

WARMTEOPSLAG TECHNOLOGIE VOOR TOEPASSING IN DE LANDBOUW

Project nummer: 060.34165

Datum: 22 april 2022

Opdrachtgever: TKI Agri&Food

› **PROF. DR. H.A. ZONDAG**





All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced and/or published by print, photoprint, microfilm or any other means without the previous written consent of TNO. In case this report was drafted on instructions, the rights and obligations of contracting parties are subject to either the General Terms and Conditions for commissions to TNO, or the relevant agreement concluded between the contracting parties. Submitting the report for inspection to parties who have a direct interest is permitted.

© 2022 TNO

› INHOUD

WARMTEOPSLAG TECHNOLOGIE VOOR TOEPASSING IN DE LANDBOUW

01. DOEL

02. SYSTEEM

03. OVERZICHTSTABEL

04. HOGE TRL WARMTEOPSLAG

05. LAGE TRL WARMTEOPSLAG

06. VERGELIJKING

07. VERANTWOORDING

08. ONDERTEKENING

› INTRODUCTIE

DOEL VAN DEZE PRESENTATIE

Vanuit LTO Noord is er behoefte aan mogelijkheden om energiegebruik in de landbouw en veeteelt te reduceren en opwekking en gebruik van duurzame energie te stimuleren. Hiervoor is een PPS opgericht met LTO Noord, Alliander, PetaWatts, Windunie, Wageningen Research en TNO. Binnen deze PPS worden verschillende opties onderzocht in deelprojecten.

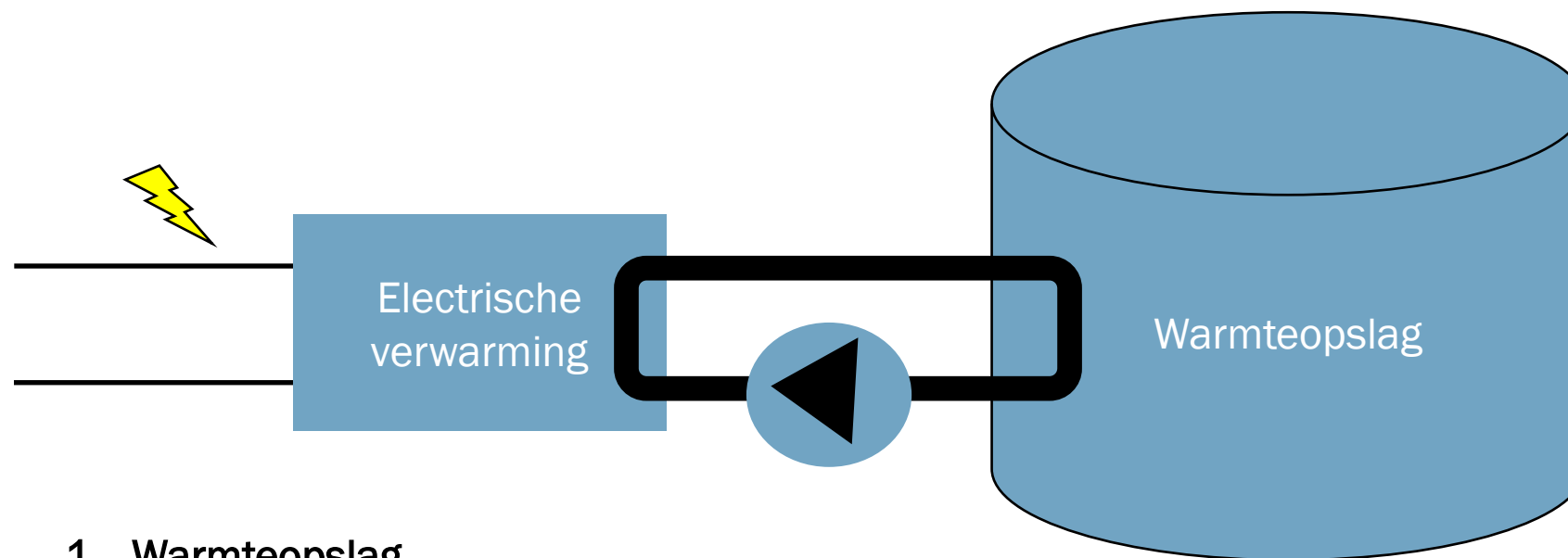
In het huidige deelproject wordt een inventarisatie gemaakt van relevante technologie voor opslag van warmte, gegenereerd door middel van duurzame elektriciteit uit PV panelen, wind of een andere niet-regelbare duurzame bron. Hierbij wordt gekeken naar zowel korte termijn warmteopslagsystemen (uren/dagen) als lange termijn warmteopslagsystemen (seizoensopslag). Voor deze toepassingen is een inventarisatie gemaakt van warmteopslag technologie in de vermogensrange 55 kW tot 1,5 MW (relevant voor PV en wind in de landbouw) en van TRL¹ 5 t/m 9.

