

TKI HTO-PEN Publiekssamenvatting voor de maatschappij

Hoge Temperatuur Opslag (HTO) in Middenmeer

Wat is HTO?

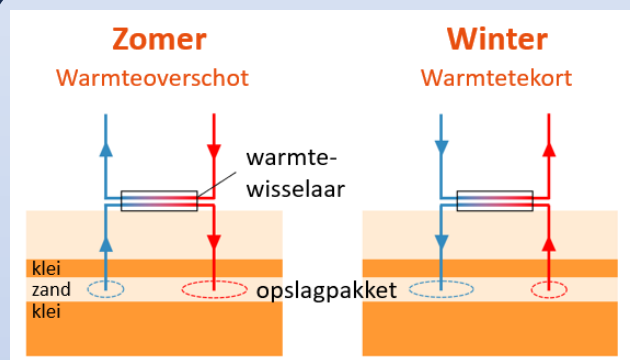
HTO staat voor Hoge Temperatuur Opslag en is een vorm van Open bodemenergiesysteem (OBES) waarbij grote hoeveelheden warmte (>10 GWh) op hoge temperatuur (tot 90°C) gedurende een lange periode op worden geslagen in de ondergrond. In de zomer is er vaak een overschot aan duurzame warmte beschikbaar, zoals aardwarmte, restwarmte van industrie en zon- en windenergie. Om deze overschotten te benutten kunnen ze in de vorm van heet water worden opgeslagen in een zandlaag in de ondergrond, en terug geproduceerd in de winter voor verwarming. De opslagtemperatuur is meestal afhankelijk van de warmtebron. Hoe hoger de opslag temperatuur, hoe minder stroom er in de winter nodig is om op te waarderen tot het gewenste temperatuurniveau.



De hete bron

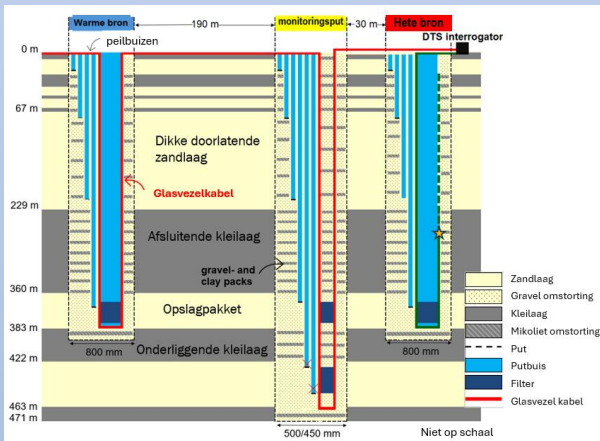
Hoe werkt het?

Warm water wordt omhoog gepompt uit een put (de lauwe bron), verwarmd via een warmtewisselaar en via een andere put (de hete bron) opgeslagen in dezelfde watervoerende laag. In de winter wordt dit proces omgekeerd en wordt het hete water terug teruggewonnen voor verwarming en het afgekoelde water weer teruggepompt in de lauwe bron. Tijdens deze terugwinperiode neemt de temperatuur van het onttrokken water geleidelijk af door warmteverliezen in de ondergrond. Onder een bepaalde temperatuur (afkaptemperatuur) is de warmte niet meer bruikbaar en wordt het terugwinproces gestopt. Deze afkaptemperatuur is, samen met de retour temperatuur in de lauwe bron, belangrijk voor het rendement van het systeem en ze zijn beide afhankelijk van de afnemers van de warmte.

