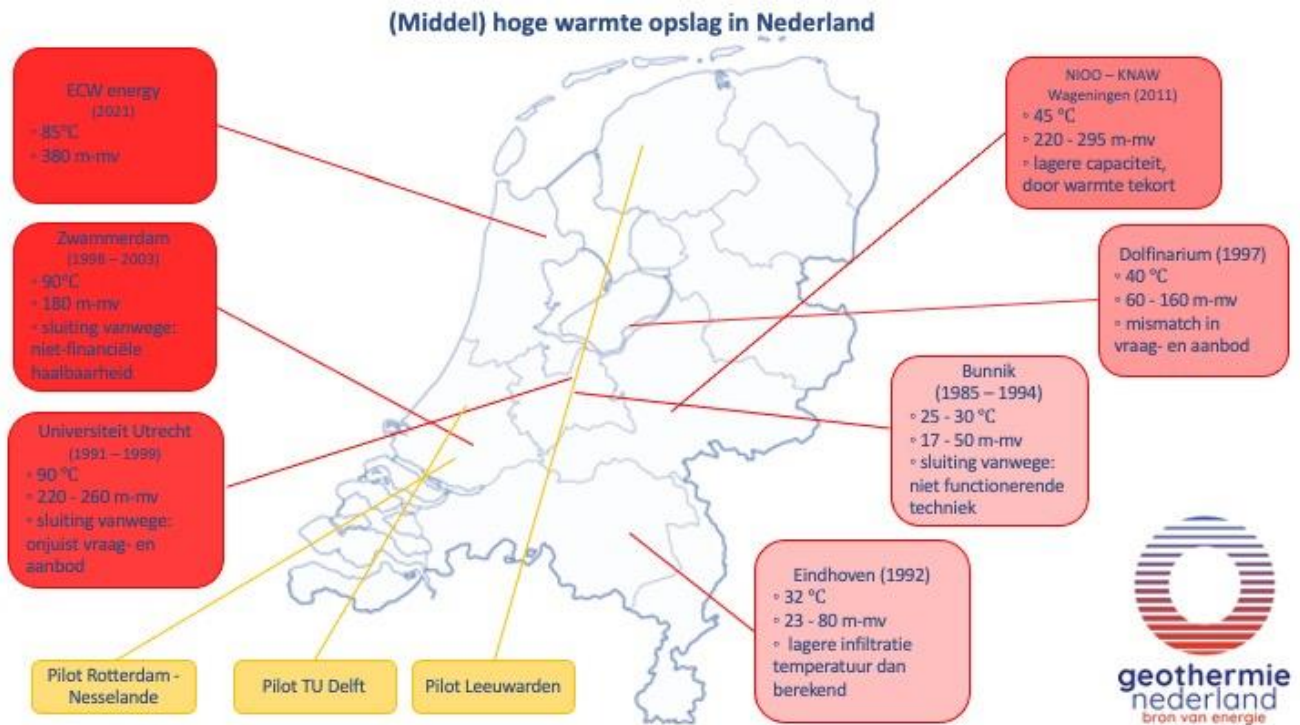


# Kansen voor warmteopslag

Wat is er bekend en waar staan we betreft (middel) hoge temperatuur opslag



Dit document heeft als doel om eerder gepubliceerde informatie overzichtelijk weer te geven. Het biedt een overzicht van rapporten, artikelen en websites die als relevant gezien worden. De leeswijzer biedt allereerst een korte samenvatting van verschillende informatiebronnen in de leeswijzer. De rapporten zijn gestructureerd op basis van meest recente publicatiedatum.

## Inhoudsopgave

<b>Samenvatting .....</b>	<b>3</b>
<i>WKO, MTO en HTO .....</i>	3
<i>MTO en HTO .....</i>	3
<b>Voorlopig afwegingskader vergunningverlening HTO .....</b>	<b>5</b>
<b>Juridisch achtergronddocument .....</b>	<b>6</b>
<b>Effecten van hoge temperatuur warmteopslag op grondwaterkwaliteit .....</b>	<b>7</b>
<b>Risk Analysis of High-Temperature Aquifer Thermal Energy Storage .....</b>	<b>8</b>
<b>Kansen voor thermische opslagsystemen .....</b>	<b>9</b>
<b>State-of-the-art HT-ATES in the Netherlands .....</b>	<b>10</b>
<b>Ondergronds opslag in Nederland – Technische verkenning .....</b>	<b>11</b>
<b>Duurzame warmte gaat ondergronds .....</b>	<b>12</b>
<b>Technische en Juridisch belemmeringen Hoge Temperatuuropslag (HTO) .....</b>	<b>13</b>
<b>Thermisch rendement hoge en middelhoge temperatuur warmteopslag in de bodem .....</b>	<b>15</b>
<b>Meer bodem energie: Hoge temperatuur opslag .....</b>	<b>17</b>
<b>Juridisch Kader Hoge Temperatuur Opslag .....</b>	<b>19</b>
<i>HTO tot 500 meter diepte .....</i>	19
<i>HTO vanaf 500 meter diepte .....</i>	19
<i>Boren .....</i>	19
<i>Stoffen toevoegen .....</i>	20
<b>Aanvullende websites en links .....</b>	<b>21</b>

## Samenvatting

### WKO, MTO en HTO

De WKO, MTO en HTO zijn alle open systemen en hebben overeenkomende aspecten. Bij een WKO wordt er in de winter warm water omhoog gepompt en het afgekoelde water wordt vervolgens terug de bodem ingepompt, zodat het in de zomer gebruikt kan worden voor passieve koeling. Terwijl MTO en HTO het overschot aan warmte in de zomer opslaan, zodat deze warmte in de winter gebruikt kan worden voor de hogere warmtevraag.