Voor de temperatuur zal gekeken worden naar de range -30°C tot +900°C. De hoge temperaturen hierbij zijn niet direct nodig voor gebruik, maar potentieel interessant omdat ze compactere warmteopslag mogelijk maken, en behaald kunnen worden met elektrische verwarming. De lagere temperaturen zijn mogelijk interessant voor koeltoepassingen.

De technologieën worden afzonderlijk gepresenteerd, en daarna wordt een vergelijkend overzicht gegeven van alle technologieën inclusief bijbehorende bijzondere vereisten.

¹TRL = Technology Readiness Level, op een schaal van 1 (fundamenteel onderzoek) t/m 9 (klaar voor commerciële toepassing)

OVERZICHT WARMTEOPSLAGTECHNOLOGIE SYSTEEM



1. Warmteopslag

- Voelbare warmte (water, gesteente)
- Bodemopslag
- Faseovergangsmaterialen
- Thermochemische materialen

2. Elektrische verwarming

- Weerstandsverwarming
- Warmtepomp (nu alleen voor temperaturen $< 100^{\circ}\text{C}$ en $\text{DT}_{\text{lift}} < 60^{\circ}\text{C}$)

› OVERZICHT WARMTEOPSLAGTECHNOLOGIE

	principe	type	temperatuur	opmerkingen
Nu beschikbaar	Voelbare warmte	Bodemopslag – aquifer	5°C – 22°C	WKO(Warmte & koude opslag)
	Voelbare warmte	Bodemopslag – warmtewisselaar	5°C – 50°C	
	Voelbare warmte	Bodemopslag – kuil	10°C – 90°C	
	Voelbare warmte	Watertank	5°C – 90°C	onder druk 110-120°C
	Voelbare warmte	Beton	20°C – 400°C	
	Voelbare warmte	Gesteente	20°C – 900°C	
	Voelbare warmte	Gesmolten zout	250°C – 560°C	
	Faseovergang	IJs/ PCM (lage temperatuur)	-30°C – 90°C	
Toekomst	Voelbare warmte	Zand wervelbed	20°C – 900°C	
	Faseovergang	PCM (hoge Temperatuur)	100°C – 300°C	
	Reactie	TCM (zouthydraat)	40°C - 150°C	
	Reactie	Metal fuel	500°C – 1800°C	H ₂ vereist voor laden



