening voor OBES is door de provincie Zuid-Holland gemandateerd aan de Omgevingsdienst Haaglanden. Vanaf 1 januari 2024 gaat de Waterwet op in Omgevingswet. Voor het handelen met grondwater blijft de provincie Zuid-Holland bevoegd gezag.

Opslaan van koude of warmte met een bodemenergiesysteem is onder de Omgevingswet een Milieubelastende activiteit (Mba). De kern van het verantwoord kunnen toepassen van een hogere opslag temperatuur in de bodem dan 25 graden Celsius is het vaststellen of mogelijke effecten hiervan op de fysieke leefomgeving acceptabel zijn. Dit vanuit het oogpunt van beschermen en benutten van de fysieke leefomgeving. Generieke aspecten vanuit de Omgevingswet die beschouwd worden zijn veiligheid, gezondheid en milieu. Bij milieu gaat het om het beschermen en verbeteren van de chemische en ecologische kwaliteit van bodem en grondwater en de aan bodem en grondwater toegekende maatschappelijke functies. De onbekendheid met de laatstgenoemde aspecten lijkt de oorzaak te zijn dat een bredere toepassing van bodemenergie-systemen boven de 25 graden in Nederland achterwege blijft. Dit alles ondanks de in de praktijk aangetoonde energiebesparing, betere efficiency en CO2 reductie.

#### 3.2 Omgevingswet en een Milieu belastende activiteit

Per 1 januari 2024 is de Omgevingswet in werking. In artikel 1.3 van de Omgevingswet staan de maatschappelijke doelen van de wet. Een van die doelen is een gezonde fysieke leefomgeving. Een gezonde leefomgeving ervaren bewoners als prettig, nodigt uit tot gezond gedrag en biedt bescherming tegen negatieve omgevingsinvloeden.



#### 2 Leefomgeving centraal

Van een sectorale naar een samenhangende benadering van de leefomgeving in beleid, besluitvorming en regelgeving.

Voor een bodemenergiesysteem gelden onder de Omgevingswet de algemene rijksregels van het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal). Hoofdstuk 3 van het Bal bevat de aanwijzing van wat er onder de milieubelastende activiteit valt en wat vergunningplichtig is. Ook staat hier welke inhoudelijke regels gelden. Bodemenergiesystemen worden binnen de Omgevingswet gezien als Milieubelastende activiteit (Mba).

De milieubelastende activiteit bodemenergiesysteem is beschreven in paragraaf 3.2.6 van het Bal. De activiteit kan schadelijk zijn voor het milieu. De in de toelichting op de Omgevingswet genoemde mogelijke nadelige gevolgen zijn met name bodemaantasting, wijzigingen in grondwaterstand en grondwaterkwaliteit. De "activiteit" bodemenergiesysteem bestaat uit het aanleggen van een bodemenergiesysteem en het gebruiken van een bodemenergiesysteem. Ook het onderhouden en schoonspoelen van de aangelegde bodemenergiesystemen valt hieronder. Het vooronderzoek dat bestaat uit boringen om te onderzoeken of de locatie geschikt is voor een bodemenergiesysteem behoort ook tot de milieubelastende activiteit. Een omgevingsvergunning is nodig voor open bodemenergiesysteem.

Een aantal algemene regels uit het Bal (*bron WINDOW fase 1, juridisch achtergronddocument, 26 november 2020 Referentie 69161/RK/20201007*):

- Het bevoegd gezag voor open bodemenergiesystemen ligt bij de gedeputeerde staten van de provincie (Bal, artikel 2.5).
- Bodemenergiesystemen worden geschaard onder de term 'milieubelastende activiteiten' (artikel 3.18) en hiervoor is een Omgevingsvergunning nodig (artikel 3.19).
- Artikel 3.20 stelt dat er bij het aanleggen en gebruiken van een bodemenergiesysteem aan de algemene regels moet worden voldaan, die in paragraaf 4.112 van het Bal, artikelen 4.1148 tot en met 4.1157a zijn opgenomen.
- Artikel 4.1152, stelt dat de maximale infiltratietemperatuur 25 °C bedraagt.
- Artikel 4.1154 (lid 3) stelt dat er elke 5 jaar een moment van energiebalans in de ondergrond moet worden bereikt.

#### *Afwijken van algemene Rijksregels uit het Bal*

Het Bal biedt mogelijkheid aan het bevoegd gezag om van de algemene regels van het Bal af te wijken. Het uitgangspunt is dat afwijken van de milieuvoorschriften van het Bal altijd mogelijk is, tenzij anders bepaald (zie Bal, art. 2.12 en 2.13).

Afwijken van de algemene regels kan door het bevoegd gezag door het opnemen van maatwerkvoorschriften in de Omgevingsvergunning (zie art 2.13 van het Bal). Voor MTO met hogere infiltratietemperaturen en een onbalans van warmte dan gesteld in het Bal.

Ook via het stellen van een algemene maatwerkregel in het omgevingsplan (van de gemeente) of de omgevingsverordening (van de provincie) kan worden afgeweken van het Bal, zie artikel 2.12 van het Bal. Dit kan worden gedaan met het oog op de in artikel 2.2 van het Bal vermelde belangen. Het opnemen van een algemene maatwerkregel in het omgevingsplan of de omgevingsverordening kan eigenlijk pas plaatsvinden als aangetoond is dat er geen negatieve effecten optreden ten gevolge van de afwijking. Daarnaast zijn er waarschijnlijk altijd locatie specifieke elementen waarvoor maatwerkvoorschriften moeten worden opgenomen.

-De regels in de hoofdstukken 2 tot en met 5 over milieubelastende activiteiten in het Bal zijn o.a. gesteld met het oog op:

- a. het waarborgen van de veiligheid;
  - b. het beschermen van de gezondheid;
  - c. het beschermen van het milieu, voor zover het gaat om:
    - 1°. het beschermen tegen milieuverontreiniging;
    - 2°. het beschermen en verbeteren van de kwaliteit van lucht, bodem en de chemische en ecologische kwaliteit van watersystemen;
- Het doelmatig gebruik van energie en grondstoffen;
  - Het vervullen van maatschappelijke functies door watersystemen.

Afwijken van het Bal kan alleen als de milieubelastende effecten in vergelijking tot de effecten die onder de rijksregels kunnen ontstaan aanvaardbaar zijn. Hierin ligt het grootste obstakel voor een meer generieke toepassing van hogere temperatuur opslag: wat zijn de effecten en in hoeverre zijn die effecten aanvaardbaar. Ten opzichte van 'generieke' bodemenergiesystemen zullen er ten

gevolge van een hogere opslag temperatuur en een langdurig warmteoverschot in het grondwater veranderingen in de chemische en microbiologische samenstelling van het grondwater optreden.

Van belang is dat deze effecten aanvaardbaar moeten zijn ten aanzien:

*-het beschermen en verbeteren van de kwaliteit van bodem en de chemische en ecologische kwaliteit van watersystemen;*

*-het vervullen van maatschappelijke functies van de bodem en watersystemen.*

Naast bovengenoemde aspecten moet het MTO-systeem natuurlijk ook voldoen aan de andere generieke eisen van de Omgevingswet zoals onder andere veiligheid, gezondheid, doelmatig gebruik van energie en grondstoffen en voorkomen van negatieve interferentie met omliggende activiteiten.

Grootste uitdaging van een MTO-pilot is dus het zorgvuldig monitoren van effecten en het zorgvuldig beoordelen van de aanvaardbaarheid van die effecten. In de praktijk komt het erop neer dat een MTO-pilot zich onderscheidt van een generiek OBES door een uitbreiding van de monitoringsinspanning en de beoordeling van die monitoringsresultaten.

In het binnen WarmingUp opgestelde document *Voorlopig afwegingskader voor vergunningverlening HTO* is een aanzet gedaan voor een noodzakelijke monitoringsinspanning bij een HTO-pilot. In Hoofdstuk 6 wordt dit verder toegelicht. In samenspraak met het bevoegd gezag moet nader besproken worden of deze aanpak ook voor MTO-pilots een noodzakelijk monitoringsinspanning is.

### 3.3 **Beleid provincie Zuid-Holland en gemeenten**

De provincie Zuid-Holland heeft ten aanzien van gebruik van grondwater operationeel grondwaterbeleid. Hieronder wordt een aantal relevante beleidsthema's genoemd.

#### *Midden temperatuuropslag en Hoge temperatuur opslag*

Als sprake is van Midden Temperatuur Opslag (>30°C) of Hoge Temperatuur Opslag (> 60 °C), waarbij een warmteoverschot in de ondergrond optreedt en GS bevoegd gezag is, wordt door GS alleen een vergunning verleend als het een door de provincie **geaccordeerde pilot** betreft. Overigens worden bij het accorderen van een pilot doorgaans aanvullende eisen gesteld.

#### *Gebruik eerste watervoerende pakket door open bodem energiesystemen*

In principe worden geen vergunningen verleend voor open bodemenergiesystemen in het eerste watervoerende pakket in stedelijke gebieden en glastuinbouwgebieden.

#### *Eis van maximale temperatuur*

Warmteopslag mag geen onaanvaardbare (micro) biologische of chemische gevolgen hebben voor veiligheid en/of gezondheid van mens & natuur. Bij welke temperatuur er negatieve effecten op de bodem en het grondwater optreden *is voorsnog niet duidelijk*. Uit de monitoringsgegevens van bestaande WKO-systemen blijkt dat een infiltratietemperatuur tot maximaal 30°C nagenoeg geen invloed heeft op chemische processen of microbiologische activiteit. Bij WKO-systemen hanteert de provincie daarom in principe 30°C als maximale infiltratietemperatuur.

#### *Aanvullende voorschriften op de Rijksregels uit het Besluit Activiteiten Leefomgeving (Bal)*

Aanvullend op Artikel 4.1152 (bodem: temperatuur grondwater) uit het Bal stelt de provincie:

1. Er worden pieken tot 30 °C in de infiltratietemperatuur van het grondwater toegestaan als de gemiddelde temperatuur van het infiltratiewater op koelingsmomenten maar niet hoger is dan 25 °C en als wordt aangetoond dat voldaan wordt aan de in lid 2 gestelde voorwaarde.
2. In de vergunning wordt het koude-overschot niet beperkt ten opzichte van de vergunningaanvraag,

als uit de aanvraag blijkt dat het reëel benodigd is.