Er zijn ook verschillen tussen WKO en MTO en HTO, welke de ontwikkeling van MTO en HTO belemmeren. Op juridisch gebied voldoet de WKO aan Besluitvorming UitvoeringsMethode bodemenergie (BUM BE deel 1). De systemen hebben een maximale infiltratie temperatuur van 25°C en voldoen aan de eis van de energiebalans. De eis houdt in dat er minimaal eens in de vijf jaar de warme en koude met elkaar in evenwicht gebracht moeten.<sup>1</sup>

Terwijl de MTO en HTO niet aan deze twee criteria kunnen voldoen. Een ander verschil tussen WKO en MTO en HTO is het feit dat WKO op dieptes tot 500 meter liggen terwijl de MTO en HTO op dieptes kunnen liggen tot 500 meter en dieper.<sup>2</sup> Hierdoor vallen in sommige gevallen de MTO en HTO onder de mijnbouwwet in plaats van de waterwet.

### MTO en HTO

Er valt op basis van temperatuur onderscheidt te maken tussen MTO en HTO en deze is als volgt:

- Midden Temperatuur Opslag (MTO) heeft een opslag van grondwater met een temperatuur tussen de 30°C en 60°C.
- Hoge Temperatuur Opslag (HTO) heeft een opslag van grondwater met een temperatuur tussen de 60°C en 90°C.

Ondanks dat er een verschil is tussen de temperatuur afbakening wordt er tijdens de themadag 'kansen voor warmteopslag' geen onderscheidt gemaakt tussen MTO en HTO. Hier is voor gekozen omdat de ontwikkeling van alle warmte opslag met een infiltratie temperatuur van boven de 25°C als relevant wordt geacht.

Warmteopslag kan de verbindende factor tussen vraag- en aanbod zijn. Het inspelen op de temporele mismatch tussen vraag- en aanbod van warmte is een belangrijke meerwaarde van HTO.<sup>3</sup>

De MTO en HTO-systemen bestaan uit een doublet met een hete en een lauwe bron. Het bestaat uit twee operatietypes per jaar. In de zomer is de warmtevraag laag of geheel afwezig bij de afnemer. De aanbieder heeft warmte beschikbaar, deze wordt in de bodem opgeslagen. Tijdens de winterperiode draait dit proces om en wordt de opgeslagen warmte gebruikt om het warmtenet te voeden. Het kan dan bijvoorbeeld gebruikt worden voor lage temperatuur verwarming (50 °C) van de gebouwde omgeving en kassen.<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> IF Technology & DWA. (2012). Onderzoek criteria energiebalans WKO.

<sup>2</sup> Oerlemans, P., & Bakema, G. (2020). Juridisch achtergrond document.

<sup>3</sup> Hartog, N., Bloemendal, M., Slingerland, E., & van Wijk, A. (2017). Duurzame warmte gaat ondergronds.

<sup>4</sup> Drijver, B. (2014). Thermisch rendement hoge en middelhoge temperatuur warmteopslag in de bodem.

Afhankelijk van de infiltratie temperatuur is er geen of minder waterbehandeling nodig en bij een lagere temperatuur zijn er minder thermische verliezen. Een lagere temperatuur maakt het ook mogelijk om water op te slaan in water pakketten met een hogere doorlatendheid. Echter heeft een lagere temperatuur wel als consequentie dat er meer water rondgepompt moet worden om dezelfde hoeveelheid warmte te krijgen als bij een systeem met een hogere infiltratie temperatuur.<sup>3</sup>

Er zijn momenteel nog weinig functionerende MTO en HTO installaties, dit kan verklaard worden door de technische en juridische complexiteit van de installaties. In het verleden waren lage opslag- en gebruiksrendementen, putverstoppingen door neerslag van carbonaten en corrosie van toegepaste materialen de voornaamste problemen. Op juridisch vlak zijn er ook obstakels rondom de infiltratietemperatuur, het voldoen aan de energiebalans en waterkwaliteitseffecten.<sup>5</sup>

Alle MTO- en HTO- installaties in Nederland kampen met een lager opslagrendement dan berekend, dit wordt verklaard door veel overeenkomende problematieken.<sup>6</sup>

In het Masterplan voor Aardwarmte Nederland wordt het belang van (hoge temperatuur) opslag nogmaals benadrukt. In dit masterplan wordt de financiële ondersteuning van deze innovatie als cruciaal gezien voor de ontwikkeling van aardwarmte.<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup> Drijver, B. (2012). Meer bodem energie: hoge temperatuur opslag.

<sup>6</sup> Bakema, G. & Drijver, B. (2019). State of the art HT-ATES in the Netherlands.

<sup>7</sup> EBN., DAGO., Stichting Platform Geothermie. & Stichting Warmtenetwerk. (2018). Het Masterplan Aardwarmte Nederland.

## Voorlopig afwegingskader vergunningverlening HTO

Door WarmingUP

Bloemendal, M., Oerlemans, P. & Schout, G. (2021). Voorlopig afwegingskader vergunningverlening HTO. Klik [hier](#) voor rapport.

Dit rapport biedt een afwegingskader voor HTO systemen die tot 500 meter diepte liggen, aangezien deze nog binnen de waterwet vallen in plaats van de mijnbouw wet. Het afwegingskader is bedoeld als aanvulling op specifieke HTO aspecten, die nog onbesproken blijven in het bestaande BUM. Het gaat in op de maximale infiltratietemperatuur van 25°C en het warmteoverschot in de bodem.

Er worden verschillende leidende principes beschreven die van belang zijn bij het faciliteren van een HTO. Aanvullend op deze principes is het feit dat HTO niet toegestaan is bij verordening of beleidsmatig verboden gebieden voor OBES zoals grondwaterbeschermingsgebieden, boringvrije zones, Aanvullende Strategische Voorraden, eventueel Nationale Grondwaterreserves en/of Natura 2000 gebieden. Zie [juridisch achtergrond document](#) voor een inventarisatie van het provinciaal beleid rondom HTO. Als de locatie-specifieke geohydrologische situatie in de ondergrond daar om vraagt kan per provincie of provinciale regio specifiek gebiedsgericht beleid worden gevoerd voor HTO.