TRL 7-9 – NU BESCHIKBAAR

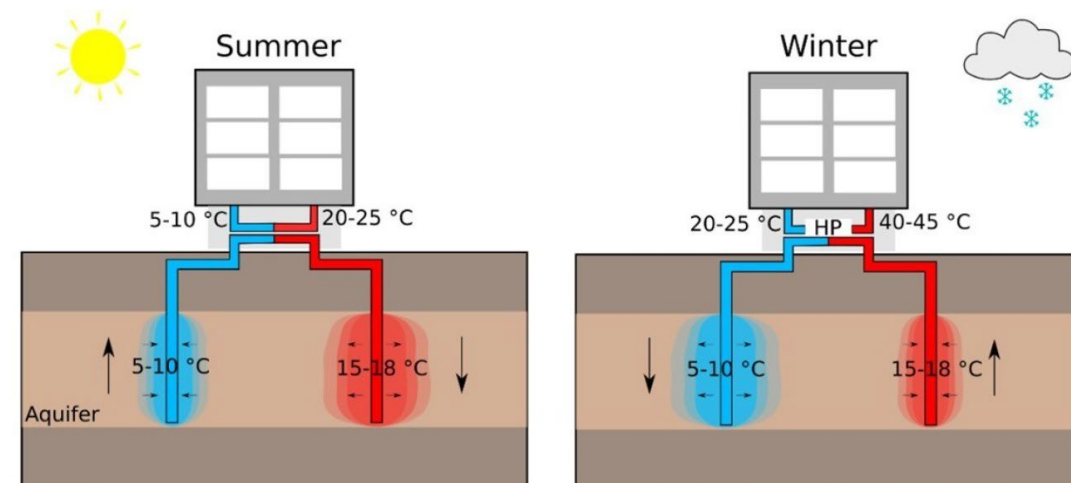
› VOELBARE WARMTE – BODEMOPSLAG AQUIFER (ATES)

Een aquifer is een waterdragende laag (latijn: aqua=water, ferre=dragen) in de bodem. Dit is typisch een met water verzadigde zandlaag. In aquifer warmteopslag, wordt warmte en koude opgeslagen in het grondwater, aanwezig in deze laag.

Aquifer warmteopslag systemen worden typisch als doublet uitgevoerd, met een warme en een koude bron, en gebruikt als wko (warmte-koude opslag). Dit zijn typisch grote systemen met vermogens van 0.5-10 MW.

- In wko systemen wordt in de zomer koud water uit de koude bron opgepompt, gebruikt voor koeling (waardoor het water opwarmt), waarna het wordt teruggepompt naar de warme bron.
- In de winter wordt water uit de warme bron gepompt, gebruikt voor ruimteverwarming via een warmtepomp, (waardoor het water afkoelt), waarna het wordt teruggepompt naar de koude bron.

Aquifer warmteopslag wordt in de agrarische sector met name gebruikt voor seizoenswarmteopslag bij kassen.

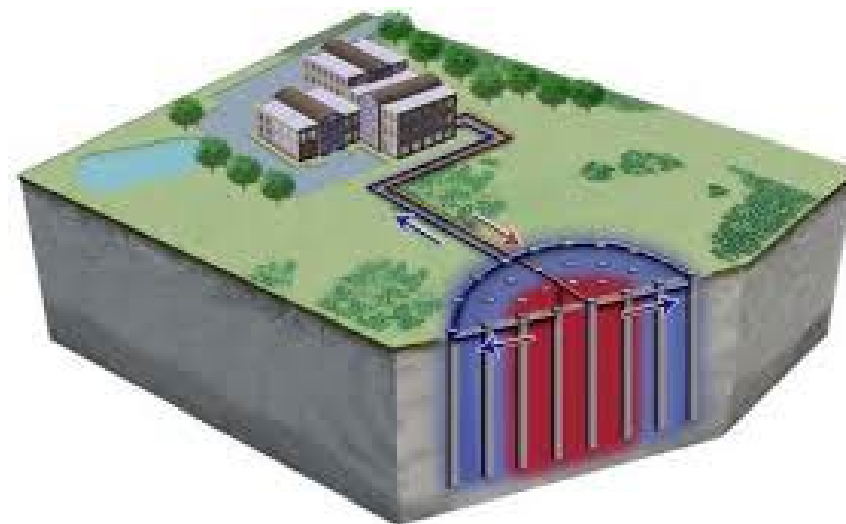


In Nederland is wettelijk voorgeschreven dat bij aquifer projecten de bodem niet structureel opgewarmd mag worden. In bijzondere gevallen kan ontheffing verleend worden en zijn ook hoge temperatuursystemen gerealiseerd, zoals de hoge temperatuur aquifer op de Uithof in Utrecht, met een toevoertemperatuur van 90°C.

