



# ***Internationale assessment warmteopslag onderzoek en ontwikkeling***

***Toepassing in de gebouwde omgeving***

RVO Opdracht nr. TSE6230007

Opdracht uitgevoerd door Renewable Heat B.V.

30 Juni 2024

Auteur: Wim van Helden

“Deze rapportage is opgesteld in opdracht van RVO voor de Topsector Energie op verzoek van TKI Urban Energy”.

## Lijst van afkortingen

ATES	Aquifer Thermal Energy Storage
BTES	Borehole Thermal Energy Storage
CSP	Concentrated Solar Power
CTES	Cavern Thermal Energy Storage
HT	Hoge Temperatuur
IEA	Internationaal Energie Agentschap
MT	Midden Temperatuur
MTES	Mine Thermal Energy Storage
PCM	Phase Change Material
PTES	Pit Thermal Energy Storage
R&D	Research and Development
RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
TES	Thermal Energy Storage
TCM	Thermochemical Materials
TCP	Technology Collaboration Programme
TKI	Topconsortia voor Kennis en Innovatie
TTES	Tank Thermal Energy Storage
WKO	Warmte-Koude Opslag

## Contents

Lijst van afkortingen.....	2
1. Samenvatting .....	3
2. Summary .....	4
3. Inleiding.....	5
4. Inventarisatie van warmteopslagtechnologieën.....	6
5. Overzicht van buitenlandse spelers .....	10
Denemarken: leerschool voor Pit Thermal Energy Storage .....	10
Duitsland: breed onderzoek, productontwikkeling met de industrie.....	11
Zwitserland: programmatische aanpak .....	12
Oostenrijk: R&D relatief sterk met vaste plaats in onderzoeksfinanciering.....	12
Spanje: sterk geworden door warmteopslag voor CSP.....	13
Andere landen.....	14
Kort overzicht van warmteopslag R&D activiteiten in het buitenland .....	15
6. Overzicht van toonaangevende (inter)nationale roadmaps en rapporten.....	16
7. Positie van Nederlandse R&D&I t.o.v. het buitenland.....	20
Toepassingsgebieden, samenwerking internationaal.....	23
8. Conclusies.....	23
Appendix 1: Lijst van buitenlandse warmteopslag R&D organisaties.....	26



## 1. Samenvatting

Nationaal en internationaal wordt de rol van warmteopslag in het toekomstige, duurzame energiesysteem als steeds belangrijker gezien. In Nederland zijn er veel partijen volop bezig met het ontwikkelen, demonstreren en implementeren van warmteopslag technologieën. Het is vaak onduidelijk wat precies de ontwikkelingsstatus van alle Nederlandse warmteopslagtechnologieën ten opzichte van die van andere landen is. Los van dat er een brede kennis van verschillende technologieën benodigd is, is het ook gewenst om inzicht te krijgen in wat we van andere landen kunnen leren, waar samenwerkingskansen liggen en welke programma's succesvol zijn.

Om dit inzicht te krijgen is deze studie uitgevoerd, met als doel de ontwikkelingsstatus van Nederlandse warmteopslagtechnologieën ten opzichte van die van andere landen vast te stellen. Eerst is een kort overzicht gemaakt van de verschillende warmteopslagtechnologieën, relevant voor de gebouwde omgeving, gevolgd door een beschrijving van de ontwikkelingsactiviteiten in de belangrijkste buitenlanden, voor een groot deel gebaseerd op de activiteiten in twee samenwerkingsverbanden van het Internationale Energie Agentschap IEA op de gebieden Compacte Warmteopslag en Grootschalige Warmteopslag, aangevuld met kennis van Nederlandse warmteopslag experts. Om een indruk te krijgen hoe de rol van warmteopslag internationaal wordt gezien, is een kort overzicht gemaakt van enkele noemenswaardige Nederlandse en buitenlandse verkenningen, roadmaps en studies die in het algemeen of in het bijzonder warmteopslag betreffen. Daarna volgt de internationale positionering van Nederlandse ontwikkelingen op warmteopslaggebied, aan de hand van een desktopstudie en van een korte enquête gehouden onder een grote groep internationale experts.

- De studie laat zien dat het aantal instituten, bedrijven en experts dat werkt aan warmteopslag nog beperkt is. Sommige landen springen eruit door een specialisatie op een bepaalde technologie. Zo is de PTES technologie zeer sterk ontwikkeld in Denemarken, heeft Zwitserland grote stappen gezet op PCM gebied en is er in Duitsland veel ervaring in decentrale voelbare opslag en in het ontwikkelen samen met de industrie. Veel in projecten opgebouwde kennis wordt niet behouden doordat budgetten sterk in tijd variëren en medewerkers naar andere werkgebieden gaan.
- De (inter)nationale roadmaps en rapporten over warmteopslag zijn over het algemeen kwalitatief en hebben betrekking op warmteopslag voor collectieve warmte, meestal warmtenetten. Zij beschrijven niet de stappen die nodig zijn om een impuls te geven aan de ontwikkeling van warmteopslag.
- Nederland speelt goed mee in de internationale onderzoek- en ontwikkelingsactiviteiten voor warmteopslagtechnologieën. Het heeft een voorloperrol in ATES en in IJzer-Redox technologie, en internationale experts beschouwen Nederland als koploper in TCM, thermochemische warmteopslag.
- De Nederlandse warmtetransitie heeft, naast aquifers en mijnwater, ook andere centrale warmteopslagtechnologieën, zoals PTES, warmtereservoirs, TTES, grote warmteopslagvaten, en hoge temperatuur voelbare warmte nodig. Om kennis van deze technologieën in huis te halen is samenwerking met buitenlandse partijen nodig.
- Naast internationale samenwerking kan versterking van het onderzoeks-, ontwikkelings- en demonstratieveld het best gebeuren door een langjarige, programmatische aanpak. Voorbeelden van deze aanpak zijn te vinden in Zwitserland en in Spanje, en deze kenmerkt zich

door een stevige beginfinanciering gecombineerd met een jaarlijkse ondersteuning gedurende een langere tijd, op basis van een langjarig R&D programma.

## **2. Summary**

Nationally and internationally, the role of thermal energy storage in the future, sustainable energy system is seen as increasingly important. In the Netherlands, many parties are busy developing, demonstrating and implementing thermal energy storage technologies. It is often unclear what exactly the development status of all Dutch thermal energy storage technologies is compared to those of other countries. Apart from the fact that broad knowledge of different technologies is required, it is also desirable to gain insight into what we can learn from other countries, where there are opportunities for collaboration and which programs are successful.

To gain this insight, this study was carried out, with the aim of determining the development status of Dutch thermal energy storage technologies compared to those of other countries. First, a brief overview is made of the various heat storage technologies relevant to the built environment, followed by a description of the development activities in the most important foreign countries, largely based on the activities in two partnerships of the International Energy Agency IEA in the areas of Compact Thermal Energy Storage and Large-Scale Thermal Energy Storage, supplemented with knowledge from Dutch thermal energy storage experts. To get an impression of how the role of thermal energy storage is viewed internationally, a brief overview has been made of some notable Dutch and foreign explorations, roadmaps and studies that concern thermal energy storage in general or in particular. This is followed by the international positioning of Dutch developments in the field of thermal energy storage, based on a desktop study and a short survey conducted among a large group of international experts.

- The study shows that the number of institutes, companies and experts working on thermal energy storage is still limited. Some countries stand out because of their specialization in a particular technology. For example, PTES technology has been very strongly developed in Denmark, Switzerland has taken major steps in the PCM field and Germany has a lot of experience in decentralized sensible storage and in developing solutions together with industry. A lot of knowledge built up in projects is not retained because budgets vary greatly over time and employees move to other work areas.
- The (inter)national roadmaps and reports on thermal energy storage are generally qualitative and relate to thermal energy storage for collective heat, usually district heating. They do not describe the steps needed to boost the development of thermal energy storage.
- The Netherlands plays a good role in international research and development activities for thermal energy storage technologies. It has a pioneering role in ATES and Iron-Redox technology, and international experts regard the Netherlands as a leader in TCM, thermochemical heat storage.
- In addition to aquifers and mine water, the Dutch heat transition also requires other central heat storage technologies, such as PTES, heat reservoirs, TTES, large heat storage tanks, and high-temperature sensible heat. Collaboration with foreign parties is necessary to acquire knowledge of these technologies.
- In addition to international cooperation, strengthening the research, development and demonstration field can best be achieved through a long-term, programmatic approach.



Examples of this approach can be found in Switzerland and Spain, and it is characterized by strong initial financing combined with annual support for a longer period, based on a long-term R&D program.

### **3. Inleiding**

#### ***Aanleiding***

Naarmate de energietransitie vordert, wordt het – wereldwijd – steeds duidelijker dat energieopslag cruciaal is voor het ontwerpen van een duurzaam energiesysteem. Steeds meer rapporten, zowel nationaal als internationaal, erkennen dat warmteopslag een grote bijdrage aan de energietransitie kan leveren. Door in tijden van overvloed energie in de vorm van warmte of elektriciteit op te slaan als warmte voor later gebruik, kunnen duurzame bronnen beter benut worden, kan congestie op het elektriciteitsnet voorkomen worden en kunnen extra (fossiele) centrales voor de piekvraag vermeden worden.

In Nederland zijn er veel partijen volop bezig met het door ontwikkelen, demonstreren en implementeren van warmteopslag technologieën. Zo is Nederland al decennialang koploper in de aanleg van aquifer warmteopslag (ATES). Van verschillende bedrijven en kennisinstellingen verneemt TKI Urban Energy dat Nederland ook wereldwijd in de kopgroep zit voor de ontwikkeling hoge temperatuur warmteopslag in de ondergrond (HT-ATES), thermochemische materialen (TCM) en faseovergangsmaterialen (Phase Change Materials, PCMs).

#### ***Probleemstelling***

Voor (potentiële) warmteopslag gebruikers, -ontwikkelaars, -integrators, (lokale) beleidsmakers, investeerders, subsidieverstrekkers en andere partijen waar TKI Urban Energy in contact mee is, is het vaak onduidelijk wat precies de ontwikkelingsstatus van alle Nederlandse warmteopslagtechnologieën ten opzichte van die van andere landen is. Los van dat er een brede kennis van verschillende technologieën benodigd is, is het ook gewenst om inzicht te krijgen in wat we van andere landen kunnen leren, waar samenwerkingskansen liggen en welke programma's succesvol zijn.