Hoofdstuk 3 bevat een handleiding bij het voorbereiden van een vergunningsaanvraag. Deze handleiding is opgedeeld in drie onderdelen:

1. Eisen aan een aanvraag vergunning Waterwet voor HTO-systemen
2. Toetsingscriteria voor de beoordeling van de aanvraag
3. Standaardvoorschriften voor HTO-systemen, ter aanvulling van de voorschriften uit de BUM.

Voor de handleiding zijn als uitgangspunt de uitkomsten van het C3 rapport [effect van hoge temperatuur warmteopslag op grondwaterkwaliteit](#) gebruikt.

Paragraaf 3.1 geeft een beschrijving van de zaken die voorafgaand inzichtelijk moeten worden gemaakt voor de effectrapportage. In 3.1 worden de zaken beschreven die inzichtelijk gemaakt dienen te worden voor de vergunningsaanvraag. Dit is mogelijk aan de hand van de toetsingscriteria in paragraaf 3.2. De toetsingscriteria worden gebruikt door het bevoegd gezag in de afweging om de vergunningverlening.

In paragraaf 3.3 worden er standaardvoorschriften beschreven gespecificeerd op HTO ter aanvulling op het bestaande BUM.

## Juridisch achtergronddocument

Door IF en KWR

Oerlemans, P. & Bakema, G. (2020). Juridisch achtergronddocument. Klik [hier](#) voor het rapport.

In dit rapport is uiteengezet hoe de toepassing van HTO is geregeld in huidige/toekomstige wet- en regelgeving, provinciaal beleid en handreikingen. Daarnaast geven de vergunningen van bestaande HTO-projecten inzicht in hoe voor die individuele gevallen de juridische afweging heeft plaatsgevonden. Deze inzichten vormen de basis waarop (in een vervolg studie) een generiek afwegingskader voor vergunningverlening van HTO-systemen wordt opgesteld.

Een belangrijk aandachtspunt voor de ontwikkeling van HTO is de vergunningverlening van deze systemen in het kader van de Waterwet. De Waterwet staat warmteopslag boven de 25 °C niet in de weg, maar er is niet vastgelegd hoe de afweging ten aanzien van de vergunningverlening gemaakt moet worden.

## Effecten van hoge temperatuur warmteopslag op grondwaterkwaliteit

Door KWR

Schout, G. & Hartog, N. (2020). Effecten van hoge temperatuur warmteopslag op grondwaterkwaliteit. Klik [hier](#) voor het rapport.

Er zijn zorgen rondom de effecten van hoge temperatuur opslag op de grondwater samenstelling, welke zowel een risico kunnen vormen voor de grondwaterkwaliteit als de HTO-systemen. In dit rapport worden de effecten van warmteopslag (met een hogere temperatuur) op de grondwaterkwaliteit beschreven. De belangrijkste bekende effecten zijn hieronder benoemd:

- De negatieve effecten van temperatuurverhoging tot 25°C op de grondwaterkwaliteit zijn beperkt.
- Wanneer temperaturen hoger worden dan 25°C, kunnen de temperatuurgevoelige chemische en microbiologische reacties worden versneld.
- Verhoogde temperaturen leiden tot een snellere afbraak van sedimentair organisch materiaal (SOM) en vanaf ongeveer 40°C ook tot een toename in opgelost organisch koolstof (DOC).
- De hogere temperatuur kan ervoor zorgen dat bepaalde stoffen sterker adsorberen, en andere juist minder sterk. Uit onderzoek lijkt vooral arseen naar voren te komen als een stof welke hierdoor relatief sterk mobiliseert. Vanzelfsprekend hangt de mate waarin stoffen vanuit het sediment in het grondwater terecht kunnen komen af van de mate waarin deze stoffen zich in het sediment bevinden.
- De oplosbaarheid van silicaten is hoger bij hogere temperaturen, waardoor veldspaten in oplossing kunnen gaan, met potentieel hogere concentraties van de elementen Si, Ca, Na, en K tot gevolg.
- In de in Nederland voor HTO beoogde lagen is kalkverzadiging van het grondwater aannemelijk. Aangezien hoge temperaturen de oplosbaarheid van kalk (carbonaten) verlagen kunnen deze gaan neerslaan. Enige oververzadiging van het grondwater met kalk leidt echter niet meteen tot neerslag, waardoor dit probleem in de praktijk pas lijkt op te treden vanaf opslagtemperaturen van 40 - 60°C. Kalkneerslag is vooral een operationeel risico in de hete put. Het gebruik van chemicaliën om putverstopping tegen te gaan kan effect hebben op de grondwaterkwaliteit.

Alhoewel er dus wel degelijk sterke effecten op de microbiologische samenstelling en activiteit verwacht mogen worden, is het de vraag hoe groot de impact hiervan is op de chemische samenstelling van het grondwater, omdat belangrijke processen als kalkneerslag, silicaatoplossing, en ad- en desorptie niet microbiologisch gekatalyseerd zijn maar volledig chemisch verlopen.

## Risk Analysis of High-Temperature Aquifer Thermal Energy Storage

Fleuchaus, P., Schüppler, S., Bloemendal, M., Guglielmetti, L., Opel, O., & Blum, P. (2020). Risk analysis of High-Temperature Aquifer Thermal Energy Storage (HT-ATES). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133. Klik [hier](#) voor het rapport.