3. Een warmteoverschot wordt niet toegestaan.

#### *Mogelijkheden voor gemeentelijk beleid*

De gemeenten binnen de regio van Greenport West-Holland kunnen onder de Omgevingswet in het omgevingsplan algemene maatwerkregels opstellen op basis waarvan de toepassing van MTO gefaciliteerd kan worden (Bal, artikel 2.12). Hiermee heeft de gemeente een instrument om ook ruimtelijk te kunnen ordenen op de toepassing van MTO binnen haar gemeentegrenzen. Afstemming met en instemming van de provincie Zuid-Holland daarover is wel een vereiste om de maatwerkregel in het Omgevingsplan vast te stellen.

Binnen deze inventarisatie is getracht met een aantal gemeente nader in te zoomen op deze optie. Op basis van de gekregen respons wordt afgeleid dat het momenteel voor de meeste gemeenten nog te vroeg is om hier anno 2023 verdere invulling aan te geven. Dat kan mede komen door de diverse beleidsmatige opgaven waar gemeenten na de invoering van de Omgevingswet nog mee belast is.

### **3.4 Aspecten bij de vergunningverlening voor een MTO-pilot**

Het bevoegd gezag voor open bodemenergiesystemen blijft ook onder de Omgevingswet de gedeputeerde staten van Zuid-Holland. Namens de provincie blijft de Omgevingsdienst Haaglanden de vergunningverlenende instantie voor bodemenergiesystemen. De naam van de vergunning verandert van waterwetvergunning naar omgevingsvergunning. De methodiek van beoordeling van een vergunningaanvraag is beschreven in een handreiking Besluitvorming Uitvoeringsmethode (BUM). Ook de mogelijkheden voor het hanteren van beleidsruimte voor de overheden is in de BUM beschreven.

Bij reeds vergunde reguliere bodemenergiesystemen kan voor de toepassing van MTO een aanvraag tot wijziging van de vigerende vergunning worden ingediend. In overleg met de Omgevingsdienst Haaglanden zal vooroverleg noodzakelijk zijn en zal in de effectenstudie duidelijk moeten zijn aangetoond wat de verwachte ruimtelijke omvang wordt van de warme bron. In verband met overgangsrecht kan de vigerende vergunning worden aangepast.

Ten aanzien van de looptijd van een vergunning die onder de pilot wordt afgegeven is het uitgangspunt dat dezelfde termijn geldt als bij een regulier vergunning. Bij een reguliere OBES worden de effecten over een periode van 20 jaar beoordeeld. Bij een pilot zal dit niet anders zijn, met de opmerking dat als onacceptabele effecten worden waargenomen worden er terug gevallen moet worden op een regulier temperatuur regime (zie ook 3.6 voor een fall-back scenario).

Bij een nieuwe aanvraag voor een reguliere vergunning voor een OBES wordt een effectenstudie en een MER-aanmeldnotitie door de aanvrager ingediend. In deze rapporten worden de effecten van de aangevraagde OBES beschreven. De effecten zijn gebaseerd op door de aanvrager opgegeven uitgangspunten ten aanzien van ondergronds ontwerp en bovengrondse energievraag.

Binnen een pilot-traject voor aanvraag vergunning voor MTO is essentieel dat de aan het bevoegd gezag voor te leggen effectenstudie gebaseerd is op een realistische gebouwzijdige warmtevraag en de mogelijkheden om de gewenste afgifte-temperatuur te bereiken. De bodemzijdige warmte-/koudevraag is volledig afhankelijk van de bovengrondse warmte en koude afgifte. Op basis van de tijdsafhankelijke bodemzijdige warmte-/koude-vraag en het ondergronds ontwerp (filterlengte, diameter, diepte, onderlinge afstand) dient in 3D-model de voorspelde thermische impact van het systeem bepaald te worden. Op basis van de thermische modelsimulatie moet een monitoringsnetwerk ontworpen worden. In een separaat monitoringsplan dient de monitoring van de thermische effecten en de grondwaterkwaliteit beschreven te zijn. Een aantal stadia van vooroverleg met de vergunningverlening wordt aangeraden om vooraf duidelijk te krijgen of alle aspecten in voldoende mate worden meegenomen in de effectenstudie van de initiatiefnemer.

Aangezien vooraf niet eenduidig is of de monitoring daadwerkelijk passend is om de ruimtelijke, chemische en microbiologische effecten inzichtelijk te maken is het van belang dat een monitoringsplan lopende de pilot op basis van gewijzigde kennis aangepast kan worden zonder de vergunning aan te hoeven passen. Het is een overweging en wens om de monitoring van de MTO-pilots te laten begeleiden door een kennisinstituut. Op basis van periodieke tussen evaluaties kan dan een beter "totaalbeeld" van de effecten verkregen worden en waar nodig kan vroegtijdig worden bijgestuurd. Greenport West-Holland is begin 2024 in overleg met KWR en de provincie Zuid-Holland om ondersteuning van de monitoring van MTO-pilots in een onderzoeksprogramma te borgen.

### **3.5 Fall back scenario vergunninghouder bij onacceptabele effecten MTO-pilot**

Zoals in de voorgaande paragrafen is beschreven is voor een MTO-pilot het vaststellen van de monitoringsinspanning van temperatuur-effecten op de grondwatersamenstelling en het bepalen van de aanvaardbaarheid van effecten een grote uitdaging. De term pilot impliceert dat gedurende een pilot, op basis van waarnemingen, een aanpassing van productie en monitoringsinspanning gevraagd kan worden. De Omgevingsdienst Haaglanden heeft hierover in een plenaire bijeenkomst op 29 november 2023 aangegeven dat er in principe altijd een fall back scenario in de vergunning komt. Dat betekent dat de houder van de pilot-vergunning bij tegenvallende monitoringsresultaten en/of onvoorziene effecten in principe altijd terug kan vallen naar het exploiteren van een generiek open bodemenergiesysteem met een infiltratietemperatuur van gemiddeld maximaal 25 graden Celsius.



## 4 GEOHYDROLOGIE IN RELATIE TOT TOEPASSING MTO

### 4.1 Bodemopbouw en geohydrologie

Om de mogelijkheden van MTO binnen het regionale grondwatersysteem te kunnen beoordelen is het voor de aanvrager van een MTO-pilot noodzakelijk de bodemopbouw en geohydrologie te inventariseren. Aandachtspunten hierbij zijn de indeling in watervoerende pakketten, het horizontaal doorlaatvermogen van die pakketten, de verticale weerstand van scheidende lagen, zoet-zout grensvlak en andere functies van de ondergrond en provinciaal beleid. In 2018 heeft Deltares in opdracht van provincie Zuid-Holland een actualisatie uitgevoerd betreffende de zoet-zout verdeling in watervoerende pakketten in Zuid-Holland. Het rapport en bijbehorend kaartmateriaal kan op aanvraag door de Provincie Zuid-Holland verstrekt worden.

### 4.2 Resultaten bodemopbouw uit regionale studie bodempotentie HTO

Binnen het uitgevoerde HTO-bodempotentie onderzoek (IF Technology, 2023) is de bodemopbouw in kaart gebracht voor toepassing van HTO in de formatie van Maassluis. De formatie van Maassluis bevindt zich in het studiegebied van de RES op een diepte van circa 100 – 250 m -mv. In het studiegebied zijn voldoende boringen gedaan om een gebiedsdekkend beeld van de formatie te krijgen. Boven de formatie van Maassluis bevinden zich grofzandige pakketten in het RES-studiegebied. Die lagen zijn voor HTO minder geschikt omdat grofzandige lagen gevoeliger zijn voor warmte-opdrijving en dus grotere warmteverliezen. Zoals eerder beschreven is bij MTO opdrijving door dichtheidsverschillen een iets minder belangrijk issue.

In de studie van IF Technology is ook de aanwezigheid van een minimaal 10 m dikke kleilaag aan de bovenzijde van het opslagpakket als criterium voor een goede HTO-potentie gebruikt. Op basis van de beschikbare boringen zijn diverse kaartbeelden geproduceerd. In bijlage IV is de potentiekaart voor HTO weergegeven.

Een ander criterium dat IF Technology heeft onderzocht is het realiseerbare debiet uit de Maassluis formatie. In een groot deel van de RES-regio is een debiet realiseerbaar van meer dan 150 m<sup>3</sup>/uur. De bovenzijde van de Maassluis-formatie ligt voor de meeste locaties in het Westland en Oostland dieper dan 110 meter minus maaiveld. Dit kaartbeeld is in bijlage IV weergegeven. De doorlatendheid van de eerste zandlaag van de formatie van Maassluis is volgens IF-Technologie circa 12 m/dag.

### 4.3 Potentieel geschikte watervoerende pakketten voor MTO

Op basis van de bodemopbouw, de geohydrologische karakteristieken van de ondergrond en de beleidsmatige uitgangspunten is de potentiële toepassing van MTO in een watervoerend pakket bepaald worden.

Een beoordelingspunt bij vergunningverlening voor een OBES is dat de positie van het zoet-zout grensvlak niet negatief mag worden beïnvloed. Ook menging van verschillende grondwaterkwaliteiten is doorgaans niet toegestaan. Dit omdat het verslechteren van de grondwaterkwaliteit niet is toegestaan maar ook in verband met de kans op chemische en microbiologische reacties die tot verstopping van bronfilters kunnen leiden. Een ander beoordelingscriterium bij de vergunningverlening is dat andere functies en toepassing in de ondergrond niet nadelig beïnvloed mogen worden door een OBES.

In het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket in Zuid-Holland zijn ook functies voor ondergrondse regenwateropslag en zogenaamde strategische zoet grondwatervoorraden aanwezig. Deze mogen niet negatief beïnvloed worden door een OBES. Tot slot is vanuit provinciaal beleid de voorwaarde gesteld dat

opwarming van het grondwater in het eerste watervoerende pakket ten gevolge van MTO beperkt moet blijven tot 25 graden Celsius.

Samengevat kan geconcludeerd worden dat het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket in het glastuinbouw gebied van Zuid-Holland niet geschikt is voor de realisatie van een MTO-pilot.