#### ***Doel***

Het doel van dit werk is om de ontwikkelingsstatus van Nederlandse warmteopslagtechnologieën ten opzichte van die van andere landen vast te stellen. Het totaaloverzicht moet inzicht geven in aspecten zoals de warmteopslagtechnologieën waarmee Nederland vooroploopt, de toepassingsgebieden/use cases, de kansen voor buitenlandse samenwerking en (beleids)adviezen die nodig zijn om ontwikkelingen te versnellen en voorop te blijven.

#### ***Aanpak***

Om het doel te bereiken, is de volgende aanpak gevolgd. In Hoofdstuk 2 wordt een korte beschrijving gegeven van de warmteopslagtechnologieën die in Nederland worden ontwikkeld. Hoofdstuk 3 beschrijft de ontwikkelingen in de meest belangrijke landen, voor wat betreft de onderzoeks- en ontwikkelingsactiviteiten op het gebied van warmteopslagtechnologieën, plus enkele opvallende ontwikkelingen op het gebied van R&D programmering of marktondersteuning. In



hoofdstuk 4 volgt een overzicht van de belangrijkste Nederlandse en buitenlandse Roadmaps die betrekking hebben op warmteopslag. In hoofdstuk 5 worden de Nederlandse onderzoek-, ontwikkelings- en innovatieactiviteiten vergeleken met wat er in het buitenland gebeurt, en geïdentificeerd waarin wij koploper zijn en welke gebieden versterkt kunnen worden. Het laatste hoofdstuk bevat de conclusies van deze studie. Het appendix bevat een opsomming gegeven van de belangrijkste buitenlandse R&D instellingen op het gebied van warmteopslag, met hun belangrijkste kenmerken.

#### **4. Inventarisatie van warmteopslagtechnologieën**

In dit eerste deel wordt een korte beschrijving gegeven van de warmteopslagtechnologieën die in Nederland worden ontwikkeld en/of op de markt gebracht, om een basis te hebben voor een vergelijking met ontwikkelingen in het buitenland. De beschrijving is tot stand gekomen in samenwerking met TNO, dat parallel met dit werk een studie uitgevoerd heeft voor een update van de Innovatie Roadmap Warmteopslag.<sup>1</sup>

Er is een groot scala aan warmteopslagtechnologieën, en een goede manier om een systematisch indeling te maken is langs de twee assen: principe van warmteopslag en toepassingsgebied. De focus van deze assessment is toepassing van warmteopslag in de gebouwde omgeving; industrietoepassingen worden dus buiten beschouwing gelaten. Anderzijds worden er ook warmteopslagtechnologieën ontwikkeld voor de gebouwde omgeving die toegepast kunnen worden in de industrie of voor elektriciteitsopwekking.

De indeling langs de as opslagprincipe is voelbaar – latent (PCM, phase change material) – thermochemisch (TCM) – Redox (reductie-oxidatie, chemische reactie). De toepassingsgebieden zijn decentrale warmteopslag (individuele woning en gestapelde woningen) en centrale warmteopslag (warmtenetten). Het overzicht is tot stand gekomen met een desk studie, met een vragenlijst gestuurd naar Nederlandse experts op het gebied van warmteopslag en met een bespreking met een klankbordgroep, bestaande uit 20 vertegenwoordigers uit onderzoeksinstituten en bedrijven werkzaam in het gebied. De klankbordgroep was een goede afspiegeling van de verschillende warmteopslagtechnologieën. De warmteopslagtechnologieën die geïdentificeerd werden zijn:

<b>A. Voelbaar decentraal in water</b> , boilers met kleinere volumes
<b>B. Voelbaar centraal: PTES</b> (Pit Thermal Energy Storage), <b>TTES</b> (Tank TES); <b>BTES</b> (Borehole TES); <b>MTES</b> (Mine TES)
<b>C. ATES</b> , aquifer thermal energy storage
<b>D. HT voelbaar</b> , voelbare opslag in vaste stoffen of vloeistoffen, voor hoge temperaturen
<b>E. PCM</b> , faseovergangsmaterialen
<b>F. TCM</b> , thermochemische warmteopslag
<b>G. IJzer redox</b> , of iron fuel

Onderstaande paragrafen geven een korte omschrijving van de technologieën.

<sup>1</sup> <https://topsectorenergie.nl/nl/kennisbank/innovatieroadmap-warmteopslag-en-internationale-stand-van-zaken/>



## A. Voelbaar decentraal in water

In deze systemen wordt warmte opgeslagen in water, in kleinere volumes van honderd tot enkele duizenden liters. Ze staan beter bekend als boilers, opgewarmd direct met elektriciteit, met een cv-ketel of een zonnecollector. Het is een al lang toegepaste technologie, voor woningen, gestapelde bouw en ook in de industrie. Nieuwe ontwikkelingen op dit gebied zijn het toepassen van vacuümisolatie waardoor de verliezen sterk verminderd worden of het verhogen van de opslagtemperatuur tot iets hoger dan 100 °C. Newton Energy Solutions is een Nederlands bedrijf dat de markt betreedt met deze nieuwe ontwikkelingen. Verder is in Nederland BORG actief met deze technologie.

## B. Voelbaar Centraal

PTES pit thermal energy storage, TTES Tank TES; BTES Borehole TES; Mijwater TES, MTES

Een technologie die in Nederland nog niet vaak is toegepast maar wel een groot toepassingsgebied heeft is opslag van warmte in ondergrondse waterreservoirs, pit thermal energy storages, PTES, of warmereservoirs<sup>2</sup>, zoals het systeem van HoCoSto<sup>3</sup>. Wat betreft uitdagingen en potentieel komt deze sterk overeen met de in Denemarken populaire technologie van PTES, pit thermal energy storage of warmereservoir. Warmte wordt opgeslagen in een gegraven kuil, die met een kunststoffolie waterdicht gemaakt is. Het deksel is isolerend, drijft en is beloopbaar, en in het geval van Hocosto ook met zwaardere toepassingen te belasten. De maximale temperatuur waarop de warmte kan worden opgeslagen wordt bepaald door de kunststoffolie, en is voor de nieuwste folies (polypropyleen) 95 °C. De mogelijkheid om PTES te bouwen wordt sterk bepaald door de samenstelling van de ondergrond, met name door de stand van het grondwater. Deense systemen zijn makkelijk uit te voeren en daardoor relatief goedkoop omdat het grondwater diep staat. Bij ondiepe grondwaterstanden moet de bouwplaats droog worden gehouden. Als er daarnaast grondwaterstroming is zal de PTES moeten worden afgeschermd van het grondwater door middel van een permanente damwand. Deze maatregelen werken prijsverhogend en maken de uitrol van PTES uitdagender. In internationaal verband wordt gewerkt aan nieuwe concepten om deze uitrol beter mogelijk te maken.

Tank TES (TTES) zijn stalen of betonnen vaten met water als opslagmedium. Ze kunnen uitgevoerd worden met een lichte overdruk, waardoor de opslagtemperatuur in water maximaal ongeveer 130 °C kan zijn. Tot een volume van 100 m<sup>3</sup> zijn de vaten geprefabriceerd, grotere vaten worden ter plekke gebouwd. Warmteopslagvaten tot 50.000 m<sup>3</sup> zijn al gebouwd en toegepast als warmtebuffer in warmtenetten. Dit is ongeveer ook de maximaal haalbare praktische/economische grootte. In Nederland werkt G2Energy met grote bovengrondse, en Groene Warmte met ondergrondse warmteopslagvaten.

Borehole TES is de opslag van warmte in de ondiepe ondergrond door middel van verticale bodemwarmtewisselaars. Deze zijn in Nederland vooral toegepast als bron voor water/water warmtepompen. Geschakelde groepen van verticale bodemwarmtewisselaars worden gebruikt als collectieve bron en als warmteopslagsysteem voor grotere warmtepompsystemen, soms in combinatie met andere warmteopslagtechnologieën.

---

<sup>2</sup> De PTES-technologie is in Nederland nauwelijks toegepast, waardoor er nog geen mooie, eenduidige naam voor is. Enkele voorstellen: warmereservoir, warmtevijver, ondergrondse warmtebuffer.

<sup>3</sup> <https://www.hocosto.com/>

Het Mijwater project in Heerlen en Kerkrade is ook een belangrijke technologie om collectief warmte op te slaan, namelijk in verlaten mijnschachten. Internationaal vindt deze aanpak ook navolging in Bochum, Duitsland en in Strathclyde, Verenigd Koninkrijk. Het is een zeer specifieke technologie, waarvoor in Nederland maar weinig uitbreidingsmogelijkheden zijn. Daarom is deze technologie niet verder in de internationale vergelijking meegenomen. Een vergelijkbare technologie is cavern thermal energy storage, waarin natuurlijke of aangelegde holtes (cavernes) in gesteente als warmteopslag wordt gebruikt. Toepassing van deze technologie in Nederland is nog niet onderzocht en daarom is CTES niet meegenomen in de internationale vergelijking.

### **C. ATES**

ATES staat voor Aquifer Thermal Energy Storage, oftewel warmteopslag<sup>4</sup> in aquifers, watervoerende ondergrondse bodemlagen. Deze lagen zijn aan de bovenkant en onderkant begrensd door niet-waterdoorlatende lagen, waardoor een min of meer gesloten systeem ontstaat. Door twee of meer geboorde pijpen/bronnen wordt water aan de ene kant grondwater onttrokken en gebruikt voor warmte of koude, en vervolgens geïnfiltreerd in de andere bron. Nederland heeft een zeer geschikte geologie voor ATES en loopt hierdoor wereldwijd voorop in het toepassen en verder ontwikkelen van deze technologie. De meest toegepaste systemen zijn de WKO (warmte-koude opslag) systemen, die grootschalig warmte op lage temperatuur (tussen ongeveer 5 en 30 graden Celsius) opslaan. Nieuwe ontwikkelingen zijn midden temperatuur ATES (MT-ATES) met temperaturen tot ongeveer 60 graden. Deze worden al toegepast in de markt. Ook HT-ATES systemen met hogere opslagtemperaturen, tot 90 graden Celsius, worden sinds enkele jaren op volle schaalgrootte gedemonstreerd. In het algemeen geldt: hoe hoger de opslagtemperatuur, hoe dieper de geschikte aquifers liggen. Voor HT-ATES is dat driehonderd meter of dieper. Nederlandse partijen actief op ATES gebied zijn ECW Energy, IF Technology, KWR en TNO.