Het artikel biedt een overzicht en analyse van de belemmeringen rondom HT-ATES die globale adoptie van de techniek beperken. Dit is gedaan aan de hand van eerder geïnstalleerde HT-ATES systemen. Deze zijn geanalyseerd door ATES en geothermische energie experts. Om ervoor te zorgen dat HT-ATES een cruciale technologie wordt in de energie transitie is het van belang dat toekomstige pilotprojecten ervoor zorgen dat technische betrouwbaarheid wordt bewezen. Dit zodat het vertrouwen in HT-ATES bij investeerders, de politiek en de samenleving groeit. Momenteel wordt HT-ATES in vergelijking tot andere hernieuwbare energiebronnen geassocieerd met multidisciplinaire en complexe risico's. Om deze reden is het van belang dat er uitgebreid risicomanagement wordt gedaan.

In het artikel worden HT-ATES projecten verspreid over de wereld besproken en er worden redenen gegeven waarom deze zijn stilgezet. Aan de hand van de risico analyse uitgevoerd door diverse experts toont figuur 5 het risico van verschillende aspecten van HT-ATES.

Uit de casestudies is gebleken dat de belangrijkste technische risico's verband houden met scaling en verstopping van de putten en een mismatch van vraag- en aanbod. Hoewel verdere inspanningen nodig zijn om scaling en verstopping te voorkomen, met name in aquifers met een hoog carbonaatgehalte, werden de eerste technische problemen op recente HT-ATES-locaties onder controle gehouden.

De meeste HT-ATES-systemen moesten echter worden stilgelegd als gevolg van een te hoog ingeschatte warmtevraag of het verlies van de warmtebron (Utrecht, Zwammerdam, Neubrandenburg, Berlijn). Om een rendabele en duurzame exploitatie van HT-ATES te bevorderen, moet toekomstig onderzoek zich daarom niet alleen richten op het ontwerp van de ondergrond, maar ook op de ontwikkeling van een gebalanceerd vraag- en aanbod.



## Kansen voor thermische opslagsystemen

Door CE Delft

Schepers, B. & Dehens, J. (2020). Kansen voor thermische opslagsystemen. Klik [hier](#) voor het rapport.

In dit onderzoek wordt het marktpotentieel van verschillende collectieve seizoensopslagsystemen in warmtenetten in de gebouwde omgeving geanalyseerd. Uit de businesscases blijkt dat de opties ATES en PTES het vaakst een financieel gunstig resultaat geven (een positief effect op de LCOE). De varianten TTES en BTES, varianten met hoge capex, kunnen binnen het gestelde financiële kader niet uit. Wel hebben deze varianten een significant maatschappelijk rendement (minder CO<sub>2</sub>-uitstoot, efficiënter gebruik duurzame bron). De onderstaande tabel 1 geeft een beknopte weergave van de kansen en belemmeringen per type opslagsysteem.

Concluderend is er een groeiende potentie voor collectieve seizoensopslag voor warmte. Echter de ontwikkeling van warmtenetten is onzeker en afhankelijk van vele factoren, zoals politiek, CO<sub>2</sub>- en energieprijzen of de ontwikkelingen van alternatieven. Dit moet wel in ogenschouw genomen worden bij het interpreteren van de marktomvang. Deze uitkomsten zijn dan ook gebaseerd op de huidige inzichten en systemen.

	ATES	BTES	PTES	TTES
Kansen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lage capex</li> <li>- Goed toepasbaar in Nederland</li> <li>- Weinig bovengrondse ruimtebeslag</li> <li>- Gunstige LCOE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimaal bovengronds ruimtebeslag</li> <li>- Schaalbaar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lage capex</li> <li>- Veel ervaring in buitenland</li> <li>- Gunstige LCOE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimaal bovengronds ruimtebeslag</li> <li>- Geschikt voor toekomstige generatie warmtenetten</li> <li>- Kleine opslag verliezen</li> </ul>
Bedreigingen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Opslag boven 25°C in principe niet toegestaan</li> <li>- Technische uitdagingen</li> <li>- Grote opslag verliezen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Specifieke eisen aan ondergrond</li> <li>- Kan niet snel ontladen</li> <li>- Grote opslag verliezen</li> <li>- Ongunstige LCOE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Omvangrijk bovengronds ruimtebeslag</li> <li>- In sommige regio's niet toepasbaar</li> <li>- Aanzienlijke opslagverliezen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoge capex</li> <li>- Aanzienlijke CO<sub>2</sub>-emissies bij constructie</li> <li>- Ongunstige LCOE</li> </ul>

Tabel 1: Beknopte weergave van kansen en belemmeringen.

## State-of-the-art HT-ATES in the Netherlands

Door HEATSTORE

Bakema, G., & Drijver, B. (2019). State-of-the-art HT-ATES in the Netherlands. Klik [hier](#) voor het rapport.

In dit verslag worden de bestaande HT-ATES-projecten beschreven en wordt de nadruk gelegd op terugwinningsefficiëntie, systeemintegratie en thermische effecten in de ondergrond. De microbiologie en chemische impact van de temperatuursveranderingen in de ondergrond worden intensief bestudeerd en gerapporteerd in het onderzoeksprogramma "Meer met Bodemenergie" (IF Technology, 2012).

In alle HT-ATES in Nederland is het terugwinrendement lager dan verwacht, dit is te verklaren door het volgende:

- De opslagtemperatuur is in de meeste installaties niet afgestemd met het verwarmingssysteem of andersom is het verwarmingssysteem niet afgestemd op de extractie temperatuur van de put.
- Het opslagvolume is kleiner dan berekend, dit maakt de opslag kwetsbaar voor hoge thermische verliezen.
- Sommige middelhoge/lage temperatuur opslag installaties maken gebruik van aquifers met grof zand, dit resulteert in een drijvend vermogen dat de efficiëntie vermindert.

Volgens HEATSTORE moeten de volgende ontwerpregels meegenomen worden:

- Het ontwerp moet van voldoende ruimte hebben.  
Bijvoorbeeld:
  - Een HT-ATES met een temperatuur van 90 °C, heeft een minimaal volume tussen de 250.000 en 500.000 m<sup>3</sup>/seizoen nodig.
  - Een HT-ATES met een temperatuur van 50 °C, heeft een minimaal volume tussen de 35.0000 en 180.0000 m<sup>3</sup>/seizoen nodig.
- Doe altijd een testboring.
- Bereken het terugwinningsrendement met een thermisch 3D-model.