Het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket lijkt wel geschikt voor een MTO-pilot omdat geen van de bovengenoemde aandachtspunten een rol spelen in het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket. Voorwaarde is wel dat de afsluitende kleilaag tussen het 2<sup>e</sup> en 1<sup>e</sup> watervoerende pakket voldoende dik en aaneengesloten aanwezig is binnen de invloedssfeer van het MTO-systeem. Als de kleilaag ontbreekt of niet aan dikte voldoet zal de temperatuur van het grondwater in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket waarschijnlijk tot boven de 25 graden opwarmen. Dit is normaliter niet toegestaan.

Het derde watervoerend pakket (de door IF Technology onderzochte formatie van Maassluis) is zeker ook geschikt voor MTO-opslag. Aan de bovenzijde van het pakket is bijna overal een minimaal 10 m dikke kleilaag aanwezig. IF-technology noemt dit pakket als meest geschikte reservoir voor de realisatie van HTO systemen. De doorlatendheid van het pakket is minder dan de doorlatendheid van het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket maar dat is voor hogere temperatuuropslag juist een voordeel omdat er minder horizontaal transport zal optreden vanwege de lagere doorlatendheid.

## 5 INVENTARISATIE AANGEMELDE ONDERNEMERS VOOR DE MTO-PILOT

### 5.1 Inventarisatie teelt, omvang ervaring met open bodemenergiesystemen

Naar aanleiding van een mailing naar glastuinbouwers vanuit Greenport West-Holland hebben zijn per e-mail 20 aanmeldingen van glastuinbouw-ondernemers ontvangen. Met alle 20 ondernemers is in oktober telefonisch contact gezocht. Op basis van de gesprekken is gebleken dat 10 ondernemers serieus verder willen onderzoeken wat de mogelijkheden zijn om MTO binnen hun bedrijfsvoering te gaan realiseren. Een groep van 3 ondernemers wil graag verder kijken naar de ontwikkelingskansen van HTO met warmte van geothermie als bron voor opslag. De resterende 7 ondernemers zien niet op korte termijn kansen voor MTO maar willen graag op de hoogte gehouden worden over de ontwikkelingen van de MTO-pilots.

Van de 10 geïnteresseerde ondernemers hebben 7 bedrijven al een generiek bodemenergiesysteem op hun locatie. Bij deze partijen kan in principe het huidige bodemenergiesysteem geheel of gedeeltelijk worden aangepast om als MTO te gaan draaien. De teelt varieert van de aangemelde ondernemers varieert, onder andere orchideeën, anthurium, tomaten, perkgoed en rozen. Vooral bij de orchideeën kwekers is er een grote koelbehoefte waarbij periodiek de afgiftetemperatuur slechts 6 graden Celsius moet zijn. De omvang van de oppervlaktes varieert tussen ca 2 en 50 ha. Bij deze ondernemers is al een vergund bodemenergiesysteem aanwezig en via een verzoek tot wijziging van de huidige vergunning kan hier theoretisch relatief snel het vergunning-traject worden ingestoken. Deze vergunninghouders hebben namelijk al eerder een effectenstudie laten uitvoeren. Op basis van de gegevens uit de oude effectenrapportages kan een ondergrondadviseur in principe relatief makkelijk modellen aanpassen naar middelhoge temperatuur opslag. Belangrijkste element daarin is een de uitwerking van temperatuur-effecten in een 3D -thermische modellering. Op basis van die modellering kan vervolgens een monitoringsplan worden opgezet.

Op basis van de telefonisch verkregen informatie is bij één ondernemer sprake van een OBES in het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket. De provincie Zuid-Holland heeft aangegeven MTO-pilots in het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket niet wenselijk te vinden vanwege de andere toepassingen die in dit watervoerende pakket al aanwezig zijn en vanwege de kans op thermische effecten naar het bovenliggende ondiepe grondwater (freatisch grondwater). Als deze onderneming zich definitief aanmeldt voor deelname aan de pilot moet hier vroegtijdig met de provincie overleg over gevoerd worden. In principe wordt MTO namelijk niet vergund in het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket.

De andere 3 geïnteresseerde partijen hebben nog geen OBES op hun locatie geïnstalleerd. Zij kunnen samen met een adviseur voor onder en bovengronds ontwerp een aanvraag Omgevingsvergunning bodemenergiesysteem gaan voorbereiden. Omdat deze partijen hun systeem nog moeten aanleggen kunnen zij er voor kiezen materialen te gebruiken die ook opslag tot temperaturen van 60 graden mogelijk maakt. Dit betreft ondergronds het gebruik van roestvrij stalen casings en filters voor de bronnen. Het maximale temperatuurbereik is natuurlijk afhankelijk van de gewenste afgifte temperatuur bovengronds en van warmte afname vanuit andere bronnen zoals bijvoorbeeld aardwarmte.

Greenport West-Holland heeft voor de 10 geïnteresseerde ondernemers samen met de provincie Zuid-Holland en de Omgevingsdienst Haaglanden op 29 november 2023 een bijeenkomst georganiseerd. Op deze bijeenkomst zijn de mogelijkheden en mogelijke knelpunten van MTO toegelicht. Door het bevoegd gezag is toegelicht wat er komt kijken bij de vergunningverlening voor een MTO-systeem. De provincie Zuid-Holland heeft aangegeven dat bij Gedeputeerde Staten een verzoek zal worden neergelegd om voor 10 locaties in te stemmen met het verlenen van toestemming voor een MTO-pilot. Dat verzoek kan in het 1<sup>e</sup> kwartaal van 2024 aan GS worden gedaan.

De groep van 3 ondernemers die graag verder willen met HTO (> 60 C) zijn direct doorverwezen naar de Provincie Zuid-Holland. Dit omdat HTO buiten de scope van deze MTO-pilot valt. De provincie Zuid-Holland bespreekt met deze ondernemers de mogelijkheden van een pilot-vergunning voor HTO.

## 5.2 Verschillende vergunning trajecten voor de MTO-pilots

Op basis van de verschillende wensen en uitgangssituaties zijn binnen de groep van aangemelde ondernemers drie ontwikkel trajecten te onderscheiden:

### 1. Wijziging van al vergunde OBES in een MTO-systeem

Ondernemers die I een operationele OBES hebben en die met het huidige systeem hogere temperaturen willen injecteren.

Deze ondernemers kunnen op basis van de bestaande situatie een wijzigingsvergunning aanvragen voor infiltratie met hogere grondwatertemperaturen tot maximaal 45 graden. Voorwaarde is wel dat het huidige systeem in het 2<sup>e</sup> of 3<sup>e</sup> watervoerende laag is aangebracht. De reeds bestaande effectenstudie zal moeten worden ge-update naar de effecten van hogere temperaturen van het MTO-systeem. Daarnaast moet een specifiek monitoringsplan worden opgesteld.

Binnen deze groep is op basis van warmte-/koudevraag nog een verdere onderverdeling mogelijk:

- Bedrijven met grote koelbehoefte en zeer lage afgifte temperaturen;
- Bedrijven met hoofdzakelijk een warmte vraag.

Voor de bedrijven met een grote koelbehoefte en een lage afgifte wordt geadviseerd de optie van een triplet te onderzoeken. Bij een triplet kan de koude bron door regeneratie met dry-coolers in de winter tot zeer lage temperaturen worden afgekoeld. De derde bron is een centrale lauwe bron die als buffer functioneert tussen koude en warme bron. In bijlage 1 is hier meer over beschreven

### 2. Aanvraag aanleg nieuwe MTO-systeem

Ondernemers die nog geen OBES hebben en die het gehele systeem nog moeten aanleggen. Deze ondernemers kunnen, afhankelijk van gewenste warmteafgifte en warmtebronnen, besluiten om MTO tot 60 graden Celsius te gaan toepassen. De bronnen van OBES die water met temperaturen van boven de 45 graden rondpompen moeten wel in RVS worden uitgevoerd. De ondernemers moeten met een adviseur een volledige effectenstudie laten opstellen en een MER-aanmeldnotitie. Ook moet een monitoringsplan worden opgesteld.

### 3. Aanvraag aanleg nieuw HTO-systeem

HTO valt buiten de scope van deze inventarisatie MTO-pilots. Alle ins en outs voor HTO moeten separaat met de provincie Zuid-Holland besproken worden.

## 6 MONITORING EFFECTEN MTO

### 6.1 Monitoring bij HTO versus MTO

Een generiek monitoringskader voor MTO is er nog niet. Voor HTO is daar wel onderzoek naar gedaan binnen WarmingUp. In de deze paragraaf worden de aanbevelingen voor monitoring bij HTO beschreven. Vervolgens wordt beschouwd in hoeverre deze monitoringsinspanning ook voor MTO noodzakelijk zal zijn.

Voor HTO is in 2021 binnen WarmingUp een monitoringsopzet beschreven in de handreiking voor vergunningverlening (*Voorlopig afwegingskader voor vergunningverlening HTO 29 oktober 2021, KWR en IF-Technology*). Een procedurele en de inhoudelijke aanbeveling uit de handreiking zijn onderstaand beschreven.

Een procedurele aanbeveling voor de vergunningverlening van HTO is om het monitoringsplan niet in de vergunning op te nemen maar als voorwaarde separaat aan de vergunning toe te voegen. Dit maakt het eenvoudiger om, zonder tussentijdse aanpassing van de vergunning, wijzigingen in de monitoringsinspanning mogelijk te maken. Uit de praktijk blijkt dat binnen een pilot altijd kleine aanpassingen van de monitoringsinspanning noodzakelijk zijn. Het is niet voor niets een pilot. In de provincie Noord-Holland is deze aanpak met succes toegepast bij de vergunningverlening van de HTO-pilot in Middenmeer.

Deze werkwijze zal ook voor een MTO-pilot de voorkeur hebben. De Omgevingsdienst Haaglanden heeft tijdens de bijeenkomst in november 2023 al aangegeven deze aanpak ook voor de MTO-pilots te willen volgen.

Een monitoringsfrequentie van 2-maal per jaar is voor HTO in de handreiking van 2021 voorgesteld. Daarbij wordt geadviseerd in de winter de warme bron (feitelijk heet > 80 graden) en de monitoringsput te bemonsteren en in de zomer de "koude bron" (feitelijk warm > 40 graden) en de monitoringsput. Onderstaand is het monitoringschema uit 2021 voor HTO weergegeven.