### **D. HT voelbaar**

Water is het meest geschikte medium voor warmteopslag tot temperaturen van 100 °C. Boven deze temperatuur wordt dit duur vanwege de oplopende druk en de hieraan gekoppelde strenge eisen voor stoomketels. Dan zijn andere vloeistoffen of vaste stoffen geschikter om warmte op te slaan. Veel toegepast worden steen, beton, andere keramische materialen of gesmolten zouten. In combinatie met elektrische verwarming is hun toepassing zeer geschikt voor opslag van overtollige elektriciteit, veelal van duurzame bronnen. Hoewel de primaire toepassing van HT voelbare warmteopslag voor industrie en kracht-warmte-kracht koppeling is, zijn er ook systemen voor het leveren van warmte aan woonwijken. Een voorbeeld hiervan is de CESAR warmte-accu. Andere ontwikkelaars en toepassers zijn EnergyNest, Brabetech en TNO.

### **E. PCM**

Warmteopslag in PCM heeft het kenmerk dat de opslagdichtheid relatief groot is, vooral voor processen die maar een klein temperatuurverschil hebben. Door de grote warmteopname bij de faseovergangstemperatuur zijn deze materialen zeer geschikt in toepassingen waar temperaturen constant gehouden moeten worden. Er zijn al diverse producten op de markt, voor het regelen van

---

<sup>4</sup> Omdat ATES werkt met een koude en een warme put, is deze technologie bij uitstek geschikt voor de opslag van warmte en koude en ideaal voor gebouwen die zowel een warmte- als een koudevraag hebben. Vandaar de Nederlandse benaming WKO, warmte en koude opslag.





de (comfort)temperatuur in woningen of in industriële processen, en voor warmwater opslag. Het laatste is vooral effectief in combinatie met warmtepompen, omdat deze het beste functioneren binnen vaste temperatuurniveaus. Ook worden PCM's, zoals bijvoorbeeld ijs, gebruikt voor de opslag van koude, vaak aan de bronkant van een warmtepomp. Partijen in Nederland die met PCM werken zijn SolarEis, Orange Climate, Triple Solar, Duraflow, Pluss Advanced Technologies, PCM Technologies en TNO

## **F. TCM**

Thermochemische warmteopslag heeft de voordelen van een grote warmteopslagdichtheid en van nul warmteverlies bij het opslaan van het TCM, de periode tussen laden en ontladen. Deze maakt de technologie zeer geschikt voor seizoensopslag, bijvoorbeeld van zonthermische energie of van overschot duurzame elektriciteit in de zomer. Het verst in ontwikkeling zijn sorptiematerialen en zouthydraten. Beiden slaan warmte op doordat waterdamp uit het materiaal wordt gedreven door toevoer van warmte. Bij sorptiematerialen wordt de warmte bij het laden gebruikt om watermoleculen los te maken van het inwendige oppervlak van de zeer poreuze sorptiematerialen en wordt de warmte opgeslagen in de vorm van bindingsenergie. Bij zouthydraten zorgt het verdrijven van watermoleculen uit de kristalstructuur van het zout voor een verandering van deze structuur en wordt de warmte opgeslagen als kristal oriëntatie energie. Bij het ontladen wordt waterdamp toegevoegd aan het droge materiaal, waardoor de opgeslagen energie weer vrijkomt als warmte. Zoals gezegd komt bij het laden van TCM waterdamp vrij, meestal met een temperatuur die iets lager is dan de laadtemperatuur. Wanneer de warmte van deze waterdamp niet gebruikt wordt, bijvoorbeeld om warm tapwater te maken met een condensor, dan moet deze warmte als verloren worden beschouwd en is het rendement bij laden relatief laag (typisch minder dan 60%). Bij het ontladen van het TCM is ook waterdamp nodig. Deze moet gemaakt worden door water te verdampen, liefst bij een zo laag mogelijke temperatuur. Daarom zijn de meeste TCM-systemen op heel lage druk en afgesloten van de omgeving. Zodoende kan lage temperatuur warmte worden gebruikt in een inwendige verdamper om waterdamp te produceren op lage druk; immers, het kookpunt van water daalt bij afnemende druk. Als deze warmte 'gratis' verkregen wordt, bijvoorbeeld uit de buitenlucht of als afvalwarmte, draagt deze bij aan een verhoging van het rendement tijdens het ontladen, tot zelfs hoger dan 100%, analoog aan een warmtepomp. De technologie is nog in ontwikkeling; er zijn enkele startups die de eerste prototypes demonstreren. In Nederland zijn TNO, TU Twente, TU Eindhoven, Cellcius en ARES BV. Actief op TCM gebied.

## **G. IJzer Redox**

Een opslagtechnologie die op dit moment nog losstaat van toepassingen in de gebouwde omgeving, maar daar wel een grote rol in kan gaan spelen, is ijzer redox energieopslag. Hier is fijnverdeeld ijzerpoeder de drager van de energie. Voor het laden wordt ijzeroxidepoeder (roest) met behulp van duurzaam geproduceerde waterstof omgezet in ijzerpoeder. Dit kan verliesvrij bewaard en getransporteerd worden naar een plaats waar hoge temperatuur warmte nodig is. Het ijzerpoeder wordt hier gecontroleerd verbrand met vlamtemperaturen tot wel 2000 °C, waarbij warmte met temperaturen tot wel 1000 °C vrijkomt. De eerste toepassingen zijn industriële processen, de productie van elektriciteit en leveren van piekbelasting voor warmtenetten. Nederlandse partijen actief in de IJzer redox zijn TU Eindhoven, Metalot, RIFT, IronPlus en TNO.

## 5. Overzicht van buitenlandse spelers

In het vorige hoofdstuk zijn de warmteopslagtechnologieën behandeld die in Nederland toegepast worden of gaan worden voor de gebouwde omgeving. Er zijn enkele verschillen met wat er internationaal gebeurt. Door het grote aantal mogelijke materialen voor PCM- en TCM-technologieën zijn er wat nuanceringen in de aandachtsgebieden internationaal, maar dit is begrijpelijk gezien het kleine aantal instituten en experts dat op het gebied van warmteopslag werkzaam is. Ook de grootste instituten op dit gebied zijn te klein om alle technologieën en materialen te omvatten. En op het gebied van grote warmteopslagtechnologieën is de in Denemarken gangbare PTES-technologie in Nederland nauwelijks toegepast en is andersom de in Nederland zeer goed ontwikkelde ATES technologie in het buitenland in sterk mindere mate toegepast.

De basis voor een overzicht van de buitenlandse organisaties die een rol spelen in onderzoek en innovatie van warmteopslagtechnologieën voor de gebouwde omgeving is de internationale gemeenschap van experts, actief in zogenaamde Tasks van het Energy Storage programma (ES TCP) van het International Energy Agency (IEA): Task39 (nu Task45) op het gebied van grote warmteopslagsystemen voor stadsverwarming en Task40 op het gebied van compacte warmteopslag materialen, componenten en systemen. Deze geven een redelijk goede weerspiegeling van de organisaties die actief zijn. De verzameling is verder aangevuld met bijdragen van de leden van de klankbordgroep Warmteopslag, van TNO, TKI en van RVO. Appendix 1 bevat de tabel met per land de organisaties die warmteopslagtechnologieën onderzoeken en ontwikkelen.

De volgende paragrafen geven een overzicht van onderzoek en ontwikkeling in warmteopslag in de belangrijkste landen. Het overzicht geeft onder andere de volgende punten: welke technologieën staan in het middelpunt, wat zijn opvallende kenmerken in programmering en samenwerking, en zijn er succesfactoren aan te wijzen.

Bij de meeste landen is er sprake van sterk variërende budgetten voor onderzoek en ontwikkeling. Hierdoor is de vaste basis van kennisinfrastructuur voor warmteopslagtechnologieën op een laag niveau. Veel in projecten opgebouwde kennis wordt niet behouden doordat medewerkers naar andere werkgebieden gaan.

### Denemarken: leerschool voor Pit Thermal Energy Storage

Denemarken heeft een globale leiderspositie in PTES, oftewel warmtereservoir. De technologie is in beginsel eenvoudig. In de bodem wordt een kuil gegraven, en de uitgegraven aarde wordt gebruikt voor een omringende dam, waardoor de kuil effectief dieper wordt. Een kunststoffolie op de bodem en wanden maakt de opslag waterdicht. Na aanbrengen van twee of meerdere in- en uitlaten en vullen met water wordt een isolerende, drijvende afdekking gelegd. Sinds de jaren 80 werden in Denemarken steeds grotere PTES gebouwd en aangesloten op stadsverwarming, tot voor kort uitsluitend als seizoensopslag van zonnewarmte. De jongste PTES in Høje Taastrup wordt echter vooral gebruikt voor midden termijn opslag (enkele dagen tot een week), als bufferelement in de verschillende, gekoppelde stadsverwarmingsnetwerken van Kopenhagen. De eerste PTES hadden een volume van enkele tienduizenden kubieke meters. De grootste tot nu toe is in Dronninglund, met iets meer dan 200.000 m<sup>3</sup>.