VOELBARE WARMTE – BODEMOPSLAG WARMTEWISSELAAR (BTES)

In een gesloten bodemwarmtesysteem, wordt warmte onttrokken of toegevoerd aan de bodem door middel van bodemwarmtewisselaars, in plaats van direct oppompen van grondwater zoals gebeurt in een aquifer. Het voordeel daarvan is dat de permeabiliteit van de bodem niet belangrijk meer is. Nadeel is dat het specifiek vermogen kleiner is.

De Nederlandse regelgeving vereist in principe dat de temperatuur van het transportmedium tussen de -3°C en $+30^{\circ}\text{C}$ is, voor hogere temperaturen is een maatwerkbesluit nodig. Een hoge temperatuur bodemopslag is bijvoorbeeld gerealiseerd in Groningen (Beijum), waar warmte van 60°C in de bodem wordt opgeslagen.

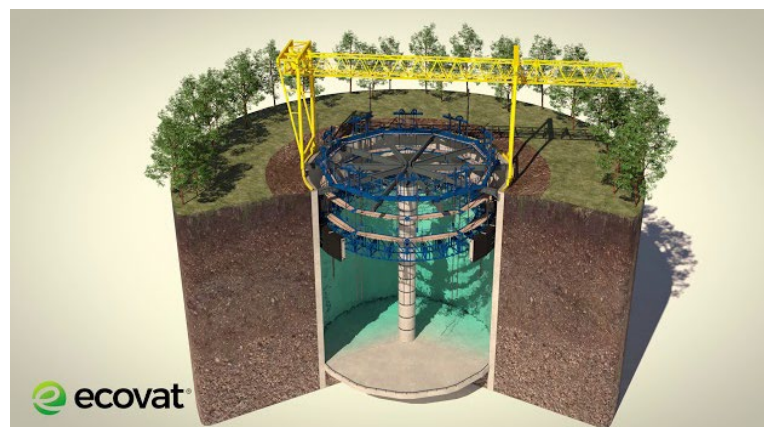
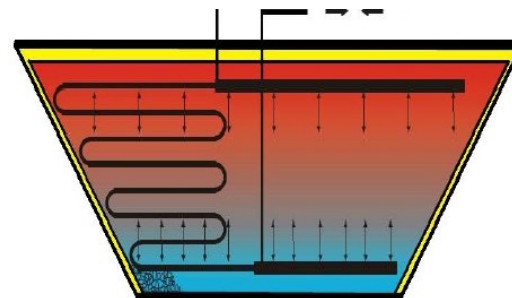
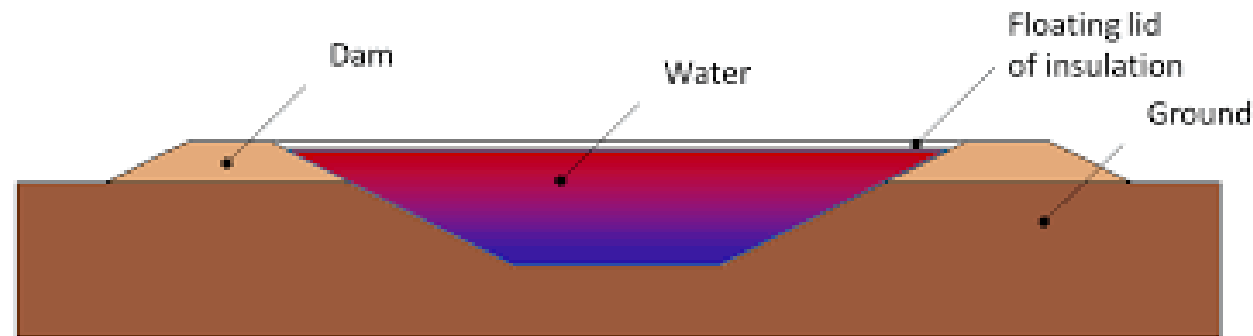


› VOELBARE WARMTE – BODEMOPSLAG KUIL/TANK

Pit en tank warmteopslag, zijn opties voor warmteopslag in de bodem als bodemcondities onvoldoende goed zijn (permeabiliteit, grondwaterstroming), of hogere temperaturen nodig zijn dan typisch in de bodem toegestaan is. In dergelijke systemen zijn in principe temperaturen van 10-90°C mogelijk.