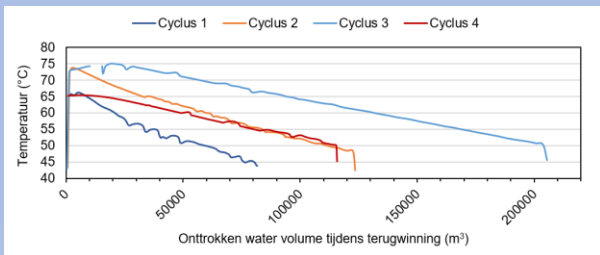


Figuur 1 – Schematische weergave van de werking van een HTO systeem

Het HTO systeem in Middenmeer



Figuur 2 – Schematische weergave van de ondergrond met de bronnen en de monitorsput. De rode en groene lijnen langs de putten tonen de DTS kabel



Figuur 3 – Temperatuur van het teruggewonnen water als functie van het onttrokken volume per cyclus. Tijdens cyclus 4 was de water temperatuur beïnvloed door een defecte klep waardoor enkele dagen koud water mee was opgeslagen

In Middenmeer wordt heet water afkomstig uit meerdere geothermie systemen, met een temperatuur van 80 tot 85°C opgeslagen in een zandlaag, de formatie van de Maassluis op een diepte van 360 tot 383 m. Een dikke kleilaag boven en onder deze zandlaag zorgt voor een isolerende werking, waar de warmte slechts via warmtegeleiding naar boven en naar onder kan verplaatsen. Het systeem bestaat uit één hete en één lauwe bron met een onderlinge afstand van 220 m. Een monitoringput ligt ertussenin op een afstand van 30 m van de hete bron. Zie Figuur 2 voor een schematische weergave van het systeem in de ondergrond.

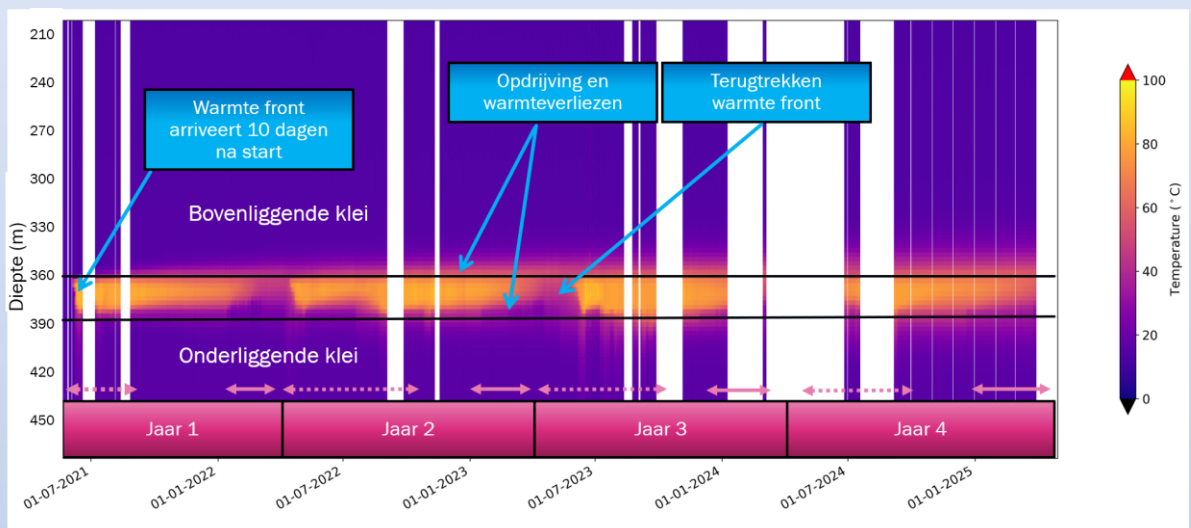
Het systeem, gerealiseerd tussen 2019 en 2020, is ontworpen op een gemiddeld opslag volume van 440.000 m³ wat neerkomt op 27 GWh opgeslagen warmte. De hoeveelheid terug te winnen warmte in de winter is volgens ontwerp 20 GWh. De warmte uit de HTO kan direct gebruikt worden voor verwarming van kassen, tot een afkaptemperatuur van ongeveer 45°C waarna de terugwinfase wordt afgerond.