WINDOW analysepakket onderzoeksmonitoring HTO systemen														
Categorie	Sub-categorie	Parameters	Nulmeting			Zomer 1e jaar			Zomer 2e jaar			Winter 2e jaar		
			HB	WB	MP	HB	WB	MP	HB	WB	MP	HB	WB	MP
Algemeen		Temperatuur, pH, EC, O <sub>2</sub>	•	•	•				•	•	•			
Macro-chemie		Cl, HCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , Br, Si	•	•	•				•	•	•			
		Na, Ca, Fe, Mn, K, Mg, NH <sub>4</sub>	•	•	•				•	•	•			
Micro-chemie	Specifiek (indicator en KRW)	As, Ba, Cd, Co, Cr, Mo, Hg, Pb, Ni, V	•	•	•				•	•	•			
	Compleet	Al, Ag, B, Be, Cu, Li, Sb, Se, Sn, Sr, Te, Ti, U, W, Zn, Zr	•	•	•							•	•	•
Organische chemie		DOC	•	•	•				•	•	•			
		CH <sub>4</sub>	•	•	•				•	•	•			
Microbiologie	Standaard	ATP	•	•	•				•	•	•			
		NGS	•	•	•							•	•	•
	Specifieke pathogenen <sup>1</sup>	E. coli, C. perfringens, Legionella, Stenotrophomonas maltophilia, Bacteriën van de Vibrio groep, Naegleria fowleri, Acanthamoeba spp												

HB = Hete bron, WB = Warme bron, MP = monitoringsput.

<sup>1</sup> Alleen noodzakelijk bij directe aanleiding: bijvoorbeeld sterke verandering in concentratie ATP of zuurstofindringing (> 1 mg/l) in de bronnen. Lijst o.b.v. Zaadnoordijk et al., 2013.

Bovenstaande monitoringsfrequentie voor HTO lijkt voor MTO vooral voor de koude bron te zwaar. Bij MTO kan worden uitgegaan van een koude bron die niet warmer wordt dan 25 graden Celsius. Een extra monitoringsinspanning van de koude bron lijkt daardoor niet voor de hand liggend.

In december 2023 is binnen WarmingUp de evaluatie van de HTO-monitoring in Middenmeer gerapporteerd (*Waterkwaliteitseffecten bij en monitoring van HTO systemen, Synthese en update op*

basis van de monitoring bij HTO Middenmeer, Schout et al., KWR, 15 december 2023). In deze rapportage is een generieke, afgeslankte, monitoringsopzet voor HTO beschreven. Deze opzet is minder intensief en niet opgezet voor wetenschappelijk onderzoek. De monitoringsfrequentie is dan jaarlijks met het geadviseerde meetmoment tijdens de ontladperiode (winter), als circa ¼ tot ½ van het beoogde onttrekkingsvolume uit de warme bron is onttrokken. Voor HTO wordt dan geadviseerd de warme(hete) bron en de monitoringsput van het HTO-systeem te bemonsteren.

Ook wordt in de afgeslankte HTO-monitoring geadviseerd conform de generieke OBES vergunningvoorschriften vooral de referentiemeting en de herhaalmeting na 2 jaar uitgebreid te analyseren.

Bovenstaande afgeslankte frequentie lijkt voor MTO een geschikte aanpak met als aantekening dat in verband met de lagere temperatuurtrajecten de jaarlijkse grondwaterkwaliteitsmeting beperkt zou kunnen blijven tot alleen de warme bron. Geadviseerd wordt dit nader af te stemmen met de Omgevingsdienst Haaglanden bij de uitwerking van het MTO-monitoringsprogramma.

Het voorgestelde afgeslankte analysepakket voor de monitoring bij HTO is weergegeven in de onderstaande tabel (*bron, WarmingUp, KWR 15 december 2023*). Voor MTO wordt geadviseerd de invulling van het jaarlijks te meten analysepakket ook nader af te stemmen met de Omgevingsdienst Haaglanden. Het noodzakelijke monitoringspakket wordt daarbij dan bepaald door de temperatuurafhankelijke voorspelde effecten op macro-, micro en bio-chemie van het MTO-systeem.

Ondersteuning vanuit een kennisinstituut als KWR voor bovenbeschreven afstemming bij MTO-monitoring kan vanwege het specialistische karakter een grote meerwaarde hebben voor zowel vergunningverlener als initiatiefnemer.

Tabel 4-2. Generiek, afgeslankt analysepakket voor monitoring van HTO systemen. Met rode letters zijn toevoegingen t.o.v. de versie van deze tabel in het voorlopig afwegingskader aangegeven.

<b>Analysepakket monitoring HTO</b>		
<b>Categorie</b>	<b>Parameters referentiemeting en herhaling na 2 jaar</b>	<b>Parameters jaarlijkse meting</b>
Veldmetingen	Temperatuur, pH, EC, O <sub>2</sub>	Temperatuur, pH, EC, O <sub>2</sub>
Macrochemie	Cl, HCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , Br, DOC	Cl, HCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , Br, DOC
	Na, Ca, Fe, Mn, K, Mg, Si, NH <sub>4</sub> , CH <sub>4</sub>	Na, Ca, Fe, Mn, K, Mg, Si, NH <sub>4</sub> , CH <sub>4</sub>
Microchemie	As	As
	Ba, B, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn	
Microbiologie	ATP	ATP

Binnen Warming Up is voor de ruimtelijke indeling van een HTO-monitoringsnetwerk geadviseerd om deels aan te sluiten bij de aanpak die voor generieke OBES wordt toegepast. Namelijk om bij de aanleg van nieuwe bronnen gelijktijdig met de bron ook peilfilters in bovenliggende watervoerende pakketten te plaatsen. Hierdoor kan in bovenliggende pakketten ook direct een goede nul-situatie van de grondwaterkwaliteit en stijghoogte bepaald worden. Deze aanpak kan ook bij nieuw aan te leggen MTO-systemen gevolgd worden. Of het uitvoeren van metingen in alle ondiepere pakketten tijdens de bedrijfsfase van belang zijn wordt bepaald door de aanwezigheid van lokale omgevingsbelangen.

Voor HTO wordt ook geadviseerd een afzonderlijke monitoringsput te plaatsen met minimaal 1 peilfilter in het opslagpakket ter hoogte van het warme bronfilter. De monitoringsput is formeel geen onderdeel van het OBES omdat het geen grondwater verpompt en staat op enige afstand van de warme bron. Hiermee kan de ruimtelijke thermische impact en impact op de grondwatersamenstelling bepaald worden. De monitoringsput wordt geplaatst bij de warme bron op een maximale afstand van een ½ thermische straal en minimaal ¼ van de thermische straal. De thermische straal is vooraf bepaald op basis van het onttrekkingsvolume uit de warme bron per seizoen. Voor MTO is deze aanpak zeker ook bruikbaar maar mogelijk is alleen een thermische waarneming al voldoende.

Vanuit Warming Up wordt geadviseerd direct met de monitoringsput een DTS glasvezelkabel te plaatsen ten behoeve van temperatuurmetingen over het gehele bodemprofiel. Op basis van de te verwachten beperkte effecten kan bij MTO ook gekozen worden om continue registratie met DTS achterwege te laten. Temperatuurmetingen kunnen dan gelijktijdig met de grondwateranalyses worden uitgevoerd op verschillende dieptes. Nadere invulling van DTS of periodieke temperatuurmeting kan tijdens de uitwerking van het monitoringsprogramma gemaakt worden.

Het plaatsen van DTS glasvezelkabels in de HTO-bronnen wordt binnen WarmingUp niet geadviseerd. In de praktijk blijkt dat bij HTO de temperatuur in het boorgat van beide bronnen sterk beïnvloed wordt door de injectie/onttrekkingstemperatuur van het grondwater. Een DTS meting geeft dan niet een representatieve meting voor de “bodemtemperatuur” in de omgeving van de bron. Ook het MTO-systeem van het NIOO (Wageningen) is dit gesignaleerd. Dus de aanleg van een DTS glasvezelkabel lijkt alleen meerwaarde te hebben bij een monitoringsput.

De uiteindelijke monitoringsstrategie van een MTO wordt altijd bepaald door locatie-specifieke factoren. Goed overleg met bevoegd gezag en bodemadviseurs is hierbij van belang.

## 6.2 Mogelijke vergunningvoorschriften MTO-monitoring op basis van HTO

Vanuit Warming UP zijn “generieke” voorschriften geformuleerd voor een HTO-monitoring (*Warming Up, Voorlopig afwegingskader voor vergunningverlening HTO, oktober 2021*). Deze voorschriften zijn:

-Aan de vergunning wordt een extra voorschrift toegevoegd dat voorschrijft dat er een monitoringsplan moet worden opgesteld voor monitoring van de temperatuur in de ondergrond en de grondwaterkwaliteit tijdens het gebruik van het HTO-systeem.

-Het monitoringsplan dient te worden voorgelegd aan het bevoegd gezag en door hen te worden goedgekeurd voordat het systeem in gebruik mag worden genomen.

-Het monitoringsplan dient tenminste de volgende gegevens te bevatten:

1. De meetdoelen waarin het monitoringsplan voorziet.
2. De beoogde meetopstelling, waarin configuratie van bronnen en monitoringsput, peilbuizen en eventuele andere ondergrondse apparatuur voor het meten van stijghoogtes, temperaturen en grondwatersamenstelling is beschreven.
3. De meetactiviteiten die worden uitgevoerd ten behoeve van de “nulmeting” (referentiemeting).
4. De meetactiviteiten die worden uitgevoerd tijdens de gebruiksfase van het HTO-systeem.
5. Een voorstel voor het rapporteren van de resultaten die voortkomen uit de hierboven bedoelde meetactiviteiten en de rapportage-frequentie aan het bevoegd gezag.

In overleg met bevoegd gezag zal worden besproken in hoeverre deze aanpak ook bij een MTO-pilot noodzakelijk is. Van belang blijft dat met de monitoringsstrategie de daadwerkelijke door temperatuur geïnitieerde effecten kunnen worden bepaald. Daarbij dienen effecten door “menging van verschillende waterkwaliteiten” zoveel als mogelijk voorkomen te worden. Ten aanzien van de frequentie en locatie van bemonstering en de te analyseren stoffen wordt geadviseerd samen met een kennisinstituut te bepalen welke chemische en biochemische grondwater-parameters vanuit het HTO- analysepakket nog doelmatig zijn binnen het temperatuurbereik van een MTO-pilot.