Voor systeemintegratie raden zij de volgende regels aan:

- Zorg ervoor dat de bruikbare temperatuur (cut-off) van de opslag zo laag mogelijk is. Hoe lager de cut-off temperatuur is, hoe meer warmte er van de opslag gebruikt kan worden. Hierdoor wordt het terugwinrendement vergroot.
- Gebruik stervormige put configuraties. In een stervorm; warme putten in het midden en een ring van koude putten. In deze configuratie zullen de koude putten de warmte rond de warme putten isoleren en zal het rendement tot 10 % toenemen.
- Zet het warmteopslagsysteem op basisbelasting in de winter.

## Ondergronds opslag in Nederland – Technische verkenning

Door TNO en EBN.

Van Gessel, S.F., Breunese, J., Juez Larré. J., Huijskes T.D., & Remmelts. G. (2018).  
Ondergrondse Opslag in Nederland – technische verkenning. Klik [hier](#) voor het rapport.

Dit rapport levert een verkennende technische inventarisatie van de diverse mogelijkheden van ondergrondse opslagvormen die een belangrijke rol kunnen gaan spelen in de energietransitie. De uitkomsten worden gekoppeld aan verwachtingen ten aanzien van de toekomstige vraag naar deze vormen van opslag. Ten slotte wordt een overzicht van onderzoeksvragen gegeven met betrekking tot de ontwikkeling van opslag en het voeren van een adequaat beleid rond opslag in de ondergrond.

Opslag van hoge temperatuur warmte in (ondiepe) aquifers kan een significante bijdrage leveren voor met name warmtenetwerken. Dergelijke aquifers hebben een ruimtelijke verbreiding over Nederland en zullen in de komende jaren nader worden onderzocht op hun potentieel. Individuele systemen kunnen jaarlijks zo'n 5 – 20 GWh aan warmte opslaan.

Vanaf P. 61 wordt er een kwalitatieve evaluatie gegeven over HTO.

Op basis van regionale studies zijn er verschillende formaties geïdentificeerd die aan de selectiecriteria (diepte 100 – 1500m en dikte minimaal 20 m) voldoen en economisch gunstig zijn. Figuur 3 – 16 geeft een verbreiding van de aquifers die mogelijk geschikt zijn voor HTO.

## Duurzame warmte gaat ondergronds

Door KWR en GREENVIS

Hartog, N., Bloemendal, M., Slingerland, E., & van Wijk, A. (2017). Duurzame warmte gaat ondergronds. Klik [hier](#) voor het rapport.

Dit artikel beschrijft het belang van ondergrondse warmteopslag. Verschillende typen warmte opslag worden beschreven en de voordelen van warmteopslag worden uiteen beargumenteerd.

Warmteopslag kan de verbindende factor tussen vraag- en aanbod zijn. De ondergrondse warmteopslag kan de piekvraag naar warmte in de koudere seizoenen duurzaam opvangen en het kan als back-up voorziening dienen.

In het artikel worden de volgende voordelen beschreven:

- Maakt warmtevoorziening flexibel; vraag en aanbod kunnen eenvoudig met elkaar in evenwicht worden gebracht.
- Kan grote hoeveelheden warmte opslaan, waardoor perioden zonder of weinig warmteproductie dan wel tijdelijk wegvallen van warmtebronnen gemakkelijk kan worden opgevangen.
- Maakt hogere temperatuur warmte opslag (rond 50 °C) mogelijk en daarmee zeer efficiënte warmte opslagsystemen.
- Kan eenvoudig en efficiënt duurzame warmtebronnen opslaan, zoals warmte van zonnecollectoren, geothermische bronnen en Power to Heat.
- Kan warmtepompen in gebouwen overbodig maken, waardoor geen elektriciteit voor warmtepompen in gebouwen nodig is en daardoor het elektriciteitsnet niet hoeft te worden verzwaaard.

# Technische en Juridisch belemmeringen Hoge Temperatuuropslag (HTO)

Door TNO

Koornneef, J., Griffioen, J., Pluymaekers, M. & Boxem, T. (2015). Technische en Juridische belemmeringen Hoge Temperatuuropslag. Klik [hier](#) voor het rapport.

In dit rapport worden de technische en juridische kansen en belemmeringen in kaart gebracht.

De belangrijkste technische aandachtspunten zijn:

- *Temperatuurverandering in de bodem*: in hoeverre speelt de temperatuurverandering ook een rol in de bovenliggende watervoerende pakketten
- *Geschikte watervoerende pakketten*: warmteverliezen treden op door verschillende processen in de pakketten. Het gaat hierbij voornamelijk om dispersie, warmtegeleiding, grondwaterstroming en dichtheid gedreven grondwaterstroming. Optimaal is een hoge horizontale doorlatendheid en een lage verticale doorlatendheid.
- *Putverstopping en corrosie*
- *Materiaal gebruik bij hoge temperaturen en corrosiegevoelige omstandigheden*: De parameters die van belang zijn bij het inschatten van de corrosie zijn de samenstelling van het formatiewater, gassamenstelling, temperatuur, druk en gebruikte materialen (met name welk type staal wordt toegepast). Het PVC dat bij lagere temperatuur toegepast wordt, kan niet gebruikt worden bij hogere temperaturen en dit leidt tot hoge investeringskosten.
- *Grondwaterkwaliteit*
- *Microbiologie*: 2 gebieden die meer aandacht verdienen:
  - Wat is de rol van microbieel gedreven reacties op de ontwikkeling van de grondwaterkwaliteit?
  - Zijn er microbiële risico's bij de toepassing van WKO/HTO?
- *Zetting door temperatuurverandering*
- *Effecten waterbehandeling op de waterkwaliteit*: tot op heden zijn er maar twee soorten waterbehandelingsmethodes gebruikt, zoutzuurdosering en kationen-uitwisseling.