De HTO heeft op het moment van schrijven 5 succesvolle cycli gedraaid, in het HTO-PEN project zijn de eerste 4 geanalyseerd. Het systeem heeft een toenemend rendement van 28% in cyclus 1 tot 49% in cyclus 4. De temperatuur van het teruggewonnen water is elke cyclus hoger, en daalt minder hard doordat de ondergrond opwarmt, zie Figuur 3. Verwacht wordt dat de opvolgende cycli het rendement verder stijgt. Dit is echter sterk afhankelijk van verschillende externe factoren als beschikbare aardwarmte in de zomer en het afgifte systeem in de kassen. Voor een uitgebreide beschrijving van de operationele prestatie van het HTO systeem tijdens de 4 cycli, en waar die van afhangt, wordt verwezen naar HTO-PEN deliverable D (Drijver, 2026).

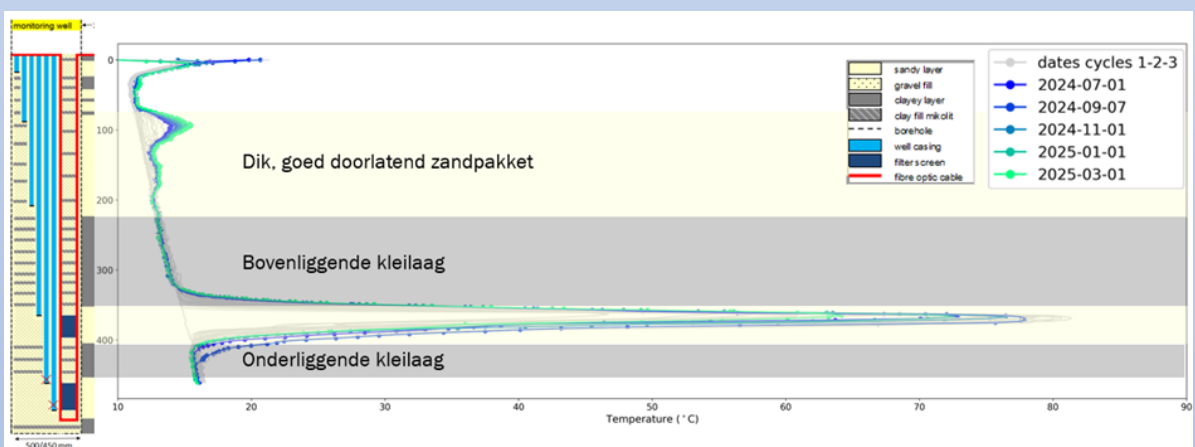
Thermische impact

Om de veranderingen in temperatuur in het opslagpakket en de bovenliggende lagen te meten zijn temperatuurmetingen uitgevoerd d.m.v. Distributed Temperature Sensing (DTS) via een glasvezelkabel. De kabel is geïnstalleerd in de putten en loopt als één lange kabel van bijna 2900 m naar beneden en weer naar boven langs de warme, monitoring en hete put (zie Figuur 2). De DTS *interrogator* aan het uiteinde van de kabel heeft elke 10 minuten op elke 2 m langs de gehele kabel een meting vastgelegd gedurende de eerste 4 cycli. In Figuur 4 is het verloop van de temperatuurontwikkeling in de tijd bij de monitoringsput weergegeven. De aankomst van het warmtefront tijdens injectie, de oprijving en warmteverliezen, en het terugtrekken van het warmtefront tijdens terugwinning zijn goed zichtbaar.

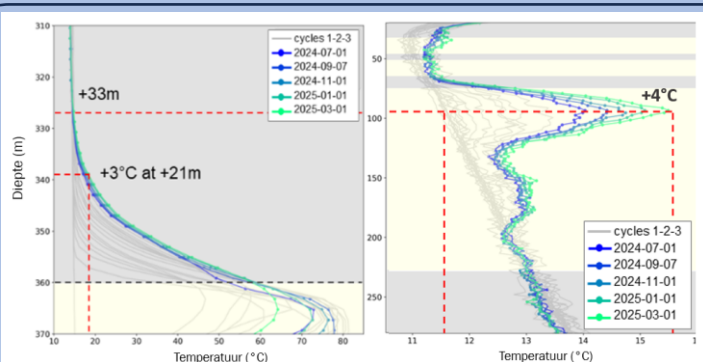
In Figuur 5 zijn dezelfde metingen op een andere manier weergegeven. De verticale profielen tonen hoe de temperatuur in het opslag pakket omhoog en omlaag gaan tijdens opslag- en terugwinperioden. De bovenliggende kleilaag warmt steeds verder op door warmtegeleiding, maar de snelheid van opwarming neemt af in de tijd (Figuur 6). Ook laten de metingen bij de monitoringsput een opwarming in het bovenste deel van de ondiepe dikke zandlaag zien. Door warmteverliezen uit de putbuis van de hete bron, die door de dikke zandlaag van ca 90-210 m diepte loopt, treedt er in die zandlaag oprijving op van het warme water, wat resulteert in stroming richting de monitoringsput. De temperatuur verandering op 30 meter van de hete bron is enkele graden (Figuur 6). Dichtbij de hete bron zal de temperatuur hoger zijn. De verwachting is dat verdere opwarming van de bovenliggende klei en het ondiepe zandpakket rond de hete bron zal plaatsvinden. Aangezien in de nabije omgeving geen andere belangen in de ondiepe ondergrond aanwezig zijn levert dat bij dit HTO systeem geen problemen.