## 6.3 Kosten en aanpak temperatuur monitoring MTO

De aanvullende kosten voor het monitoren van een MTO-systeem zijn afhankelijk van de inrichting van het monitoringsplan. Aangezien elke MTO-systeem een locatie-specifieke situatie heeft kan

alleen een indicatie van de “extra kosten” ten opzichte van de monitoringskosten van een reguliere OBES gegeven worden.

#### *Monitoring horizontale impact temperatuur*

Omdat de thermische invloedssfeer bij een MTO-pilot in het veld gecontroleerd moet worden is de aanleg van waarnemingspunten noodzakelijk. Minimaal 1 waarnemingspunt van de temperatuur en grondwaterkwaliteit op dezelfde diepte als het bronfilter van de warme bron geplaatst worden. Uitgangspunt is een filter te plaatsen op een afstand van maximaal een ½ thermische straal van het systeem. Die straal is afhankelijk van filterlengte van de warme bron en het debiet aan warm water wat per seizoen geïnfiltreerd wordt.

De diepte van de peilbuis moet afgesteld zijn op de diepte van het warme filter. Bij een MTO-systeem in de top van de formatie van Maassluis op ca. 130 m – mv moet dus ook de monitoringspeilbuis tot deze diepte geplaatst worden. De peilbuis kan naast het bepalen van de grondwaterkwaliteit ook gebruikt worden voor temperatuurmeting. Kosten voor een plaatsen van een peilbuis tot ca. 130 m – mv zijn ca. €15.000 (ex BTW).

De keuze van de diameter van de peilbuis wordt bepaald door de afweging of er ook een temperatuurlogger in moet passen. De diameter van de datalogger is bepalend voor de leuze van de peilbuisdiameter. Er zijn temperatuurloggers met een diameter van 18 mm. Een peilbuis zal om praktische redenen dan minimaal een interne diameter van ca. 36 mm moeten hebben.

De grondwatertemperatuur kan periodiek worden gemeten door de temperatuurlogger in de peilbuis te hangen. Voordeel is dat het een periodieke handeling is die ook gecombineerd met grondwaterbemonstering eenvoudig kan plaatsvinden. Nadeel is dat alleen op filterdiepte de grondwatertemperatuur gemeten wordt. Verticale warmteverdeling wordt dus niet waargenomen.

Een andere optie voor temperatuurmeting is om een glasfiber DTS kabel in hetzelfde boorgat als de monitoringspeilbuis te plaatsen. Hiermee kan permanent de temperatuur over het gehele bodemtraject van de DTS kabel gemeten worden. In bijlage III is dit verder beschreven.

#### *Monitoring verticale impact temperatuur*

Om het opwaartse -verticale- verspreidingsgedrag van opwarming door grondwater te bepalen kan ter plaatse van de warme bron in een peilfilter in het bovenliggende watervoerende pakket de temperatuur bepaald worden. Bij bestaande bronnen van OBES zijn normaliter op verschillende diepten al een aantal peilfilter in het aanvulmateriaal van het boorgat van de warme bron geplaatst. Daarmee kan een verticaal temperatuur-effect in een bovenliggend watervoerend pakket meestal bepaald worden. De betrouwbaarheid van de meting is afhankelijk van het moment van meten aangezien een dergelijk peilfilter praktisch direct tegen de warme bron aan geplaatst is waardoor beïnvloeding door geleiding vanuit de blinde PVC-casing van de bron mogelijk is. Als er geen peilfilters zijn geplaatst in het aanvulmateriaal van de bron dient waarschijnlijk een separaat extra monitoringsfilter geplaatst te worden. Als een ondiep filter nodig is zijn er extra boorkosten tenzij het ondiepe filter in hetzelfde boorgat als het diepe monitoringsfilter geplaatst mag worden. Dit dient in overleg met het bevoegd gezag afgestemd te worden bij het opstellen van het monitoringsplan.

De kosten voor boren en plaatsing van een monitoringspeilbuis in het watervoerende pakket ter hoogte van het warme filter is geraamd op 15.000 euro. De jaarlijkse kosten voor periodieke temperatuurmeting, grondwaterbemonstering, chemische en microbiologische analyses en interpretatie zijn globaal geraamd op 5.000 euro per jaar inclusief rapportage.

Samengevat zijn over een periode van 3 jaar de meerkosten van MTO-monitoring in de orde van grootte van 30.000 euro. Een en ander afhankelijk van verdere eisen van bevoegd gezag, de lokale situatie en de resultaten van de waarnemingen.



In overleg met bevoegd gezag kan na een periode van 3 jaar geëvalueerd worden of de monitoringsfrequentie en de analyse strategie aangepast moet worden.

#### **6.4 Mogelijkheden subsidie in gezamenlijk vervolgtraject TKI**

Aangezien het bepalen van een monitoringsstrategie, het ontwerp van het meetnet en specifieke chemische en micro-biologische grondwaterparameters ook afhankelijk is van het thermische laadprofiel en de lokale geohydrologische situatie is input van specialisten op dit onderdeel een welkome aanvulling om een gedegen monitoringsstrategie op te zetten.

Greenport West-Holland is samen met KWR aan het inventariseren in wat voor vorm er bijdrage mogelijk is aan MTO-onderzoek via Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI – Watertechnologie). Gedacht wordt om een consortium te vormen van KWR, Greenport West-Holland, de Provincie Zuid-Holland en minimaal 3 glastuinbouwondernemingen. Als het lukt om de genoemde partijen te committeren aan deelname zal het consortium een onderzoeksvoorstel aan het eind van het eerste kwartaal van 2024 ter beoordeling aan de TKI-commissie voorleggen.

De daadwerkelijk uitvoering van het TKI-project is gericht op het opzetten, begeleiden en rapporteren van de MTO-grondwatermonitoring. De doelstelling van het project is meervoudig en betreft oa:

- MTO monitoringsdata en kennis verzamelen van meerdere locaties;
- Basis neerleggen voor doelmatige MTO-monitoringsstrategie;
- Uniformiseren toekomstige MTO-vergunningverlening;
- Meer inzicht in omgevingseffecten en energierendement van MTO.

Een TKI-project kan maximaal 4 jaar bedragen en deelname van ondernemingen uit de markt, deelname van overheid en deelname van een kennisinstituut zijn vereist. Begin 2024 wordt het plan verder uitgewerkt om het in april 2024 aan de landelijke TKI-beoordelingscommissie voor te dragen. Deelname van meerdere glastuinbouw-ondernemingen zou een pre zijn. De maximale subsidie voor “industriële toepassingen” bedraagt 50%. KWR kan dan waarschijnlijk op basis van de inleg van Provincie, Greenport West-Holland en de glastuinbouw ondernemingen de volledige opzet en ondersteuning van de monitoring en de rapportage van bevindingen uitvoeren.

## 7 AANBEVELINGEN VOOR INITIATIEFNEMERS VAN EEN MTO

In dit hoofdstuk worden een aantal aanbevelingen gegeven voor de initiatiefnemers die de mogelijkheden van een MTO-systeem willen onderzoeken. Hierin wordt steeds gesproken over de gebouwszijde en niet over de kas, omdat deze term wettelijk wordt gehanteerd.

### **Aanbeveling 1:**

*Ontwerp met een specialistisch installateur de tijdsafhankelijke gebouwszijdige warmte / koude afgifte. Op basis van een goede bovengrondse systeemanalyse en warmteoverdracht kan samen met een bodemenergie-specialist worden bepaald wat de gemiddelde infiltratietemperaturen worden en met welk volume het bodemenergiesysteem gaat draaien.*

Het volume grondwater dat per seizoen opgeslagen moet worden in de ondergrond is afhankelijk van de gebouwszijdige warmtevraag en koudevraag. De gebouwszijdige warmte/koudevraag varieert afhankelijk van het weer, het seizoen en de teelt. Een goede tijdsafhankelijke bepaling van de gebouwszijdige warmte- en koudevraag en daarbij behorende aanvoertemperatuur vormt de basis van een goed ontwerp. Bij hogere opslag temperaturen dient ten aanzien van de installatie techniek rekening gehouden te worden met onder meer materiaalkeuze, specificaties van pompen en warmteafgifte systemen. De gebouwszijdige warmte/koudevraag vraag geeft ook inzicht op de maximaal te behalen energiebesparing en CO2-reductie.

### **Aanbeveling 2:**

*Onderzoek regeneratie-technieken met een hoge efficiency om de koude en warme bron op een ideale temperatuur te brengen voor gebouwszijdige toepassing.*

Gedacht kan worden aan extra warmteladen met zonnecollectoren in de zomer, power to heat warmtepomp toepassingen in periodes van lage of negatieve stroomprijzen en dry-coolers tijdens de nachten en koudere dagen de winter. Door deze toepassingen hoeft een warmtepomp minder gebruikt te worden wat uiteindelijk de efficiency verbeterd. Zie hiervoor ook bijlage I over de toepassing van extra regeneratie-technieken binnen een triplet systeem.

### **Aanbeveling 3:**

*Laat door een gespecialiseerd geohydrologisch adviseur een gevalideerd 3-dimensionaal, tijdsafhankelijk, grondwatermodel opstellen. In het model moet dichtheid (zoet-brak-zout) van het lokale grondwatersysteem zijn opgenomen. In de modelopbouw wordt rekening gehouden met de filterstelling van het bodemenergiesysteem.*

De grondwaterstroming, die door het onttrekken en injecteren van grondwater ontstaat, is de grootste drijfveer op ruimtelijke effecten van temperatuur en grondwatersamenstelling. Om dit goed te kunnen voorspellen moet de informatie van de lokale bodemopbouw, de geohydrologische parameters (doorlatendheid, porositeit, verticale weerstanden), natuurlijke grondwaterstroming en oorspronkelijke grondwatersamenstelling (zoet /brak/ zout) bekend zijn. Samen met het tijdsafhankelijke productieprofiel vormt dit de basis voor een goede geohydrologische modellering.