De onderstaande tabel 2 geeft een samenvatting weer van het juridische kader van HTO.

Diepte van de opslag (beneden het maaiveld)	< 500 m	> 500 m
Wet- en regelgeving van toepassing	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waterwet</li> <li>• Waterbesluit (AMvB Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen)</li> <li>• Waterregeling</li> <li>• Besluitvorming uitvoeringsmethode (BUM) provinciale taken en Hand-having uitvoeringsmethode (HUM) provinciale taken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mijnbouwwet</li> <li>• Mijnbouwbesluit</li> <li>• Mijnbouwregeling</li> </ul>
Belangrijkste restricties	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infiltratietemperatuur max 25°C</li> <li>• Geen opwarming van de bodem</li> <li>• Behoudt energiebalans minimaal elke 5 jaar</li> </ul>	Geen beperkingen zoals bij de ondiepe HTO
Bevoegd gezag	Provincies	Ministerie van Economische zaken en Klimaat
Procedure doorlooptijd (indicatief)	~ 5 maanden	6 – 9 maanden
Vergunning	Watervergunning	Opslagvergunning (art. 25 Mijnbouwwet)

Tabel 2: Juridisch kader HTO.

## Thermisch rendement hoge en middelhoge temperatuur warmteopslag in de bodem

Door IF Technology

Drijver, B. (2014). Thermisch rendement hoge en middelhoge temperatuur warmteopslag in de bodem. Klik [hier](#) voor het artikel.

In dit rapport worden de verschillen tussen MTO en HTO besproken, maar ook de techniek achter MTO en HTO. In het rapport worden ook 3 werkende installaties beschreven en eindigt het rapport met een hoofdstuk dat een visie over de ontwerpregels voor de toekomst beschrijft.

Naast WKO zijn er ook nog andere systemen die gebruik maken van de ondergrond. Dit zijn MTO (middelhoge temperatuur opslag, tussen de 30°C – 60°C) en HTO (hoge temperatuur opslag, > 60 °C). Het belangrijkste voordeel ten opzichte van de WKO is dat de inzet van de warmtepomp kleiner is, of zelfs helemaal vermeden kan worden.

Bij HTO wordt overtollige warmte met een hoge temperatuur (60 tot 90 °C) tijdelijk opgeslagen in de ondergrond. De opgeslagen warmte wordt in een latere periode onttrokken en gebruikt voor lage temperatuur verwarming (50 °C) van bijvoorbeeld gebouwen en kassen. Bij deze temperaturen is het gebruik van een warmtepomp niet nodig. Dat maakt HTO energetisch erg gunstig. Vanwege de hoge opslagtemperaturen is chemische behandeling van het grondwater nodig om verstopping door neerslag van mineralen in het systeem (bronnen, warmtewisselaar en leidingen) te voorkomen.

Mogelijkheden voor HTO liggen bij het grootschalig opslaan van restwarmte van de industrie, afvalverbranding, energiecentrale of Warmte Kracht Koppelingen (WKK). Ook kan HTO toegepast worden in combinatie met stadswarmtenetten. Een vuistregel voor de vraagkant is een thermisch vermogen van minimaal 5 MW (5 hectare kassen).

Een voordeel van MTO ten opzichte van HTO is dat er, door de lagere opslagtemperaturen, veel minder thermische verliezen in de bodem zijn. Er hoeft vaak ook geen waterbehandeling plaats te vinden door de beperkte opslagtemperatuur.

Verder is het dichtheidsverschil tussen het opgeslagen warme water en het omringende (koudere) grondwater minder groot, waardoor de dichtheid gedreven grondwaterstroming minder sterk is. Hierdoor kan er gebruik gemaakt worden van watervoerende pakketten met een hogere doorlatendheid (hier is meer ervaring mee en het debiet dat gehaald kan worden per put is hoger).

Een ander voordeel ten opzichte van HTO is dat bij lagere temperaturen minder hoge eisen worden gesteld aan de toegepaste materialen (temperatuurbestendigheid).

Een nadeel van MTO ten opzichte van HTO is dat de teruggewonnen warmte een lagere temperatuur heeft en daardoor minder toepassingsmogelijkheden heeft. Verder moet bij MTO meer grondwater worden verpompt om aan dezelfde warmtevraag te kunnen voldoen dan bij HTO.

Uit figuur 2 p.12 blijkt dat het opslagrendement van HTO toeneemt bij:

- Een toename van het opgeslagen volume;
- Een afname van de doorlatendheid (vooral bij hoge opslag temperaturen);
- Een afname van de opslag temperatuur;
- Een afname van de filter lengte.

Zie artikel p. 13 & 14 voor kanttekeningen.

Hoofdstuk 3 bespreekt zeven gerealiseerd warmteopslagsystemen, waarvan drie MTO systemen in detail.

Hoofdstuk 4 beschrijft ontwerpregels voor de ondergrond. Zaken als waterkwaliteit, putontwerp en invloed op de omgeving zijn niet meegenomen. De belangrijkste regels zijn als volgt:

- Gebruik watervoerende pakketten met een doorlaatbaarheid van maximaal 10 m/d;
- Proefboring vrijwel altijd noodzakelijk;
- Gebruik 3-D modellering, met nauwkeurig bodem- en tijdschematisatie;
- Maak een gevoeligheidsanalyse voor het thermisch rendement;
- Analytisch rendementsbepaling alleen bruikbaar bij voorontwerp;
- Plaats de koude bron stroomafwaarts van de warme bron.