Twee factoren hebben sterk bijgedragen aan de krachtige ontwikkeling van de PTES-technologie in Denemarken. Enerzijds heeft de overheid de technologie gestimuleerd door het sterker belasten van aardgas, waardoor investeringen in zonthermie relatief goedkoper waren. Anderzijds zijn de meeste stadsverwarmingssystemen in handen van een coöperatie. Deze hebben geen winst oogmerk waardoor investeringen in duurdere, schone technologieën eerder gemaakt worden. Daarnaast is opgedane kennis en ervaring openbaar, waardoor er een veel steilere, collectieve leercurve is. Fouten in ontwerp of uitvoering worden gedeeld, leidend tot snellere en bredere opname van verbeteringen. Sinds enkele jaren wordt de PTES-technologie door Deense kennisdragers ook actief geëxporteerd, naar China, Polen, Duitsland en andere delen van Europa. De grondwaterstand bepaalt sterk de toepasbaarheid/betaalbaarheid van PTES. Een lage grondwaterstand maakt het bouwen goedkoper, en veroorzaakt minder warmteverliezen dan een hoge grondwaterstand. Bij de laatste moeten er speciale bouwkundige maatregelen worden genomen en leidt de aanwezigheid van grondwater tot warmteverlies en tot ongewenste of verboden opwarming van het grondwater. De belangrijkste Deense kennisdragers van warmtereservoirs zijn Planenergi, DTU, Aalborg CSP, Bobsol en Ramboll.

### Duitsland: breed onderzoek, productontwikkeling met de industrie.

Onderzoek en ontwikkeling van warmteopslagtechnologieën in Duitsland wordt door een aantal grote instituten en een groot aantal universiteiten gedaan. Alle technologieën worden ontwikkeld, met zwaartepunten op TCM, PCM en hoge temperatuur voelbaar. Duitsland kende over de afgelopen 20 jaar perioden met een brede programmatische R&D aanpak, en tussenliggende perioden van relatieve rust. Kenmerkend is de goede samenwerking tussen bedrijven en universiteiten/onderzoeksinstituten. Dit heeft geleid tot meerdere productinnovaties, waarvan enkele zeer succesvol. Tot deze laatste behoren de zeoliet vaatwasser<sup>5</sup> van Bosch/Siemens, ontwikkeld met ZAE Bayern, de ontwikkeling van een RAL standaard voor het meten van de kwaliteit en duurzaamheid van PCM, door onder andere Fraunhofer ISE en de ontwikkeling van adsorptiekoelmachines door spin-off ondernemingen van ISE, Fahrenheit, en later Sorption Technologies. Ook voor deze ontwikkelingen geldt dat het tien tot vijftien jaar duurt van eerste concepten tot een marktrijp product.

Al sinds het begin van deze eeuw was er in Duitsland aandacht voor grote zonthermische systemen, gekoppeld aan een grote warmteopslag. Er was een serie van opeenvolgende, kleine demonstratieprojecten, en de ontwikkeling kwam zo'n tien jaar geleden tot een stil einde. De gascrisis heeft gezorgd voor een nieuwe, sterke opleving van de aandacht voor grote warmteopslagtechnologieën, en er is ook een specifiek subsidieprogramma voor haalbaarheid- en demonstratieprojecten voor opslagsystemen gekoppeld aan stadsverwarming. Een groot aantal steden heeft plannen voor PTES systemen, en twee zijn op dit moment in aanbouw.

Twee Nederlands ontwikkelingen zijn in de recente jaren ook in Duitsland opgepakt: ATES/HT-ATES technologie krijgt nu aandacht in een breed onderzoeksprogramma "Possibilities and limitations of thermal energy storage in aquifers" met 9 projecten onder leiding van de Universiteit van Kiel. Los van Nederlandse partijen worden de ATES technologieën hier ontwikkeld. De tweede ontwikkeling is in het programma "Clean Circles" waarin gewerkt wordt aan IJzer Redox, in reactie op het TU/e

---

<sup>5</sup> De vaatwasser gebruikt enkele kilo's zeoliet, een TCM die warmte afgeeft als er waterdamp aan toegevoegd wordt. Door een slimme integratie van deze zeoliet warmteopslag heeft de vaatwasser ongeveer 25% minder energieverbruik.

werk. Ook in dit project volgt men de Nederlandse ontwikkelingen. Ten slotte moet het werk van DLR genoemd worden, gericht op hoge temperatuur opslag in vloeistoffen, in vaste stoffen en met TCM. Enkele toepassingen zijn gericht op warmteopslag voor stadsverwarming maar het grootste deel is gericht op opslag voor concentrated solar power en voor power-to-heat-to-power (Carnot Battery) en vallen buiten de scope van deze assessment.

Onderzoek en ontwikkeling van warmteopslag in Duitsland wordt door een groot aantal universiteiten, hogescholen en instituten uitgevoerd, over een breed front. Warmteopslag heeft een plaats in de nationale subsidie maar kent een sterke variatie van jaar op jaar. De rapportage van de Duitse federale overheid van de R&D uitgaven aan energie<sup>6</sup> laat een variatie zien tussen 4,15 M€ en 7,33 M€ subsidie voor warmteopslag voor de consumptiesector<sup>7</sup> in de periode 2013 tot 2022 (Tabel 3, pagina 102); daarnaast wordt een variatie tussen 0,88 M€ en 19,37 M€ getoond voor basisonderzoek naar energieopslag (dus niet alleen warmteopslag) voor dezelfde periode (Tabel 5, pagina 104).

### Zwitserland: programmatische aanpak

Ongeveer tien jaar geleden is het Swiss Competence Center for Thermal Energy Storage<sup>8</sup> opgericht, een door de overheid gefinancierd programma voor onderzoek en ontwikkeling van warmteopslagtechnologieën, uitgevoerd door 9 Zwitserse kennisinstituten. Aanleiding was een initiatief van de Hogeschool Luzern, HSLU, voor het creëren van een vaste hoogleraar positie op het vakgebied warmteopslag. Het zwaartepunt ligt ook bij de HSLU, waar ongeveer 50 mensen aan dit onderwerp werken. Alle warmteopslagtechnologieën worden meegenomen, maar het zwaartepunt ligt op PCM. De langjarige, programmatische aanpak leidde tot een goede infrastructuur van zowel apparatuur als kennisdragers. Uit het werk zijn inmiddels 3 startups ontstaan, allen met PCM als warmteopslagtechnologie. De Zwitserse aanpak van langjarige programmering met opbouw van infrastructuur en kennisnetwerk lijkt succesvol. Recentelijk is ook een zogenaamd Flagship Project, SwissSTES, gestart waarin onderzoek naar een groot aantal warmteopslagtechnologieën voor seizoensopslag wordt uitgevoerd.

### Oostenrijk: R&D relatief sterk met vaste plaats in onderzoeksfinanciering

Er is een relatief sterke infrastructuur voor warmteopslag onderzoek en ontwikkeling in Oostenrijk, opgebouwd in de periode 2010-2020. De kerngebieden zijn sorptietechnologie (AEE INTEC, FHOÖ), thermochemische materialen en componenten (TU Wien, AIT, AEE INTEC), en in mindere mate PCM en hogetemperatuuropslag (AIT, TU Wien). De algehele financiering voor energieonderzoek nam sinds 2015 af en wordt pas de laatste jaren weer versterkt. Wel heeft onderzoek voor warmteopslag een vaste plaats in het financieringsprogramma voor energieonderzoek en ontwikkeling. Vanaf ongeveer 2020 is er ook aandacht voor grote warmteopslagen, eerst alleen PTES maar later ook ATES en zogenaamde cavern thermal energy storage, CTES. Bij de laatste wordt, net als in Zwitserland, gekeken naar de mogelijkheid om ruimten in gesteente te gebruiken als groot

---

<sup>6</sup> [https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Downloads/F/federal-government-report-on-energy-research-2023.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Downloads/F/federal-government-report-on-energy-research-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

<sup>7</sup> 'project funding in the area of "energy transition in the consumption sector"'

<sup>8</sup> <https://www.hslu.ch/en/lucerne-school-of-engineering-architecture/about-us/organization/competence-centres-and-research-groups/engineering-and-technology/thermal-energy-storage/>

warmtereservoir. Deze ruimten kunnen al bestaande, oude infrastructuur zijn, bijvoorbeeld oude spoorwegtunnels, of nieuw aan te leggen ruimten.

De warmtevoorziening in Oostenrijk wordt voor het grootste deel verzorgd door warmtenetten. Alle grote steden hebben een warmtenet, en er zijn meer dan duizend kleinere warmtenetten, met als kleinste schaal kleine gemeenschappen van enkele tientallen woningen. De meeste warmtenetten zijn in collectieve of openbare handen, waardoor er een sterke kennis- en ervaringsuitwisseling is. De bewustwording van de noodzaak voor warmteopslag in warmtenetten is de laatste jaren sterk gegroeid, en in het kader hiervan wordt nu jaarlijks een inventarisatie gemaakt van het aantal en de aard van grote warmteopslagsystemen in warmtenetten<sup>9</sup>, als onderdeel van een brede jaarlijkse inventarisatie van duurzame technologieën. De studies zijn in het Duits, met een samenvatting en conclusies ook in het Engels.

Zoals in een aantal andere landen, kent Oostenrijk ook een investeringssubsidie voor energieopslagsystemen, waaronder ook warmteopslagsystemen<sup>10</sup>. Voorwaarde van de subsidie is, dat de warmteopslag een koppeling heeft met een (mini)warmtenet. Planning en realisatie van de warmteopslag wordt hiermee met 30% subsidie ondersteund. Een van de meerwaarden van deze subsidiëring is, dat ondersteunde projecten verplicht zijn om de installatie te monitoren. Deze monitoring leidt tot beter inzicht in de daadwerkelijke prestatie van de systemen, en daarmee tot een versnelde verbetering van de kwaliteit van nieuwe systemen.

### Spanje: sterk geworden door warmteopslag voor CSP

Een groot aantal universiteiten en enkele onderzoeksinstituten werken aan onderzoek en ontwikkeling van warmteopslagtechnologieën. Sinds de jaren 90 is er veel aandacht voor warmteopslag op hoge temperaturen, voor koppeling met CSP, Concentrated Solar Power, een technologie die destijds sterk in opkomst was. In de loop van de jaren is het zwaartepunt verschoven naar eerst PCM, en later TCM en hoge temperatuur voelbaar. Er wordt zowel materiaalonderzoek gedaan alsook componentontwikkeling en systeemintegratie. Bij de universiteiten springt de Universiteit van Lleida eruit als een zwaartepunt van onderzoek en ontwikkeling. Een interessante ontwikkeling en ook een goed voorbeeld van een effectieve, langjarige ondersteuning van het gebied is het oprichten en verdere groei en ontwikkeling van het instituut CIC EnergiGUNE in Vitoria Gasteiz, in Baskenland<sup>11</sup>. Rond 2011 besloot de Baskische regering om een grote impuls te geven aan R&D voor elektriciteitsopslag én warmteopslag, en werd het instituut opgericht. De grootte van de investering, tot nu toe cumulatief 50 M€ van de Baskische overheid en 58 M€ van andere publieke en private bronnen, en de langjarige programmatische aanpak gecombineerd met langjarige financiering door de overheid, gaf een goede basis voor de huidige sterke onderzoek infrastructuur en de sterke kennispositie van het instituut. De schaalgrootte maakt het mogelijk om zowel fundamenteel materiaalonderzoek alsook meer toegepaste ontwikkeling samen met de industrie te doen. Tegenwoordig werken er ongeveer 30 onderzoekers bij de afdeling warmteopslag.