### **Aanbeveling 4:**

*Modelleer de ruimtelijke thermische effecten van het bodemenergiesysteem in een speciale 3-dimensionale thermische module van het grondwatermodel. Modelleer de effecten tijdsafhankelijk en minimaal 20 jaar vooruit. Ontwerp op basis van de modeluitkomsten een monitoringsnetwerk.*

Uit de studie bij Koppert-Cress is geconcludeerd dat het waardevol is een module om de horizontale en verticale thermische impact van een bodemenergiesysteem vooraf te bepalen op basis van een

modelstudie. De resultaten van een thermische modellering maakt duidelijk of omringende bodemenergie-systemen en andere ruimtelijke belangen thermisch beïnvloed kunnen gaan worden bij het gewenste productie-profiel. Met het monitoringsprogramma kan de vooraf 3D-gemodelleerde ruimtelijke impact geverifieerd worden op basis van temperatuurmetingen. Ook kan vooraf bepaald worden of te verwachten is dat de MTO impact heeft op de temperatuur aan de basis van het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket. De temperatuur mag daar ten gevolge van MTO niet hoger worden dan 25 graden Celsius.

Een eerste indruk van de jaarlijkse horizontale thermische impact kan analytisch bepaald worden met de thermische straal van het systeem. Deze is bepaald door het totaal volume grondwater dat per seizoen geïnfiltreerd wordt en de filterlengte. Essentieel is hierbij dat het per seizoen te infiltreren volume grondwater een representatieve weergave van dat seizoen is.

**Aanbeveling 5:** *Voer een goede nulmeting van de grondwatersamenstelling uit*

De effecten van de temperatuurverandering op de chemische samenstelling van het grondwater zijn lastiger in beeld te brengen. De initiële geochemie verschilt sterk per situatie en is lastig in beeld te krijgen. Dat vraagt om monsternamen en analyse, en op voorhand moet er dan ook nog een extra boring worden geplaatst. Als het systeem eenmaal is opgestart wordt de natuurlijke situatie “verstoord” en is interpretatie van de effecten van een MTO op de initiële grondwatersamenstelling en de temperatuur zeer lastig.

Naast bovengenoemde aanbevelingen moet natuurlijk ook getoetst worden op effecten en randvoorwaarden die bij een regulier vergunningverleningsproces voor bodemenergie bepaald moeten worden. Dit betreft onder andere, maximale stijghoogte verlaging, geohydrologisch invloed gebied, thermische invloed gebied, effecten op naburige bodemenergiesystemen, zetting, beïnvloeding zoet-zout grensvlak, Seasonal Performance Factor, productiviteit (Mwh/m<sup>3</sup>). Voor een eerste inschatting is een uitgebreide checklist van noodzakelijke parameters en eigenschappen opgesteld in bijlage II.

## 8 SAMENVATTING EN VERVOLG

In opdracht van Greenport West-Holland is onderzocht wat de mogelijkheden en randvoorwaarden zijn om bodemenergie op middelhoge temperaturen toe te passen in de glastuinbouw in Zuid-Holland. De aanbevelingen uit dit onderzoek kunnen naast de glastuinbouw ook voor andere sectoren binnen de gebouwde omgeving worden toegepast. Binnen het onderzoek is geïnventariseerd welke technische inhoudelijke en procedureel juridische kennis en ervaring met bodemenergie op hogere temperaturen in Nederland al aanwezig is. Op basis van het onderzoek zijn aanbevelingen gegeven voor toepassing binnen bestaande bodemenergiesystemen en binnen de mogelijkheden van het juridische kader van vergunningverlening en beleid. De toepassing van bodemenergie op middelhoge temperaturen (MTO) kan resulteren in een energiebesparing tot 90 % ten opzicht van conventionele technieken.

MTO is een vorm van hernieuwbare energietoepassing die gebaseerd is op het infiltreren en onttrekken van opgewarmd en afgekoeld grondwater. In tegenstelling tot generieke open bodemenergiesystemen wijkt bij MTO de infiltratietemperatuur af van de Rijksregels die onder de Omgevingswet in het Besluit Activiteiten Leefomgeving is gesteld op 25 graden Celsius. De provincie Zuid-Holland kan als bevoegd gezag voor de afwijking van de rijksregel aanvullende vergunningvoorschriften opleggen. Deze voorschriften dienen te borgen dat opslag van grondwater met een temperatuur hoger dan 25 graden het functioneren van de bodem en leefomgeving niet beperkt en de grondwaterkwaliteit niet verslechterd.

Een plan van aanpak om MTO vergunning technisch mogelijk te maken zal in het eerste kwartaal van 2024 aan de provincie Zuid-Holland worden voorgelegd waarbij onderhavig rapport als bijlage kan dienen. Het plan van aanpak zal aan Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland moeten worden voorgelegd om de toepassing van bodemenergie op middelhoge temperatuur binnen een vergunning technisch "pilot-kader" te kunnen realiseren.

Op basis van diverse onderzoeksprogramma's en praktijksituaties komt een algemeen beeld naar voren dat tot grondwater-temperaturen van 45 graden Celsius er weliswaar veranderingen optreden in de grondwatersamenstelling maar dat er geen nadelige en/of onomkeerbare effecten optreden. Echter, door de beperkte hoeveelheid historische pilots is de praktische ervaring met Midden Temperatuur Opslag in Zuid-Holland te beperkt om de effecten eenduidig als acceptabel te kunnen benoemen. Dit wordt onder andere veroorzaakt door de grote lokale variatie in bodemopbouw, geohydrologie, grondwatersamenstelling en de productiestrategie van het MTO-systeem.

De interesse voor MTO binnen de glastuinbouw in Zuid-Holland is geïnventariseerd. Op basis hiervan zijn 10 ondernemers geïnteresseerd om aan een MTO-pilot mee te werken. De glastuinbouwers zien met name meerwaarde om binnen hun reeds productieve bodemenergiesysteem de maximale infiltratietemperatuur te verhogen naar 45 graden Celsius. Een 3-tal bedrijven heeft aangegeven de ondergrondse warmteopslag op temperaturen hoger dan 60 graden (HTO) te willen onderzoeken. Deze opslag temperatuur valt buiten de scope van deze inventarisatie en de provincie Zuid-Holland zal direct met deze ondernemers de mogelijkheden voor HTO onderzoeken.

Uit de response van de gemeenten wordt afgeleid dat deze nog niet toe te zijn aan beleidsmatige invulling voor bodemenergie op hogere temperaturen. In een vervolgfase kan met gemeenten de noodzaak, meerwaarde en mogelijkheden van gemeentelijk beleid voor MTO en HTO samen met de provincie uit te werken. De Omgevingswet biedt gemeenten via het omgevingsplan mogelijkheden om strategisch ruimtelijk te kunnen ordenen en stimuleren op deze energiebesparende duurzame toepassing.

Aangezien vooraf niet eenduidig is of de monitoring daadwerkelijk passend is om de ruimtelijke, chemische en microbiologische effecten inzichtelijk te maken is het van belang dat een monitoringsplan gedurende de pilot aangepast kan worden op basis van gewijzigde kennis zonder de vergunning aan te hoeven passen. Aanbevolen wordt om de monitoring van de MTO-pilots te laten begeleiden door een kennisinstituut. Op basis van periodieke tussen evaluaties kan dan een beter “totaalbeeld” van de effecten verkregen worden en waar nodig kan vroegtijdig worden bijgestuurd. Greenport West-Holland is in overleg met KWR, de provincie Zuid-Holland en initiatiefnemers om ondersteuning van de monitoring van MTO-pilots in een onderzoeksprogramma te borgen.

## 9 LITERATUURLIJST

*Meer Met Bodemenergie, cahier, IF-Technology, Bioclear, Deltares, april 2012 (in opdracht van SKB)*

*Meer Met Bodemenergie, Rapport 2, Literatuuronderzoek, overzicht van kennis en onderzoeksvragen rondom bodemenergie, IF Technology, Deltares, Wageningen Universiteit, Bioclear, 30 maart 2012, MMB 26.229/59108/MaK*

*Meer Met Bodemenergie, Rapport 3 / 4 Effecten op de ondergrond, effecten van bodemenergiesystemen op de geochemie en biologie in de praktijk. Resultaat metingen op pilotlocaties en labtesten, IF Technology, Deltares, Wageningen Universiteit, Bioclear, 25 juni 2012, MMB 26.230/59108/MaK*

*Hoge Temperatuur Opslag van warmte, Stand der techniek en bodempotentie, RES Rotterdam Den Haag & omgeving Leiden, IF Technology, 1 juni 2023, kenmerk PR09455/RK/20230601.*

*Heatstore, Geothermica. Dutch pilot site Koppert Cress: analysis of HT-ATES field performance and the impact of storage conditions, Stijn Beernink MSc, Martin Bloemendal PhD, Niels Hartog PhD KWR Water Research Institute, 2021.12.21, HEATSTORE-D2.1*

*WINDOW fase 1, WINDOW werkpakket D1, Juridisch achtergronddocument, Wet- en regelgeving voor de toepassing van Hoge Temperatuur Opslag (HTO), IF Technology en KWR, 26 november 2020, Referentie 69161/RK/20201007*

*WARMING UP, Voorlopig afwegingskader voor vergunningverlening HTO, Juridisch afwegingskader ondergrondse warmteopslag, KWR en IF Technology, 29 oktober 2021, KWR 403185-005*

*WARMING UP, Waterkwaliteitseffecten bij en monitoring van HTO systemen, Synthese en update op basis van de monitoring bij HTO Middenmeer, KWR, 15 december 2023, kenmerk KWR 2023.120*

*Feasibility study of an ATES triplet. Pape, J.J. Utrecht, Utrecht University, 2017.*

*Verwarming en koeling zonder warmtepomp met WKO-triplet, Martin Bloemendal, Ad van Wijk (KWR Watercycle Research Institute, TU Delft), Niels Hartog, Jan Jaap Pape (KWR Watercycle Research Institute, Universiteit Utrecht), H2O-Online, 1 december 2017*