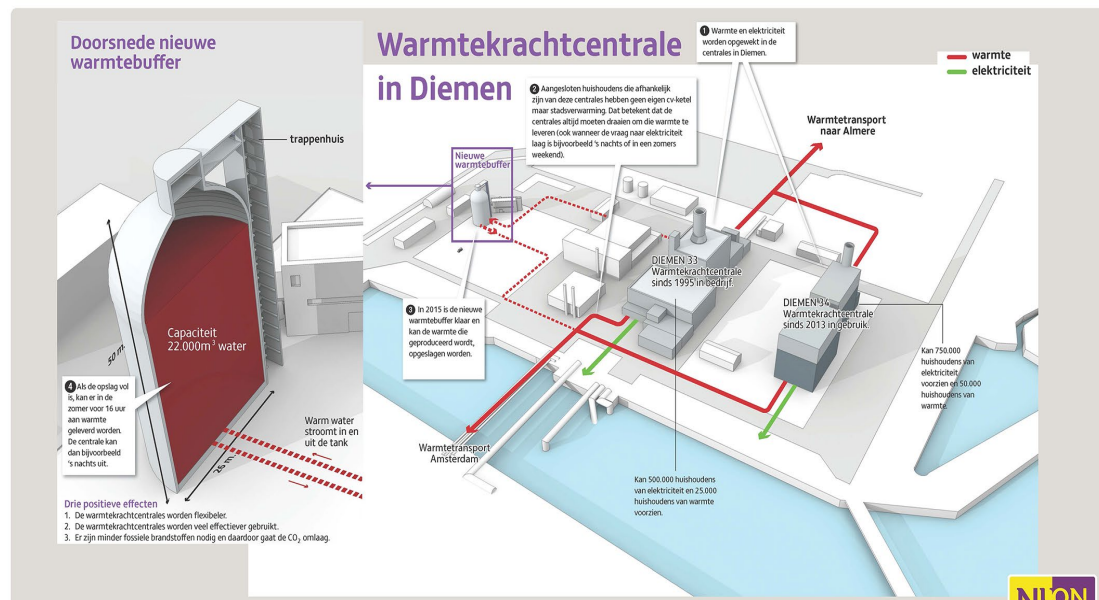
hocosto



VOELBARE WARMTE – WATERVAT BOVENGRONDS

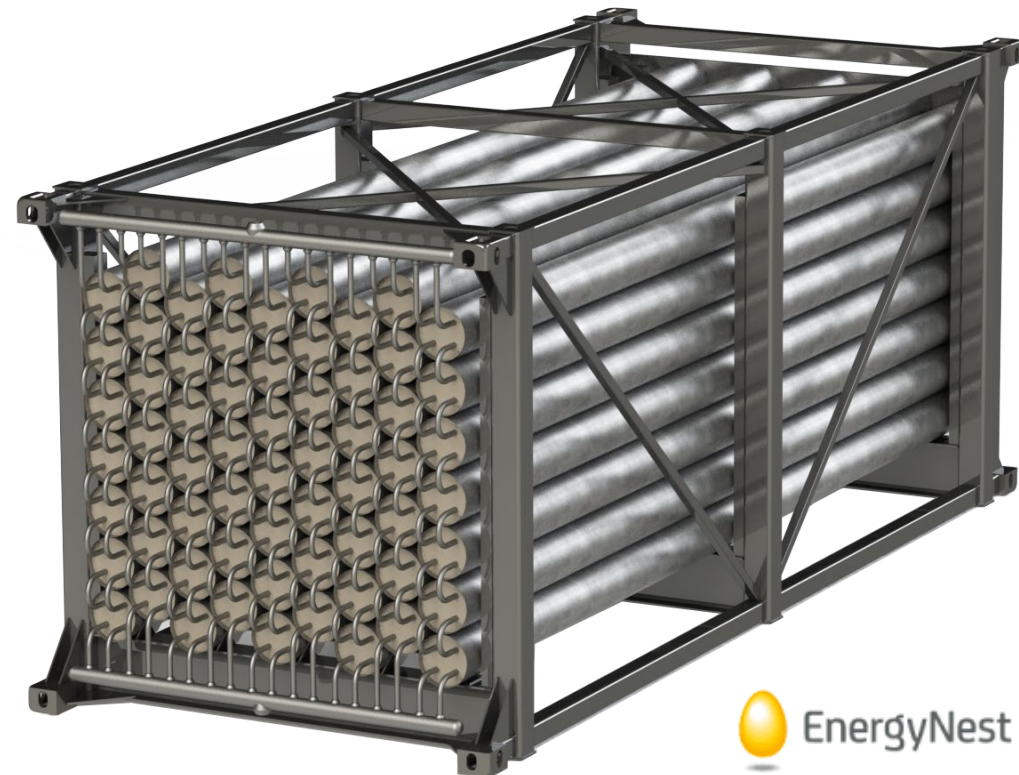
Voor warmteopslag in bovengrondse water tanks geldt dezelfde temperatuurrange als ondergronds; 10-90°C. Hogere temperaturen tot 120°C of hoger zijn mogelijk bij drukopstellingen. Wel nemen de kosten toe bij opstellingen onder druk.

Agrarische warmteopslag, waarbij warmte wordt opgeslagen in water, wordt veel gebruikt in de tuinbouw in combinatie met WKK.



› VOELBARE WARMTE - BETON

Warmteopslag in beton is een mogelijkheid om warmte op hogere temperatuur op te slaan, bijvoorbeeld in combinatie met thermische olie als warmtewisselend medium. In principe zijn temperaturen tot 400°C mogelijk. Nadelen zijn dat een groot warmtewisselend oppervlak nodig is om