Figuur 4 – Visualisatie van de temperatuur langs de monitoringsput op de diepte van het opslagpakket (360 – 383 m) en de boven- en onderliggende klei voor de 4 operationele cycli. De roze pijlen geven een indicatie van de opslag- (gestippelde lijnen) en terugwinfasen (dichte lijnen). De DTS data is bewerkt om ruis te verminderen, zeer slechte data is verwijderd uit de dataset.



Figuur 5 – Verticale temperatuurprofielen langs de monitoringsput. De lichtgrijze profielen representeren data uit de eerste drie operationele cycli, de gekleurde profielen uit de laatste cycli.



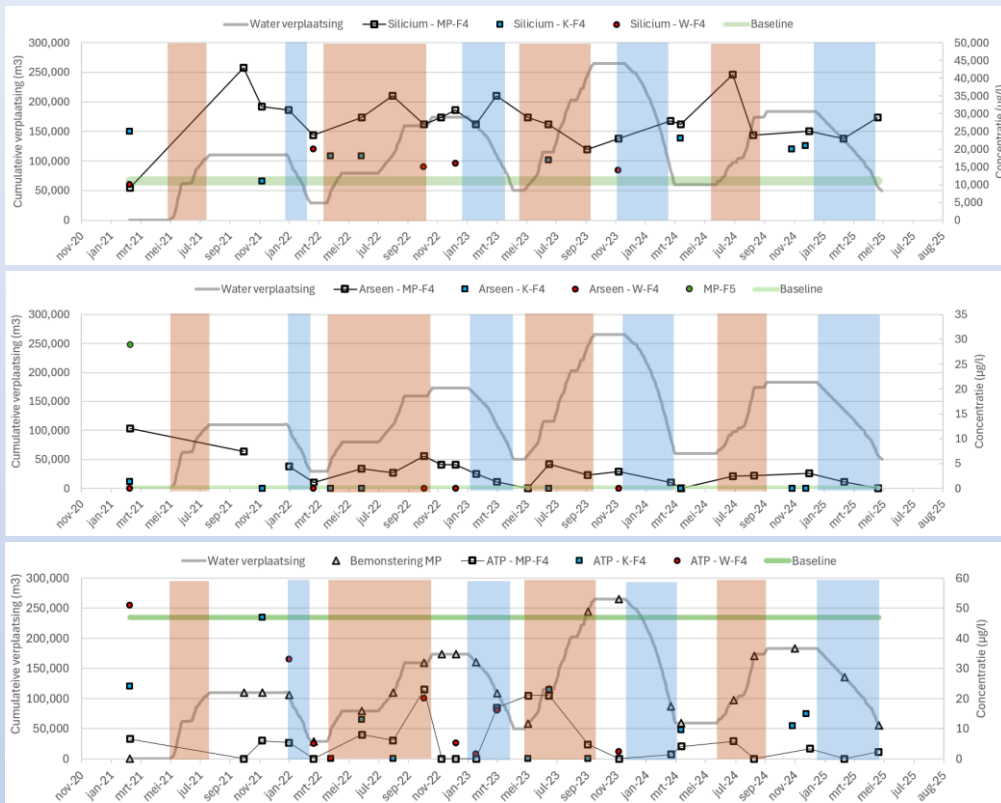
Figuur 6 – Verticale temperatuurprofielen langs de monitoringsput. Links: Top van het opslagpakket en de bovenliggende klei, 310 – 370 m. Rechts: Bovenste 250 m.