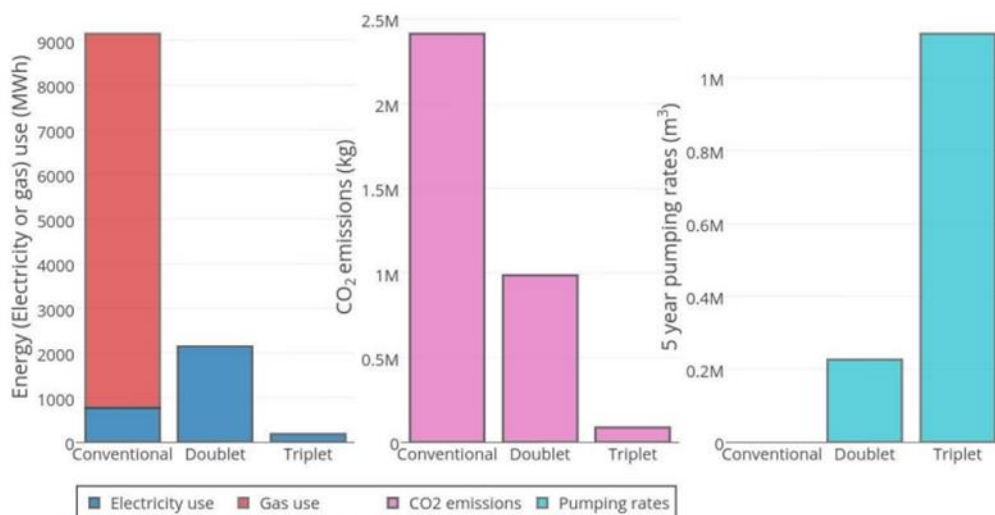
*Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen: een praktijkverkenning, Witteveen+Bos en KWR, 10 juni 2020, ref. 109557/20-009.001.*

## BIJLAGE I

## Midden temperatuur opslag met een Triplet

Aandachtspunt voor de toepassing van MTO in de glastuinbouw is het streven naar een minimalisering van de toepassing van de warmtepomp. Afhankelijk van de teelt en de inrichting van de kassen moet bij de huidige generiek OBES de warmtepomp zowel voor de gebouwzijdige koeling als de gebouwzijdige verwarming ingezet worden om de gewenste afgifte-temperatuur te bereiken. Daarbij mag in de huidige generiek vergunde OBES situatie tijdens de koelfase de piek-temperatuur van infiltrerend grondwater de 30 graden niet overschrijden. Er moet dus ook nog een extra “koelfase” worden ingelast in de hete zomerperiodes om de infiltratie temperatuur te temperen.

Zoals eerder beschreven kan een MTO tot 90% energiebesparing opleveren doordat de warmtepomp niet meer gebruikt hoeft te worden. Dit kan gerealiseerd worden door het gebruik van een derde “lauwe tussenbron”. Deze wordt afwisselend gebruikt als retourbron van de koeling en retourbron van de opwarmingsbron. In energetisch gunstige situaties wordt deze lauwe-bron met “regeneratie-technieken” als productiebron gebruikt om water verder uit te koelen naar de gewenste koude bron temperatuur of op te warmen naar de gewenste warme bron temperatuur. Regeneratie van de koude bron kan in de winterperiode bij voldoende lage buitentemperaturen met een laag energiegebruik worden gerealiseerd via dry-coolers. In periodes van veel zonnewarmte kan water uit de lauwe-bron verder worden opgewarmd in zonnecollectoren. Ook kan bij lage of negatieve energieprijzen via een warmtepomp de warme of de koude bron op ideale temperatuur gebracht worden. (Green power to Green heat). Onderstaande afbeelding en het beschreven systeem is ontwikkeld en gepubliceerd in de MSc thesis van J. Pape (*Pape, J.J. Feasibility study of an ATEs triplet. Utrecht, Utrecht University, 2017*).

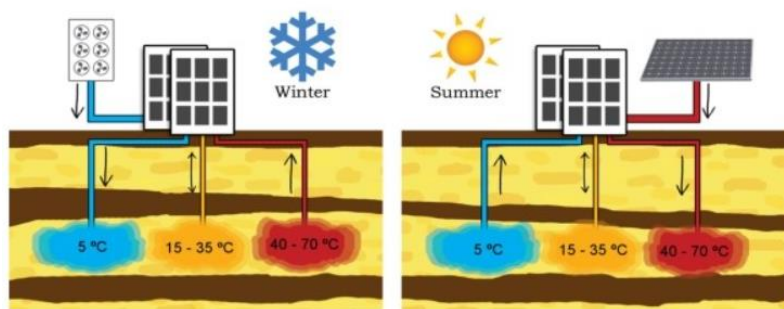


Afbeelding 4. Totaal energieverbruik, CO<sub>2</sub>-emissies en pompdebieten voor conventionele energievoorziening (fossiel), conventioneel WKO-systeem (doublet, met warmtepomp) en een WKO-tripletsysteem (zonder warmtepomp) [7]

Uit bovenstaande afbeelding van J. Pape wordt duidelijk welke CO<sub>2</sub> besparing en Energie besparing mogelijk is met een triplet. Voorwaarde is wel dat de hoeveelheid rondgepompt grondwater ruim een factor 5 groter is bij een triplet. Dit wordt veroorzaakt door de noodzakelijke regeneratie van de koude

en de warme bron van het triplet. Een uitwerking van het triplet-concept is in december 2017 gepubliceerd op H2O-online (*Verwarming en koeling zonder warmtepomp met WKO-triplet, Martin Bloemendal, Ad van Wijk (KWR Watercycle Research Institute, TU Delft), Niels Hartog, Jan Jaap Pape (KWR Watercycle Research Institute, Universiteit Utrecht), H2O-Online, 1 december 2017*).

Het grote voordeel van een tussenbron is dat met behulp van deze intermediaire bron de koude en warme bron op een energetisch zo ideaal mogelijk tijdstip verder afgekoeld of opgewarmd kan worden. Daarbij wordt voor zowel de koude als warme bron de mogelijkheid van extra warmte/koude-overdracht met dry-coolers gedacht. Daarnaast dienen zonnecollectoren of aquathermie als aanvullende warme/koudebronnen ingezet worden. Het triplet-concept is hieronder in profiel afgebeeld voor een zomer- en een winter-situatie. (bron: Afbeelding 5 uit H2O-Online)



Binnen KWR werkt Niels Hartog sinds 2022 aan de praktische toepassing van een triplet binnen een NWO-onderzoeksconsortium met onder andere de TU-Delft, TU Eindhoven, KWR, RHDHV, Kropman Installatietechniek en BodemenergieNL. In het kader van NWO is subsidie toegekend binnen het “Open Technology Programme”.

Voor de inpassing en uitwerking van MTO-pilots wordt sterk aangeraden verder contact op te nemen met Niels Hartog om te inventariseren of deze techniek geschikt is voor de teelt specifieke gebouw-zijdige afgifte temperaturen.



## BIJLAGE II

### Vragenlijst locatie-specifieke eigenschappen voor een MTO-systeem

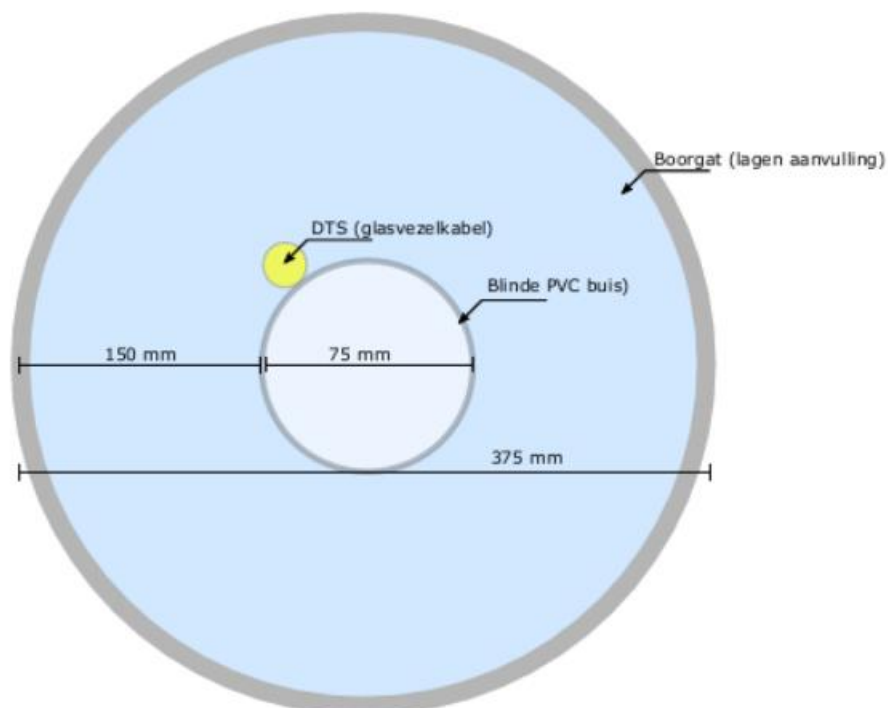
Onderstaande vragenlijst geeft een eerste indicatie van de noodzakelijke gegevens om de effecten van een MTO-systeem te beoordelen.

	<i>Vragenlijst eigenschappen bodemenergiesysteem voor MTO-pilot</i>	<i>Antwoord</i>	<i>Eenheid</i>
1	Afstand tot Kwetsbaar object (strategische voorraad, drinkwaterwinning, natura 2000 )		km
2	MTO in 2e/3e Watervoerend pakket ?		ja/nee
3	Afstand tot andere OBES /GBES ?		m
4	OBES/GBES in thermische invloedsfeer		ja/nee
5	Functies 1e wvp ?		geen / osmose / regenwater / wko
6	Positie brak-zout grensvlak		m - NAP
7	Diepte en dikte afsluitende kleilaag (boven)		m
8	Diepte bovenzijde warme filter		m - nap
9	Filterlengte		m
10	Debiet (gemiddeld)		m <sup>3</sup> /h
11	Onderlinge afstand koude bron - warme bron (doublet)		m
12	Seizoensvolume warmte laden (zomer)		m <sup>3</sup> /zomer
13	Seizoensvolume koude laden (winter)		m <sup>3</sup> /winter
14	Bodemzijdig warmte laden (Energie)		Mwh
15	Bodemzijdig koude laden (Energie)		Mwh
16	Temperatuur warmte laden (gewogen gemiddelde)		Celsius
17	Temperatuur koude laden (gewogen gemiddelde)		Celsius
18	Temperatuur warmte laden (maximum)		Celsius
19	Temperatuur koude laden (minimum)		Celsius
20	Snelheid grondwaterstroming opslag pakket		m/jaar
21	Richting grondwaterstroming opslag pakket		N/O/Z/W
22	3D-Thermische modellering		(ja/nee)
23	Maximale thermische invloedsfeer (delta 0,5 C) warme bron (20 jaar)		m
24	Afstand thermische invloedsfeer 25 graden contour (jaarlijks)		m
25	Thermisch effect aan basis 1e wvp na 20 jaar		Celsius
26	SPF (geleverde gebouwszijdige koude + warmte / elektra verbruik)		dimensieloos
27	Indicatie energiebesparing tov gas of tov WKO		Mwh
28	Productiviteit (jaarlijkse bodemzijdige opslag energie/ jaarlijks onttrokken volume water)		Mwh/m <sup>3</sup>

## BIJLAGE III

### Glasvezelkabel voor temperatuurmonitoring

Met de DTS kabel kan continu de bodemtemperatuur gemeten kan worden. Onderstaande is een voorbeeld van een DTS-kabel in een boorgat met peilbuis afgebeeld.