In 2021 is een nieuw onderzoeksinstituut voor energieopslag met ondersteuning van 75 M€ uit

---

<sup>9</sup> <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/publikationen/schriftenreihe-2023-36-marktentwicklung-energietechnologien.php#schl6>

<sup>10</sup> <https://www.umweltfoerderung.at/betriebe/grossspeicher>

<sup>11</sup> <https://cicenergigune.com/en>

Portugal, Spanje, de provincie Extremadura en de Europese Unie opgericht. De initiële activiteiten waren gericht op elektriciteitsopslag, en de warmteopslag activiteiten zijn in 2023 gestart.

## Andere landen

Onderzoek en ontwikkeling van warmteopslagtechnologieën in **Italië** kenmerkt zich door veel kleinschalige activiteiten aan universiteiten, met een zwaartepunt in Messina, aan zowel de universiteit als bij het instituut CNR-ITAE. Zwaartepunten liggen bij PCM en TCM.

Het beeld in **Frankrijk** kenmerkt zich door een groot aantal organisaties waar er kleinschalige activiteiten zijn: INSA Lyon, CEA Grenoble, Universiteiten van Nantes, Savoie Mont Blanc, Pau, Perpignan en Artois. Het werk concentreert zich op zowel PCM als TCM gebied.

Het National Institute of Chemistry, NIC, in **Slovenië** is een voorloper in het onderzoeken en ontwikkelen van nieuwe poreuze materialen voor adsorptie. Er wordt gewerkt aan zeolieten, aluminaten en aan hybride materialen, dit zijn combinaties van deze nanoporeuze materialen met zouthydraten. Doel is om materialen te krijgen die een hoge opslagdichtheid combineren met werkingstemperaturen die zijn afgestemd op de toepassing.

In **België** werkt onderzoeksinstituut VITO met name aan BTES en ATES en zijn de firma Be-Sol en de universiteiten van Mons en van Luik actief op TCM gebied.

In **Canada** wordt door diverse organisaties gewerkt aan warmteopslagtechnologieën. Aan de universiteiten van Ottawa, Halifax en Vancouver en aan het CanMetEnergy instituut worden voelbaar, PCM en TCM technologieën onderzocht en ontwikkeld. Tevens zijn er enkele organisaties actief op het gebied van IJzer Redox technologie (o.a. de startup Altiro Energy en de McGill Universiteit), enkele in samenwerking met Nederland.

**Finland** heeft een heel grote dekkingsgraad voor warmtenetten. Het nationale onderzoeksinstituut VTT doet onder andere onderzoek naar cavern thermal energy storage CTES, de firma Heliostorage maakt BTES systemen en de start-up Polar Night Energy ontwikkelt een HT voelbare opslag op basis van zand.

In **Noorwegen** werkt onderzoeksinstituut SINTEF onder andere aan PCM en TCM voor centrale toepassingen, en werkt hun spin-out Cartesian aan de ontwikkeling van een modulaire warmteopslag voor gebouwen en voor warmtenetten op basis van PCM.

In **Zweden** wordt vooral gewerkt aan BTES, PTES en PCM voor centrale toepassingen, door de Universiteiten van Dalarna en Chalmers en door KTH. De fabrikant van hogetemperatuur zonnecollectoren Absolicon past voelbare opslag toe in hun systemen.

In het **Verenigd Koninkrijk** wordt door een groot aantal universiteiten gewerkt aan HT voelbaar, PCM en TCM. MTES is hier ook zeer aanwezig. 1/3 van de bevolking woont boven oude mijnen en deze wil men inzetten om warmte op te slaan<sup>12</sup>. Aparte vermelding verdient de Schotse firma Sunamp, die al een aantal jaren succesvol een kleine warmteopslag op basis van PCM (natriumacetaat trihydraat) aanbiedt.

---

<sup>12</sup> [IEA Geothermal | 2023 Mine Water Geothermal Energy Symposium - International Energy Agency geothermal \(iea-gia.org\)](https://www.iea-gia.org/)



## Kort overzicht van warmteopslag R&D activiteiten in het buitenland

Onderstaande tabel geeft een kwalitatief overzicht van de sterktes van de gevonden R&D activiteiten voor de warmteopslag categorieën in de beschreven landen.

Land	A	B	C	D	E	F	G
Denemarken		++			+		
Duitsland	+		+	++	++	+	+
Zwitserland		+			++	+	
Oostenrijk	+	++		+		+	
Spanje				++	++	+	
Italië				+	+	+	
Frankrijk		+		+	+	+	
Slovenië						+	
België		+	+			+	
Canada	+	+			+	+	+
Finland		+		+			
Noorwegen					+	+	
Zweden				+	+		
Verenigd Koninkrijk				+	+	+	
<i>Nederland</i>			++			++	++

Ter herinnering: de gebruikte categorieën zijn:

<b>A. Voelbaar decentraal in water</b> , boilers met kleinere volumes
<b>B. Voelbaar centraal: PTES (Pit Thermal Energy Storage), TTES (Tank TES); BTES (Borehole TES)</b>
<b>C. ATES</b> , aquifer thermal energy storage
<b>D. HT voelbaar</b> , voelbare opslag in vaste stoffen of vloeistoffen, voor hoge temperaturen
<b>E. PCM</b> , faseovergangsmaterialen
<b>F. TCM</b> , thermochemische warmteopslag
<b>G. IJzer redox</b> , of iron fuel



## 6. Overzicht van toonaangevende (inter)nationale roadmaps en rapporten

De onderstaande tabel geeft een overzicht van enkele noemenswaardige Nederlandse en buitenlandse verkenningen, roadmaps en studies die in het algemeen of in het bijzonder warmteopslag betreffen. Van elke publicatie is een korte omschrijving gegeven.

Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pagina's
UK	2016	<a href="#">Evidence Gathering: Thermal Energy Storage (TES) Technologies</a>	Department for Business, Energy & Industrial Strategy	niet bepaald	Studie	86
Overzicht van TES technologieën, hun TRL en marktsituatie. Identificatie van knelpunten en research gaps. Lijst van 5 belangrijkste R&D aanbevelingen.						
Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pagina's
EU	2017	<a href="#">EASE Thermal Storage Position Paper</a>	EASE - European Association for Storage of Energy	niet bepaald	Policy paper	13
Belang van TES wordt geschetst, met noodzakelijk geachte beleidsmatige acties						
Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pagina's
EU	2017	<a href="#">Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap</a>	EASE/EERA	2027	Policy paper	128
Het rapport beschrijft de verschillende energieopslag technologieën en hun markttoepassingen, en heeft vooral betrekking op elektriciteitsopslag. Van de aanbevelingen zijn er daarom maar slechts enkele op warmteopslag gericht.						
Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pagina's
EU	2017	<a href="https://heatstore.eu/documents/HEATSTORE%E2%80%93Roadmap%20for%20flexible%20energy%20systems%20with%20underground%20thermal%20energy%20storage%20towards%202050.pdf">https://heatstore.eu/documents/HEATSTORE%E2%80%93Roadmap%20for%20flexible%20energy%20systems%20with%20underground%20thermal%20energy%20storage%20towards%202050.pdf</a>	GEO THERMIC A-ERANET Cofund project HEATSTORE	2030-2050	Roadmap	57



<p>Het project richt zich op UTES, Underground Thermal Energy Storage, met demonstratie van verschillende HT-UTES technologieën</p> <p>Er wordt een schatting gemaakt van de benodigde UTES in Europa in 2050 (224 TWh) en aanbevelingen gedaan voor versterking van onderzoek en ontwikkeling op de gebieden Technologie&amp;Innovatie, Markt&amp;Economie, Maatschappij&amp;Milieu en Beleid&amp;Regelgeving.</p>						
Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pag.
AT	2018	<a href="#">Innovative Speichersysteme in und aus Österreich</a>	Klimafonds, BMVIT	niet bepaald	Studie	27
<p>Brede, korte studie naar energieopslag, waaronder warmteopslag. Algemene aanbevelingen voor R&amp;D en marktstimuleringsmaatregelen.</p>						
Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pag.
AT	2018	<a href="#">Technologie-Roadmap energiespeichersysteme in und aus Österreich</a>	Klimafonds, BMVIT	2030	Technologie roadmap	164
<p>Overzicht van stand van energieopslagtechnologieën; gekeken wordt naar sterkte van Oostenrijkse partijen, naar exportpotentieel en welke maatregelen per technologiegroep nodig zijn.</p>						
Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pag.
NL	2020	<a href="#">Kansen Voor Thermische Opslagsystemen</a>	CE Delft	2035	Studie	88
<p>Het marktpotentieel (tot en met 2035) van (grootschalige) collectieve seizoensopslagsystemen in warmtenetten voor de gebouwde omgeving is onderzocht. Er is gekeken naar ATES, PTES, TTES en BTES. Geschiktheid van een systeem wordt bepaald door de verlaging van de warmtekosten. ATES en PTES veroorzaken de sterkste verlaging van de warmtekosten.</p>						
Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pag.
World	2020	<a href="#">IRENA Innovation Outlook thermal Energy Storage</a>	IRENA - International Renewable Energy Agency	2030+	Innovatie roadmap	144
<p>Sectortoepassingen en groei van TES worden beschreven. Algemene RD&amp;I aanbevelingen en beleidsmaatregelen voor TES in de sectoren Power, Industry, Cold Chain, District Heating and Cooling en Buildings.</p>						
Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pag.