Bemonstering
peilbuis

Geochemische en microbiële impact

Om de veranderingen in waterkwaliteit door de HTO, zoals verwacht op basis van literatuur, te meten is het grondwater in het opslagpakket gedurende de 4 cycli bemonsterd en geanalyseerd. In elk van de 3 putten zijn meerdere peilbuizen aangebracht met filters in het opslagpakket en bovenliggende zandpakketten. Zowel voor, als tijdens de 4 operationele jaren zijn de peilbuizen in het opslagpakket meerdere malen bemonsterd voor geochemische en microbiële analyse om veranderingen in grondwaterkwaliteit door opwarming van het water te onderzoeken. Vanwege het heen en weer pompen van het water en de opdrijving van heet water zijn er veel processen die de grondwatersamenstelling beïnvloeden. Bij het opwarmen zal opgelost kalk in het grondwater neerslaan. Om verstopping door kalkneerslag te voorkomen wordt er in Middenmeer CO₂ aan het hete water toegevoegd. Het effect van deze CO₂-dosering is ook geanalyseerd.



Figuur 7 –Silicium, arseen en ATP concentraties in de monitoringsput (MP-F4), lauw bron (K-F4) en hete bron (W-F4) gedurende 4 cycli. Voor arseen is ook de baseline concentratie in het onderliggende zandpakket getoond (MP-F5) van waaruit tijdelijk influx in het opslagpakket heeft plaatsgevonden. De grijze lijn toont de cumulatieve waterverplaatsing. Oranje en blauwe vlakken zijn respectievelijk opslag- en terugwinfases.

De CO₂ concentratie neemt toe tijdens opslagperioden, als gevolg van de toevoeging van CO₂ aan het opgeslagen water. De calcium concentratie, sterk gelinkt aan kalkreactiviteit, varieert flink, met name bij de monitoringsput waar calcium afneemt in opslagperioden en toeneemt in terugwinperioden. Bij de lauw bron neemt calcium toe, waarschijnlijk door kalkoplossing. Figuur 7 toont voor silicium en arseen de gemeten concentraties in de tijd. De toename van silicium bij alle putten maar met name de monitoringsput, was verwacht, en komt door oplossing van silicaatmineralen. Arseen, een giftig element, neemt iets toe bij de monitoringsput, een resultaat van hogere mobiliteit bij hogere temperaturen. De concentraties blijven onder de drempelwaarde van 10 microgram voor drinkwater. Wanneer de temperatuur afneemt wordt dit element weer geadsorbeerd aan de bodemdeeltjes waaruit het origineel was gemobiliseerd; het proces is omkeerbaar. Dit geldt voor de meeste zware metalen en sporen elementen. Ze kunnen alleen mobiliseren als ze in het sediment zitten, en zullen buiten de thermische invloedssfeer weer adsorberen aan het sediment. De ATP concentratie, die de microbiologische activiteit weergeeft, gaat bij alle putten omlaag. De hoge opslagtemperatuur is blijkbaar niet gunstig voor microben. De volledige set aan geochemische en microbiologische resultaten van dit onderzoek worden uitgebreid besproken in HTO-PEN rapport A (Oerlemans et al., 2026).

Key messages

- ❖ De HTO toont geen negatieve invloeden op de omgeving
- ❖ De toegepaste monitoringmethodiek is geschikt
- ❖ Opwarming vindt volgens verwachting plaats in bovenliggende klei, en in ondiepe lagen rondom hete bron.
- ❖ Extra bronisolatie kan het rendement verhogen en de thermische invloed inperken
- ❖ Beperkte geochemische en microbiologische veranderingen gemeten, waarbij geen negatieve impact op grondwater kwaliteit heeft plaatsgevonden



Bemonstering
peilbuis