*Doorsnede van een boorgat met pvc-buis en een DTS glasvezelkabel. (Bron Witteveen+Bos en KWR, Grondwatermonitoring bij geothermiesystemen: een praktijkverkenning, 10 juni 2020, ref. 109557/20-009.001).*

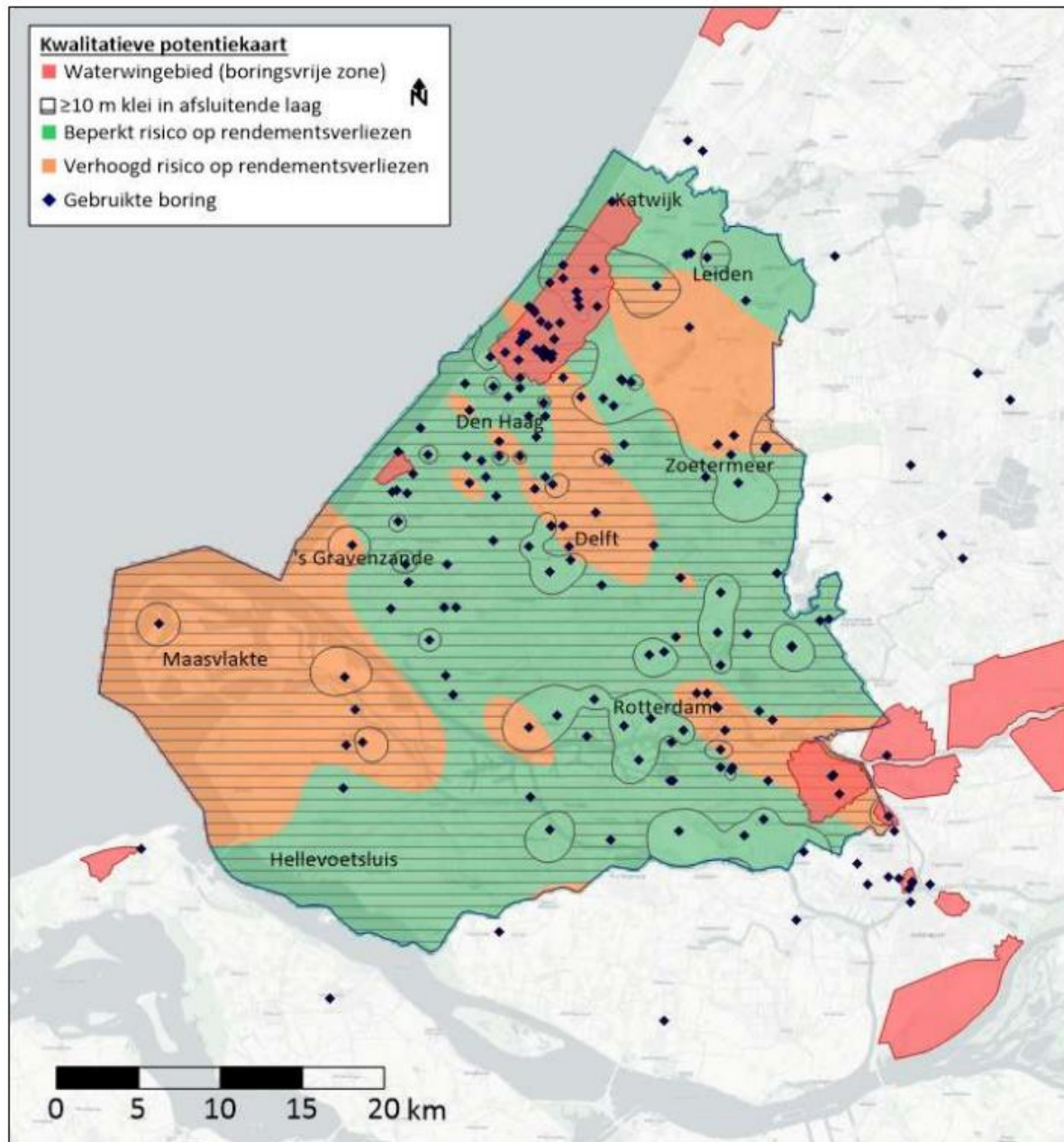
Bij plaatsing van de peilbuis wordt de DTS-kabel daaraan bevestigd. De buis en DTS kabel worden vervolgens gecentreerd in het boorgat geplaatst met behulp van centreerringen. In de praktijk bekend dit dat, conform de verder gedetailleerde beschrijvingen in het protocol Mechanisch Boren (2101) van het SIKB, er een storkoker van 90 mm geplaatst moet kunnen worden om het boorgat in lagen te kunnen aanvullen. De ruimte tussen het peilfilter en de boorgatwand dient hiervoor minimaal 100 mm te bedragen. De minimale boordiameter wordt dan ca. 250 mm (100 + 100 + 36 mm )

Om de verzamelde data van de DTS-kabel uit te lezen is wel een bovengrondse infrastructuur noodzakelijk. Deze kan gehuurd of gekocht worden.

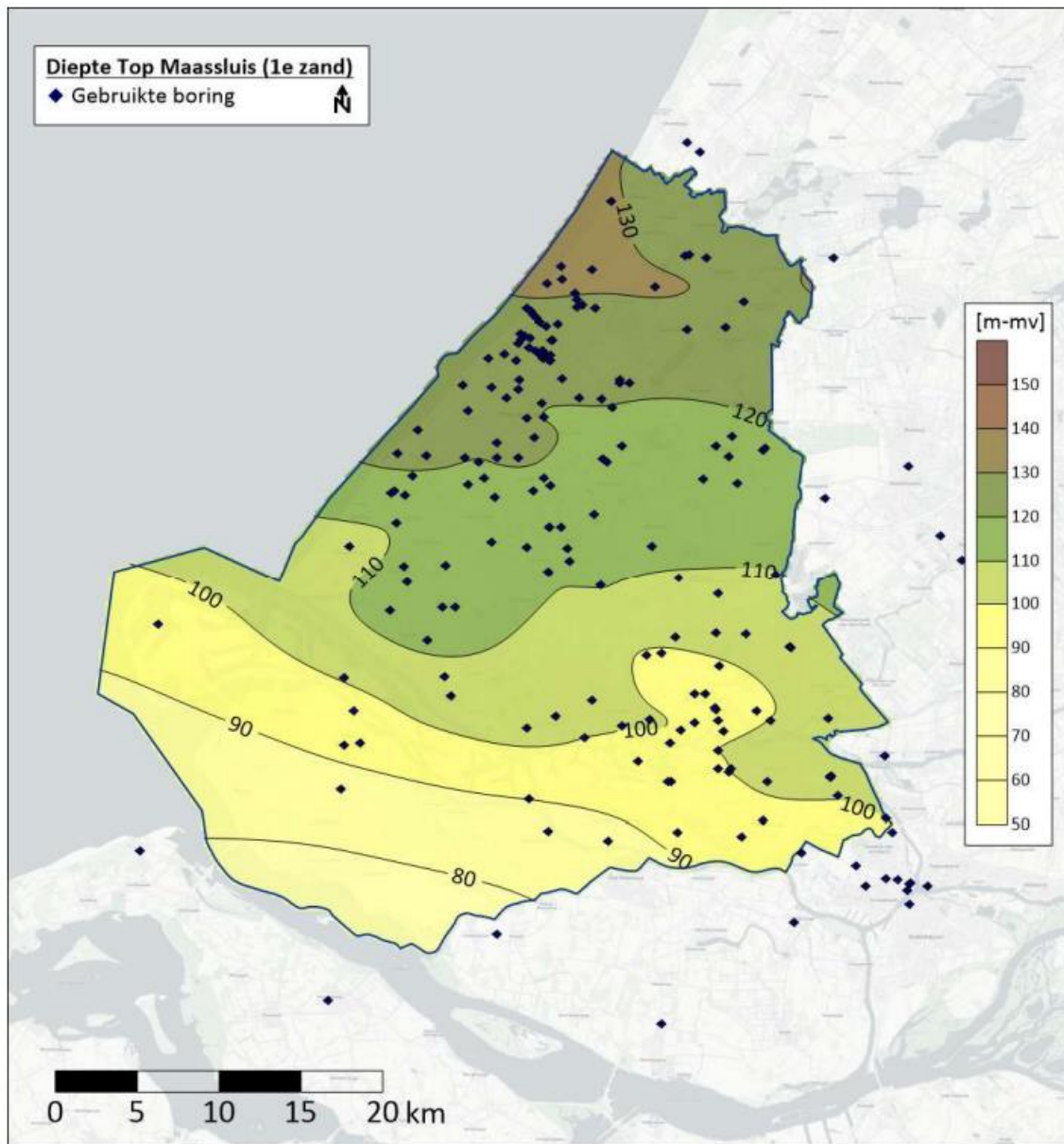
De meerkosten van het aanbrengen van een DTS-glasvezelkabel in een boorgat tijdens het plaatsen van een peilbuis moeten worden opgevraagd. Ook de kosten voor huur- & beheer van DTS uitleesapparatuur zijn in dit stadium niet nader bekend.

## BIJLAGE IV

### Kaartbeelden potentie onderzoek HTO (IF-technology, 2023)



Afbeelding uit potentie onderzoek HTO van IF-technology,. De groene zones met horizontale arcering zijn volgens IF de locaties met de hoogste potentie voor toepassing van HTO. Die locaties zijn in ieder geval ook geschikt voor MTO toepassing.



Afbeelding uit het onderzoek van IF-technology naar de potentie voor HTO. De minimaal met een doublet realiseerbare debieten uit de Maassluis formatie zijn afgebeeld. Bijna in het gehele gebied kan een debiet hoger dan 150 m<sup>3</sup>/uur gerealiseerd worden. Deze watervoerende eigenschappen zijn dus ook ideaal voor MTO.