DE	2021	<a href="#">Agenda Wärmewende 2021</a>	Agora	2045	Roadmap	99
<p>De ontwikkeling naar een 100% duurzame warmtevoorziening in Duitsland in 2045 wordt geschetst. De drie hoofdgebieden zijn: Strategische warmteplanning; Warmtebehoefte van gebouwen en decentrale warmtevoorziening; Uitbouw en decarbonisering van warmtenetten. Voor warmteopslag wordt alleen een rol geschetst in warmtenetten. De behoefte aan warmteopslag in 2045 wordt geschat op 9,7 TWh voor zonthermische warmte en op 25 TWh voor power-to-heat van overschot PV elektriciteit. Realisatie van grote warmteopslagsystemen is alleen mogelijk met gerichte subsidiëring en effectieve vergunningsverlening. Dit wordt gekwantificeerd.</p>						
Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pag.
EU	2022	<a href="#">White Paper on Industrial Thermal Energy Storage</a>	EERA	niet bepaald	White paper	38
<p>Het potentieel voor thermische energie opslag voor de industrie wordt geschetst, en er wordt een serie aanbevelingen gedaan voor de korte en lange termijn. In het rapport worden de knelpunten en uitdagingen voor de verschillende TES technologieën beschreven, en een beschrijving gegeven van de belangrijkste uitdagingen op de gebieden markt, operationeel, financieel en wetgeving.</p>						
Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pag.
EU	2022	<a href="#">Energising Europe with Solar heat; A Solar Thermal Roadmap for Europe</a>	Solar Heat Europe/ESTIF	2030	Roadmap	14
<p>Het belang en het potentieel van zonthermische systemen voor gebouwen en voor warmtenetten wordt beschreven, en de belangrijke rol die warmteopslag speelt in het vergroten van de opbrengst van zonthermische systemen. Als specifieke maatregel wordt genoemd het stimuleren van lokale warmteopslag, gekoppeld aan zonnecollectoren.</p>						
Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pag.
NL	2023	<a href="#">Energie door perspectief: rechtvaardig, robuust en duurzaam naar 2050</a>	Expertteam energiesysteem 2050	2050	Outlook	78

<p>Algemene studie naar NL energiesysteem in 2050. Elektriciteit en waterstof worden genoemd en uitgewerkt, warmte en warmteopslag zijn niet meteen zichtbaar.</p> <p>Warmteopslag wordt voor het eerst genoemd op pagina 69, als een ontwikkeling die ervoor zorgt dat Lage Temperatuur systemen in de gebouwde omgeving haalbaar worden. De tweede keer wordt warmteopslag genoemd op pagina 76, bij het beter afstemmen met de ruimtelijke ordening.</p>						
Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pag.
NL	2023	<a href="#">Nationaal Plan Energieopslag 2023</a>	ESNL	2030	Roadmap	8
<p>Aanbevelingen voor beleid worden gegeven voor elektriciteits-, moleculen-, en warmteopslag. Deels zijn deze overgenomen in de Routekaart Energieopslag.</p>						
Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pag.
NL	2023	<a href="#">Routekaart Energieopslag</a>	Ministerie van EZK	2050	Route-kaart	120
<p>Adviezen worden gegeven voor de drie opslagvormen elektriciteit, moleculen en warmte. Voor warmte zijn deze:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokale seizoensopslag van warmte (seizoensopslag) is nodig voor duurzame warmtevoorziening</li> <li>• Korte-termijn warmteopslag is van invloed op de elektriciteitsvoorziening.</li> <li>• Conversie van en naar warmteopslag speelt een belangrijke rol.</li> <li>• Onbekendheid van en met warmteopslag is een knelpunt voor uitrol van warmteopslag.</li> <li>• Meer kennisdeling en kennisopbouw is nodig m.b.t. duurzaam gebruik van de ondergrond, incl. uitbreiding van het regulerend kader.</li> </ul>						
Land	Jaar	Titel en link	Instelling	Horizon	Type	Pag.
NL	2023	<a href="#">Nationaal Plan Energiesysteem 2050</a>	Ministerie van EZK	2050	Route-plan	60
<p>Beschrijft de ontwikkeling van opwekking uit de mogelijke bronnen en gebruik van elektriciteit, waterstof, koolstof en warmte in 2030, 2040 en 2050. Warmte wordt in 2050 hoofdzakelijk collectief geleverd aan gebouwde omgeving en landbouw, en niet aan de industrie. Het NPE heeft alleen aandacht voor centrale warmtebehoefte, met warmteopslag in een collectieve rol. Het overgrote deel van de warmtebehoefte is echter decentraal, en er wordt niet gekeken of en hoe warmteopslag hier een rol in heeft.</p>						

In geen van deze publicaties is een uitgebreide beschrijving gevonden van de stappen die nodig zijn om warmteopslag een goede impuls te geven. Als er stappen zijn beschreven, zijn deze meestal kwalitatief en hebben ze allemaal betrekking op warmteopslag voor collectieve warmte, meestal warmtenetten. Alleen de Duitse Agora studie geeft ook de bedragen die warmteopslag nodig heeft om de algemene duurzaamheidsdoelen te halen.

Het grootste deel van de warmtevraag in de gebouwde omgeving in Nederland komt van gebouwen die niet zijn aangesloten op een warmtenet. Ook bij een sterke uitbreiding van het aantal

warmtenetten zal dit een groot deel blijven. Het verdient aanbeveling om veel sterker aandacht te besteden aan dit deel van decentrale warmteopslagtechnologieën: welke technologieën zijn hier nodig, wat is er nodig om deze te realiseren en wat zijn de kosten hiervoor en voor de alternatieven. De Solar Thermal Roadmap for Europe geeft wel aan dat warmteopslag een grote rol speelt in het vergroten van het potentieel van lokale zonthermische systemen, maar geeft ook geen opsomming van specifieke stappen. Om het gehele energiesysteem, inclusief warmteopslag opties, te kunnen kwantificeren en kosten van alternatieven te kunnen bepalen is een uitbreiding van de nationale energiemodellen met warmte en warmteopslag noodzakelijk. De Agora studie kan hiervoor als voorbeeld dienen.

## **7. Positie van Nederlandse R&D&I t.o.v. het buitenland.**

Een van de hoofdvragen van de studie is: hoe is de stand van de Nederlandse onderzoeks-, ontwikkelings- en innovatieactiviteiten voor warmteopslagtechnologieën in vergelijking met wat er in het buitenland gebeurt. De beantwoording is gebaseerd op het beeld van de Nederlandse activiteiten, beschreven in de Innovatieroadmap Warmteopslag van TNO<sup>13</sup>, die ook is gebaseerd op een enquête onder Nederlandse onderzoekers, ontwikkelaars en ondernemers, op gesprekken met een deel van deze groep en op twee bijeenkomsten met een klankbordgroep, bestaande uit een representatieve doorsnede van deze groep. Dit beeld is aangevuld met het beeld van onderzoek en ontwikkeling in buitenlandse organisaties, zoals beschreven in hoofdstuk 3.

Daarnaast is er ook een enquête gehouden onder een grote groep van buitenlandse experts, voornamelijk uit de deelnemers aan twee zogenaamde Tasks van het Internationale Energie Agentschap, IEA. De Task45 (voorheen 39) van het Energy Storage programma, richt zich op grootschalige warmteopslagtechnologieën voor warmtenetten<sup>14</sup>. De andere Task is een samenwerking tussen de IEA-programma's Solar Heating and Cooling en Energy Storage en heeft daarom twee nummers: Task67/Task40. De focus is op de materiaal- en componentontwikkeling van compacte warmteopslagtechnologieën, PCM en TCM. De enquête is kort gehouden, om een goede respons te krijgen en een kwalitatief inzicht te krijgen. De drie vragen zijn:

1. Wat is jouw meest belangrijke werkgebied (keuze uit: voelbaar/PCM/TCM/chemical en uit: domestic/industrial/DHC/power)
2. Wie is internationaal leidend?
3. Kun je een Nederlandse organisatie noemen in dit gebied?

De eerste vraag diende om een indruk te krijgen van het werkgebied van de expert. Bij de tweede vraag kon de expert meerdere organisaties noemen. Bij de uitwerking van de antwoorden kreeg elke expert 1 punt, die werd gedeeld door het aantal organisaties dat de expert noemde. Daarom kunnen organisaties in de ranglijst scoren met niet-gehele punten. Als een expert bij vraag 3 meerdere Nederlandse organisaties noemde, kreeg elke organisatie een punt.

Er zijn 251 enquêtes verstuurd, waarvan er 56 ingevuld geretourneerd zijn. Dit wordt gezien als een goede respons, en een voldoende hoog aantal om uitspraken te doen over rangordes.

De volgende tabel geeft de resultaten van de enquête weer.

---

<sup>13</sup> <https://topsectorenergie.nl/nl/kennisbank/innovatieroadmap-warmteopslag-en-internationale-stand-van-zaken/>

<sup>14</sup> <https://iea-es.org/task-39/> en <https://iea-es.org/task-45/>

In de 4 rijen staan de vier warmteopslagtechnologieën die meegenomen zijn: Voelbaar, PCM, TCM en Chemisch. Achter de technologienaam in de eerste kolom staat tussen haakjes het aantal respondenten dat aangaf aan deze technologie te werken. De technologie “Chemisch<sup>15</sup>” heeft een te klein aantal respondenten om goede uitspraken op te baseren. Omdat deze technologie nog geen grote toepassingen heeft in de gebouwde omgeving, is het niet erg om deze technologie niet verder te beschouwen. De kolom “Geen antw.” geeft het aantal respondenten dat geen leidende organisatie of een Nederlandse organisatie kon noemen.

Tabel 1: Samenvatting van de resultaten van de enquête, gehouden onder internationale experts.