De belangrijkste regels voor systeemintegratie voor het verhogen van voornamelijk het thermisch rendement zijn als volgt:

- Zorg ervoor dat de bruikbare temperatuur zo laag mogelijk ligt;
- Maak systemen van voldoende omvang;
- Kies een zo laag mogelijke opslagtemperatuur binnen de grenzen van de businesscase;
- Zet warmteopslagsystemen in basislast.

Dit rapport verwijst naar verschillende onderzoeken uitgevoerd door de SKB. Deze studies waren gericht op zowel de ondergrond als de bovengrondse aansluiting:

- Meer met bodemenergie (2012)
- SKB-onderzoek HTO (2012) ([soilpedia.nl](http://soilpedia.nl)): Dit project is aanvullend uitgevoerd op "Meer met bodemenergie" door o.a. DLV glas & energie en IF Technology, met als nadruk het verkrijgen van inzicht in de effecten van hogere opslagtemperaturen op de energie efficiëntie van de gehele installatie, ook bovengronds.
- SKB-onderzoek ondiepe geothermie (2012): Dit project is aanvullend uitgevoerd op "Meer met bodemenergie" door o.a. DLV glas & energie en IF Technology waarbij de nadruk is gelegd op het toepassen van Lage Temperatuur Aardwarmte (LTA).



## Meer bodem energie: Hoge temperatuur opslag

Door IF, Deltares, WUR, Bioclear en duurzame ontwikkeling ondergrond.

Drijver, B. (2012). Meer bodem energie: hoge temperatuur opslag. Klik [hier](#) voor het rapport.

In dit rapport wordt zowel WKO als HTO besproken. Het doel van het rapport is om verduidelijking te geven in verschillende voordelen en belemmeringen van HTO te beschrijven. Dit wordt gedaan aan de hand van praktijkvoorbeelden uit binnen- en buitenland en de geschiktheid van de Nederlandse ondergrond te bespreken. Om vervolgens dieper in te gaan op de invloed van de grondwaterkwaliteit en zettingen door temperatuurveranderingen. Het laatste hoofdstuk gaat specifiek in op de modellering van de belangrijkste aspecten/effecten die specifiek zijn voor HTO.

De belangrijkste conclusies die in dit rapport naar voren kwamen waren als volgt:

Hoge temperatuur opslag heeft voordelen ten opzichte van lage temperatuur opslag. Door warmte met een hogere temperatuur op te slaan, worden de warmtepompen die veel elektriciteit gebruiken beperkt of overbodig. Naast het energetische voordeel, kan er uit hoge temperatuur opslag tijdens de warmteverplaatsing veel meer energie geleverd worden.

Echter zijn er in realiteit aanzienlijk minder HTO-installaties dan WKO-installaties, dit wordt verklaard door het feit dat de HTO technische gezien complexer is. Bij de pilotprojecten die in het verleden gedaan zijn, ontstonden er verschillende problemen. De drie voornaamste waren:

- Lage opslag- of gebruiksrendementen;
- Putverstopping door neerslag van carbonaten;
- Corrosie van toegepaste materialen.

Voor deze problemen zijn oplossingen gevonden, echter brengen deze hoge kosten met zich mee.

Op juridisch gebied is HTO ook nog niet vanzelfsprekend. Ten eerste is de infiltratietemperatuur hoger dan toegestaan. Ten tweede kan er niet voldaan worden aan de eis van de energiebalans. Ten derde zijn de waterkwaliteitseffecten relatief groot, door zowel grote temperatuurveranderingen als noodzakelijke waterbehandelingen.

Een belangrijk aspect dat een rol speelt in de praktijk is in hoeverre de temperatuurveranderingen ook in de bovenliggende watervoerende pakketten merkbaar zijn. Om deze reden moet er een scheidende lijn van minimaal 20 à 30 meter zijn tussen de watervoerende lagen.

Wat betreft de watervoerende pakketten is het van belang dat het een lage doorlatendheid. Echter heeft dit als nadeel dat de huidige ontwerpnormen lage debieten per bron aangeven en dit heeft een negatieve invloed op de economische haalbaarheid. Uit onderzoek van SKB is gebleken dat het Zand van Brussel en de Formaties van Breda, Oosterhout en Maassluis de meest interessante bodemlagen zijn.

De hoge temperaturen hebben ook invloed op de grondwaterkwaliteit. Door de hoge temperatuur wordt de oplosbaarheid van carbonaten verlaagd, om neerslag van de carbonaten in de putten te voorkomen zijn er in veel gevallen maatregelen nodig. Er kan dan waterbehandeling doormiddel van zoutzuurdosering of kationen-uitwisseling plaatsvinden.

Er mag verwacht worden dat door het verhogen van de stroomsnelheid van het grondwater en het mengen van grondwater van verschillende dieptes in het WKO-systeem tot een grotere homogenisatie van de grondwaterkwaliteit leidt, kan dit gevolgen hebben voor de heterogeniteit en diversiteit van de microbiologische populaties. Er blijkt geen relatie tussen het aantal micro-organismen en hogere temperatuur, dit wordt verklaard door de beperkte hoeveelheid koolstof.

De hoge temperaturen kunnen enerzijds leiden tot uitzetting van de opgewarmde bodemdeeltjes en anderzijds voor het versneld uitdrijven van poriewater uit slecht doorlatende lagen. Beide effecten treden tegelijkertijd op, en beide effecten heffen elkaar grotendeels op waardoor de netto invloed op het funderingsniveau relatief klein is.

In Zwammerdam is er gekozen voor een zoutzuur waterbehandeling. Er is een beperkte pH-daling door de ionen in het grondwater die een bufferende werking hebben. Deze ionen zullen vrijwel altijd in de vorm van carbonaat/bicarbonaat zijn. Desondanks kan de pH-daling gevolgen hebben voor de grondwaterkwaliteit door beïnvloeding van adsorptie/desorptie en het oplossen van mineralen die schadelijke sporen- elementen bevatten. Bij gebruik van zout grondwater (chloridegehalte hoger dan 1.000 mg/l) is de invloed klein: het zoute grondwater wordt slechts een fractie zouter. Voor zoet grondwater is onderzoek naar alternatieve waterbehandelingsmethoden daarom gewenst, waarbij het gebruik van inhibitoren het meest voor de hand ligt.