Opslag-technologieën (aantal respondenten)	Welke organisatie wordt gezien als internationale top?				Hoe vaak wordt een NL organisatie genoemd?		
	Geen antw.	1	2	3	Geen antw.	1	2
Voelbaar (26)	4	Planenergi 2,8	AEE INTEC 2,4	Solites 1,4	8	TNO 9	IF Technology 5
PCM (22)	1	FhG ISE 3	DLR 2,3	Univ. Lleida 1,9	8	TNO 11	TUE 4
TCM (18)	1	TUE 2,9	Univ. Lleida 2,3	DLR 2,2	2	TUE 10	TNO 9
Chemical (3)	0	School of Mines, Golden, CO 1	SPF 1		0	TUE 2	TUD 1

De technologie “Voelbaar” is met 26 respondenten de grootste groep, vooral vertegenwoordigd door experts uit Task45 en dus betrekking hebbend op grootschalige warmteopslagtechnologieën. De top 3 internationaal wordt gevormd door het Deense Planenergi, door AEE INTEC uit Oostenrijk en door Solites uit Duitsland. Het Nederlandse TNO en IF Technology werden vooral genoemd door experts van aquifer warmteopslag.

Voor de categorie PCM werden twee Duitse instituten (Fraunhofer ISE en het DLR) als leidend gezien, met op een derde plaats de Universiteit van Lleida in Spanje. Ondanks dat er in Nederland relatief weinig wordt gedaan aan R&D voor PCM, worden toch TNO elf keer en de TUE 4 keer spontaan genoemd als organisatie actief in dit gebied.

De antwoorden voor de categorie TCM geven een internationaal leidende positie aan de TUE, nog voor de Universiteit in het Spaanse Lleida en het Duitse instituut DLR. Ook worden zoel de TUE als TNO vaak genoemd als Nederlandse organisatie werkzaam op TCM-gebied.

De belangrijkste bevindingen uit de studie, zowel uit de enquête als uit de analyse van activiteiten in het buitenland, worden in de volgende paragrafen gegeven en toegelicht.

**TCM: Nederland heeft mogelijk een koploperpositie, maar het gebied heeft een veel sterkere ontwikkeling.**

Volgens de internationale experts is de TUE internationaal leidend op het gebied van TCM en heeft

<sup>15</sup> Voor de internationale experts is Chemisch gebruikt, omdat dit breder is dan alleen IJzer-Redox.



zo bezien een koploperpositie. Ook heeft Nederland twee ontwikkelingsactiviteiten voor een warmteopslagtechnologie op basis van TCM. ARES B.V. werkt samen met de Universiteit Twente en een Oostenrijkse industrie aan een modulaire opslag gebaseerd op natriumsulfide. Daarnaast is er een startup op het gebied van TCM; samen met TNO heeft de TUE een spin-off voortgebracht, Cellcius, om adsorptietechnologie op de markt te brengen. Ondanks het grote aantal organisaties internationaal dat TCM R&D doet, zijn er geen andere voorbeelden bekend van een spin-off op TCM-gebied; dit geeft Nederland zeker een sterkere positie internationaal. Tevens maakt dit duidelijk dat het gebied zeker nog niet op voldoende sterkte is; het toepassingsveld van compacte warmteopslag is groot, met een grote diversiteit aan markt/technologie combinaties. De markt voor decentrale compacte warmteopslag voor gebouwen is daarnaast nog niet ontwikkeld, waardoor er moeilijk initiatieven bij de industrie ontstaan: investeringen in R&D en innovatie worden alleen gedaan met een voldoende zeker uitzicht op een toekomstige markt. Een langdurige en programmatische ondersteuning van zowel R&D&I als de markt kan zorgen voor een oplossing van deze situatie. De overheid, gesteund door kennisinstituten en marktpartijen, kan hierin een leidende rol nemen.

### **Nederland is voorloper in Aquifer Warmteopslag (en in IJzer Redox)**

De ontwikkeling van aquifers is begonnen met warmte-koude opslag, WKO/ATES, en deze is in Nederland zeer breed toegepast. Later is MT-ATES, midden temperatuur aquifer warmteopslag, ontwikkeld en toegepast, en enkele jaren geleden werd dit gevolgd door hoge temperatuur ATES. Met al deze ontwikkelingen liep Nederland internationaal voorop. Zweden volgde met de toepassing van ATES, en Duitsland sinds kort ook met de ontwikkeling van HT-ATES. Dit geeft Nederland exportkansen, zowel voor kennis alsook voor materialen en componenten die Nederlandse bedrijven leveren.

IJzer redox geeft een beeld analoog aan ATES. Nederland heeft een sterk ontwikkeld kennisnetwerk rondom de TUE en Metalot, met toeleverende industrieën, spin-offs en grotere ondernemingen die de technologie op de markt brengen. De in Nederland gestarte ontwikkeling vindt internationaal navolging, in met name Duitsland en Canada. Eerste toepassingen van ijzer redox technologie zijn ook op warmtenetten gericht, met name door RIFT. Door het laat bekend worden van de internationale spelers zijn deze niet meegenomen in de internationale korte enquête. Daarom is deze technologie niet uitgebreid meegenomen in het assessment; de korte inventarisatie en de gesprekken met de Nederlandse experts waren voldoende basis voor de conclusie dat deze technologie grote exportkansen biedt voor kennis en voor technologie.

### **Grootschalige warmteopslag moet in Nederland versterkt worden.**

Nederland voorziet een sterke rol voor warmtenetten met een geplande sterke groei. Warmtenetten kunnen een groot aandeel duurzame bronnen en een grote flexibiliteit alleen bereiken als grote warmteopslagsystemen in het warmtenet geïntegreerd zijn. Dit geeft niet alleen grote groeikansen voor HT-ATES, maar ook voor PTES en TTES systemen, in die gebieden die minder geschikt zijn voor ATES, of waarvoor andere randvoorwaarden gelden. De kennis over PTES en TTES kan het beste uit respectievelijk Denemarken en Duitsland gehaald worden, middels bilaterale of Europese samenwerkingsprojecten en internationale kennisuitwisseling via Europese platforms of Tasks van het IEA.

## Toepassingsgebieden, samenwerking internationaal

In het algemeen is internationale samenwerking nodig om diverse (nieuwe) technologieën of alternatieven te ontwikkelen en demonstreren, om zo de markt te vergroten. Verder kan uit de studie ook het volgende geconcludeerd worden voor de toepassingsgebieden centraal en decentraal:

### **Centraal:**

Hierboven zijn al genoemd de voorloperrol van Nederland op ATES gebied, die het beste versterkt kan worden door gerichte kennisexport en versterking van de orderportefeuille van Nederlandse ondernemingen door projecten in het buitenland, met name in België, Frankrijk, Engeland en Duitsland. En de ontbrekende kennis en ervaring met PTES en TTES voor integratie in warmtenetten, waar Nederland de kennis kan halen uit Denemarken en Duitsland. Nederland kent slechts enkele projecten met hoge temperatuur voelbare opslag. Gezien het belang van deze technologie voor sectorkoppeling tussen de elektriciteitssector en de gebouwde omgeving is het goed om onze kennispositie te versterken middels samenwerking met Duitse en Spaanse organisaties, en te streven naar een serie van demonstraties, gekoppeld aan verdere materiaal- component- en systeemontwikkeling door Nederlandse kennisinstituten. Het Horizon Europe programma van de EU is hiervoor een geschikt instrument, echter de individuele landen zullen wel ervoor moeten zorgen dat de gewenste topics in de HE programma's worden opgenomen.

### **Decentraal:**

Nederlandse ontwikkelaars van innovatieve warmteopslagtechnologieën kunnen sterk baat hebben bij het betreden van de Duitse markt: deze markt is veel groter dan de Nederlandse, en heeft vergelijkbare marktomstandigheden en toepassingsgebieden voor kleine warmteopslagsystemen. Duitsland heeft tevens een sterke maakindustrie, en kennisinstituten met een lange ervaring op het gebied van warmteopslagsystemen voor zonthermie. Samenwerking met deze partijen kan leiden tot een versnelde verbetering van technologie en van productiemethoden.

Thermochemische opslag is een breed gebied waarvoor veel materiaal- en componentkennis nodig is, die zeer moeilijk door een enkel land beheerst kan worden. Wil Nederland zijn koploperpositie in dit veld behouden dan zal er een sterke internationale samenwerking georganiseerd moeten worden. De effectiviteit van een dergelijke samenwerking kan het best gegarandeerd worden door een programmatische, langjarig stabiele aanpak, en vindt het best een basis in een Europees of multinationaal kader. Dit vraagt om een lobby om thermochemische opslag in de internationale programmering te krijgen. Dit is een rol voor de overheid, voor de industrie en voor het R&D veld.

## **8. Conclusies**

Er is een breed scala aan warmteopslagtechnologieën voor een groot aantal toepassingen. Uit het overzicht van internationale R&D spelers komt naar voren dat de meeste partijen relatief klein zijn. Slechts enkele instituten hebben meer dan 50 experts werkzaam op het gebied van warmteopslag, en deze zijn ook te klein om alle technologieën en materialen te omvatten. Gezien de grootte van het veld is het aantal instituten te klein om de gewenste voortgang te krijgen in het gebied.



In de meeste onderzochte landen is de aandacht verdeeld over een aantal technologieën. Sommige landen springen eruit door een specialisatie op een bepaald technologie. Zo is de PTES technologie breed verkend en toegepast in Denemarken, heeft Zwitserland grote stappen gezet op PCM gebied en is er in Duitsland veel ervaring in decentrale voelbare opslag en in het ontwikkelen van oplossingen samen met de industrie.

Doordat in de meeste landen de budgetten voor warmteopslag R&D sterk variëren is de vaste basis van kennisinfrastructuur voor warmteopslagtechnologieën op een laag niveau. Veel in projecten opgebouwde kennis wordt niet behouden doordat medewerkers naar andere werkgebieden gaan. Er is een aantal (inter)nationale roadmaps en rapporten over warmteopslag gevonden en kort geïnventariseerd. In geen enkele publicatie is een uitgebreide beschrijving gevonden van de stappen die nodig zijn om warmteopslag een goede impuls te geven. Als er stappen zijn beschreven, zijn deze meestal kwalitatief en hebben ze allemaal betrekking op warmteopslag voor collectieve warmte, meestal warmtenetten. Alleen de Duitse Agora<sup>16</sup> studie geeft ook de bedragen die warmteopslag nodig heeft om de algemene duurzaamheidsdoelen te halen.

Omdat voor Nederland het grootste deel van de warmtevraag van niet-warmtenetgebonden gebouwen en andere toepassingen komt, verdient het aanbeveling om, naast de uitrol van warmtenetten en de daaraan verbonden centrale warmteopslagtechnologieën, veel sterker aandacht te besteden aan decentrale warmteopslag technologieën: welke technologieën zijn hier nodig, wat is er nodig om deze te realiseren, wat zijn de kosten hiervoor en voor de alternatieven, wat moet de rol van dit soort kleinschalige warmteopslagsystemen worden in een gebouw. Om hieraan sturing te kunnen geven is een uitbreiding van de nationale energiemodellen met warmte en warmteopslag noodzakelijk. De Agora studie kan hiervoor als voorbeeld dienen.

- Nederland speelt goed mee in de internationale onderzoek- en ontwikkelingsactiviteiten voor warmteopslagtechnologieën. Het heeft een voorloperrol in ATES en in IJzer-Redox technologie, en internationale experts beschouwen Nederland als koploper in TCM.
- In Aquifer warmteopslag, ATES, is Nederland internationaal leidend, met een relatief groot aantal gerealiseerde systemen en met nieuwe ontwikkelingen voor midden- en hoge temperatuur ATES. De technologie wordt door een toenemend aantal buitenlanden 'ontdekt' en dit geeft Nederlandse kennisinstellingen en bedrijven kansen voor export.
- Nederland kent ook een sterk netwerk rond IJzer-Redox technologie. Deze is principieel gedacht voor industriële toepassingen en elektriciteitsopwekking, en in mindere mate voor warmteopslag voor de gebouwde omgeving. De ontwikkelingen in Nederland vinden navolging in Duitsland en Canada, hetgeen kansen biedt voor kennisexport en voor technologie export door Nederlandse industrieën.
- Verschillende internationale experts denken dat TCM een belangrijke rol gaat spelen in decentrale warmteopslag. Het toepassingsveld van compacte warmteopslag is groot, met een grote diversiteit aan markt/technologie combinaties. Tevens is de markt nog niet ontwikkeld, waardoor industrieën geen initiatieven ontwikkelen voor R&D&I en er maar zeer weinig startups ontstaan. De overheid kan zorgen voor een oplossing van deze situatie, door een langdurige en programmatische ondersteuning van zowel onderzoek, ontwikkeling en demonstratie als de markt.
- De Nederlandse warmtetransitie heeft, naast aquifers en mijnwater, ook andere centrale warmteopslagtechnologieën, zoals PTES, warmtereservoirs, TTES, grote warmteopslagvaten, en

---

<sup>16</sup> [Agenda Wärmewende 2021](#)





hoge temperatuur voelbare warmte nodig. Om kennis van deze technologieën in huis te halen is samenwerking met buitenlandse partijen nodig. Dit kan met partijen uit Denemarken (PTES), Duitsland (TTES) en Duitsland/Spanje (HT voelbare warmte).

- Naast internationale samenwerking kan versterking van het onderzoeks-, ontwikkelings- en demonstratieveld het best gebeuren door een langjarige, programmatische aanpak. Voorbeelden van deze aanpak zijn te vinden in Zwitserland en in Spanje, en deze kenmerkt zich door een stevige beginfinanciering gecombineerd met een jaarlijkse ondersteuning gedurende een langere tijd, op basis van een langjarig R&D programma.
- Daarnaast moet er aandacht komen voor het initiëren en het voor een langere periode blijvend ondersteunen van spin-off bedrijven. De innovaties vinden echter het beste een weg naar de markt als de overheid ook de interne afzetmarkt versterkt en hiertoe gerichte subsidies in het leven roept voor innovatieve warmteopslagtechnologieën.

Per stakeholder kunnen de volgende acties ondernomen worden:

Stakeholder	Actie	Voor welke technologie
Overheid	Opzetten van een langjarig programma voor warmteopslag R&D&I	Alle technologieën
	Scheppen van een stimulerende omgeving voor het groeien van startups (risicokapitaal en garantiestellingen)	TCM
	Versterken van de interne markt voor innovatieve warmteopslagtechnologieën	Alle technologieën
	Ondersteunen van kennisexport en industriële export	Voelbaar decentraal, ATES, IJzer-Redox
	Incorporeren van centrale en decentrale warmteopslagtechnologieën in nationale energiemodellen	Alle technologieën, vereenvoudigd gemodelleerd
Bedrijven	Gezamenlijk ontwikkelen van de binnenlandse markt (business models, betere bekendheid, met overheid werken aan doelgerichte ondersteuning)	Alle technologieën
	Werken aan buitenlandse afzetmarkten	Voelbaar decentraal, ATES, IJzer-Redox
	Genereren van ontwikkelingsprojecten met buitenlandse kennisdragers	PTES, TTES, HT voelbaar
Kennisinstellingen	Versterken van het internationale veld in Europese en internationale samenwerkingsverbanden, in samenwerking met de overheid	Alle technologieën
	Aangaan van internationale samenwerkingsprojecten	Alle technologieën
	Kennis exporteren en hiermee te gelde maken	ATES, IJzer-Redox
	Leveren van ondersteuning bij langjarige programmering	Alle technologieën

## Appendix 1: Lijst van buitenlandse warmteopslag R&D organisaties

	Plaats		Boiler/ TTES	BTES	PTES	CTES	ATES	HT sensibel	PCM	TCM	Iizer Redox	Chemical	Decentraal	District heating
AT	Gleisdorf	AEE INTEC			x					x			x	x
AT	Graz	SOLID		x										x
AT	Innsbruck	Univ. Innsbruck			x									x
AT	Linz	JKU		x										x
AT	Wels	FHOÖ	x							x			x	x
AT	Wenen	TU Wien							x	x			x	
AT	Wenen	AIT							x					
BE	Bergen/Mons	Univ. Mons								x			x	
BE	Genk	VITO/Energyville	x	x			x						x	x
BE	Luik	Univ. Liege								x			x	
BE	Rochefort	Be-sol								x			x	
CA	Bridgewater	Neothermal ES Inc.							x				x	
CA	Halifax	Dalhousie Univ.							x				x	
CA	Ottawa	CanMet Energy	x							x			x	
CA	Ottawa	Univ. Ottawa								x			x	
CH	Luzern	HSLU							x	x				x
CH	Luzern	COWA							x				x	
CH	Luzern	HSLU	x	x		x							x	x
CH	Luzern	HSLU			x									x
CH	Luzern	Seasoncell								x			x	
CH	Neuendorf	SCALORIC							x				x	
CH	Rapperswil	OST/SPFL							x	x			x	
CH	Zürich	Hogeschool Zürich ZHAW	x	x		x			x	x			x	x
CN	Guangzhou	Institute of Energy Conversion							x	x			x	
DE	Berlijn	Zeosys Energy								x			x	
DE	Berlijn	BTB-Berlin					x							x
DE	Darmstadt	Univ. Darmstadt									x			x
DE	Freiburg i.Br.	Sorption Technologies								x				x
DE	Freiburg i.Br.	FhG ISE Institute for Solar Energy							x	x			x	x
DE	Garching	ZAE Bayern							x	x			x	x
DE	Hamburg	Ramboll			x									x
DE	Hamburg	Ramboll			x									x
DE	Kassel	Univ. Kassel			x									x
DE	Kiel	Univ. Kiel					x							x
DE	Magdeburg	Univ. Magdeburg								x				x
DE	Pfingztal	Fraunhofer ICT								x			x	
DE	Stuttgart	DLR						x	x	x				x

	Plaats		Boiler/ TTES	BTES	PTES	CTES	ATES	HT sensibel	PCM	TCM	IJzer Redox	Chemical	Decentraal	District heating
DE	Stuttgart	Univ. Stuttgart								x			x	
DE	Stuttgart	Solites	x	x	x									x
DE	Berlijn	Rubitherm							x				x	
DK	Aalborg	Aalborg CSP			x									x
DK	Kopenhagen	DTU							x				x	x
DK	Kopenhagen	Planenergi			x									x
DK	Kopenhagen	DTU			x									x
DK	Skorping	Bobsol			x									x
ES	Barcelona	Univ. Barcelona	x					x	x	x			x	x
ES	Basque Country	Univ. Basque Country							x				x	
ES	Gipuzkoa	Tekniker						x	x					x
ES	Lleida	Univ. Lleida	x						x	x			x	x
ES	Madrid	CIEMAT						x						x
ES	Valencia	Univ. Valencia						x	x					x
ES	Vitoria Gasteiz	CIC Energigune						x	x	x				x
ES	Zaragoza	Univ. Zaragoza							x				x	x
FI	Kokkola	Heliostorage		x										x
FI	Espoo	VTT				x								x
FI		Polar Night Energy						x						x
FR	Bordeaux	Newheat	x		x									x
FR	Grenoble	CEA	x						x				x	x
FR	Haute Savoie	Univ. Haute Savoie							x				x	
FR	Lyon	INSA Lyon							x	x				
FR	Pau	Univ. Pau							x				x	
IT	Cassacia	ENEA							x				x	x
IT	Messina	Univ. Messina								x			x	
IT	Messina	CNR ITAE								x			x	x
NO	Trondheim	SINTEF							x	x				x
NO	Trondheim	Cartesian							x				x	x
SE	Dalarna	Dalarna			x									x
SE	Harnosand	Absolicon			x			x					x	x
SE	Stockholm	KTH		x			x		x					x
SE	Gothenburg	Chalmers University		x										x
SI	Ljubljana	National Institute of Chemistry NIC								x				x
TR	Alania	Cukurova Univ.	x						x				x	
UK	Birmingham	Univ. Birmingham	x						x	x		x	x	x
UK	Cardiff	Univ. Cardiff								x			x	
UK	East Lothian	Sunamp	x						x				x	



	Plaats		Boiler/ TTES	BTES	PTES	CTES	ATES	HT sensibel	PCM	TCM	IJzer Redox	Chemical	Decentraal	District heating
UK	Edinburgh	Napier Univ.							x				x	
UK	Loughborough	Univ. Loughborough							x	x			x	
UK	Newcastle	Univ. Northumbria							x				x	
UK	Nottingham	Univ. Nottingham						x	x	x			x	
UK	Peterborough	PCM Products Ltd.							x				x	
UK	Warwick	Univ. Warwick								x			x	