## Juridisch Kader Hoge Temperatuur Opslag

Door IF Technology

IF Technology. (2012). Klik [hier](#) voor het rapport.

In dit artikel worden de juridische kaders rondom HTO besproken. Er wordt een onderscheidt gemaakt tussen HTO tot 500 meter diepte en HTO vanaf 500 meter. Er geldt verschillende regelgeving op bepaalde dieptes.

### HTO tot 500 meter diepte

HTO valt onder de term bodemenergiesysteem en valt onder de waterwet. Het verkrijgen van een waterwetvergunning gebeurt door het doorlopen van de uniforme openbare voorbereidingsprocedure van afdeling 3.4 Awb. Open bodemenergiesystemen worden gereguleerd in de Waterwet, het Waterbesluit en de Waterregeling. Bij de vergunningaanvraag Waterwet moeten verschillende gegevens gemeld worden over doel, werking en het ontwerp van het systeem.

Het waterbesluit bevat instructieregels voor het bevoegd gezag. Het bevoegd gezag moet aan het installeren en in werking hebben van een open bodemenergiesysteem standaardvoorschriften stellen conform deze instructieregels.

Twee van de instructievoorschriften sluiten niet aan bij HTO: de maximale retourtemperatuur van 25 °C en eis van energiebalans. Bij HTO ligt de gewenste retourtemperatuur een stuk hoger dan 25 °C en zal geen energiebalans worden gerealiseerd omdat geen koude in de bodem wordt gebracht. Als aan deze instructievoorschriften wordt vastgehouden staat dat HTO in de weg. Maar van deze standaardvoorschriften kan, binnen de AMvB, onder omstandigheden worden afgeweken.

### HTO vanaf 500 meter diepte

HTO viel in 2012 voorlopig onder het opslag vergunning regime. Bij het opslagplan zal de aandacht ook uit moeten gaan naar de mogelijke effecten van de eerste onttrekking.

Het wettelijk kader geen beperkingen op ten aanzien van belangrijke kenmerken van HTO zoals de hoge retourtemperatuur en het niet ontstaan van energiebalans. Wel lijken de eisen scherper te zijn dan voor HTO nodig is. Dat deze eisen scherp zijn, is begrijpelijk omdat de algemene regels ontwikkeld zijn met het oog op andere technieken met mogelijke meer impact dan HTO. Dit kan echter wel drempels opwerpen voor de realisatie van HTO dieper dan 500 meter diepte.

### Boren

Op basis van de Wet bodembescherming en het Besluit bodemkwaliteit is erkenning nodig voor het boren tot en met 500 meter diepte. De erkenning moet worden aangevraagde bij Bodem+. Voor de erkenning is certificering nodig.

Voor boren vanaf 500 meter diepte worden regels gesteld in de Mijnbouwwet en het Mijnbouwbesluit. Op basis van het Besluit Algemene Regels Milieu Mijnbouw (BARMM) moet het boren gemeld worden waarbij aangetoond wordt dat aan bepaalde eisen wordt voldaan. De melding wordt beoordeeld door SodM.

### Stoffen toevoegen

Het meest praktisch is om het toevoegen van stoffen zoals zoutzuur voor een HTO tot en met 500 meter diepte mee te nemen in de Waterwetvergunning omdat het hier gaat om een onmisbaar onderdeel van het bodemenergiesysteem.

Warmte opslag wordt gezien als 'het opslaan van stoffen', daarom valt HTO vanaf 500 meter diepte onder de opslagvergunning van de Mijnbouwwet. Het HTO systeem vanaf 500 meter diepte heeft al een opslagvergunning nodig voor het onttrekken en inbrengen van het water.

## Aanvullende websites en links

<https://www.warmingup.info>

<https://www.warmingup.info/resultaten?Query=&Themalds=5&SoortPublicatieIds=1&SoortPublicatieIds=2&SoortPublicatieIds=3&DeelnemerId=0>

<https://www.heatstore.eu/index.html>

Presentatie van HEATSTORE: The ECW energy HT-ATES project in the Netherlands.

Hydro-geological & legal challenges with developing a full-scale HT-ATES system.

Door Peter Oerlemans

[https://www.heatstore.eu/documents/HEATSTORE\\_Webinar\\_5%20Oct%202021\\_HT-ATES%20in%20a%20greenhouse%20area%20in%20the%20Netherlands.%20Hydrogeological%20&%20legal%20challenges.pdf](https://www.heatstore.eu/documents/HEATSTORE_Webinar_5%20Oct%202021_HT-ATES%20in%20a%20greenhouse%20area%20in%20the%20Netherlands.%20Hydrogeological%20&%20legal%20challenges.pdf)

Presentatie van HEATSTORE: The ECW energy HT-ATES project in the Netherlands.

Mechanical design and commissioning challenges full-scale HT-ATES system.

Door Nico Franco Pinto

[https://www.heatstore.eu/documents/HEATSTORE\\_Webinar\\_5%20Oct%202021\\_HT-ATES%20in%20a%20greenhouse%20area%20in%20the%20Netherlands.%20Mechanical%20design%20challenges.pdf](https://www.heatstore.eu/documents/HEATSTORE_Webinar_5%20Oct%202021_HT-ATES%20in%20a%20greenhouse%20area%20in%20the%20Netherlands.%20Mechanical%20design%20challenges.pdf)

Overig gebruikte referenties

IF Technology & DWA. (2012). *Onderzoek criteria energiebalans*.

<https://www.bodemplus.nl/@129847/onderzoek-criteria-energiebalans/>