voldoende vermogen te behalen, en dat de snelheid van verwarmen en afkoelen gelimiteerd is door mogelijke thermische spanningen in het materiaal.



 EnergyNest



› VOELBARE WARMTE – GESTEENTE OF ZAND

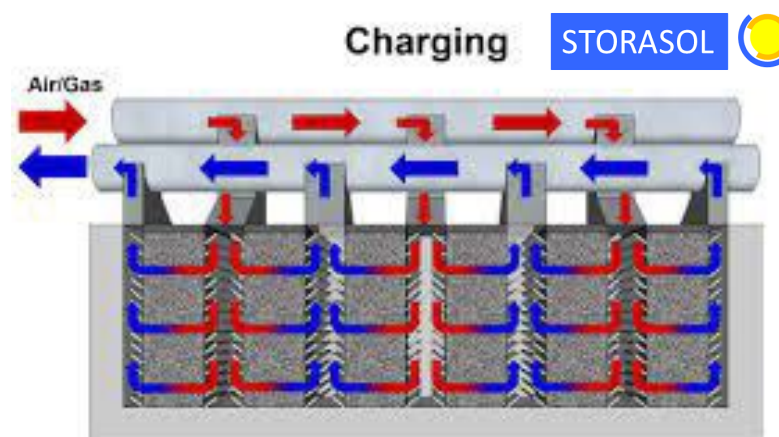
Warmteopslag in gesteente of zand geeft de mogelijkheid om naar zeer hoge opslagtemperaturen te gaan van 800-1000°C. De systemen kunnen elektrisch worden geladen of met zeer hete lucht. Om voldoende vermogen te halen is een groot warmtewisselend oppervlak nodig, wat eenvoudig bereikt kan worden door relatief kleine stenen te gebruiken. Een alternatief is zand, dat goedkoop is en ook tot hoge temperatuur kan worden verwarmd, maar dat wel een aangepast ontwerp vereist door de grotere drukval.



Source: Siemens Gamesa



SIEMENS Gamesa
RENEWABLE ENERGY



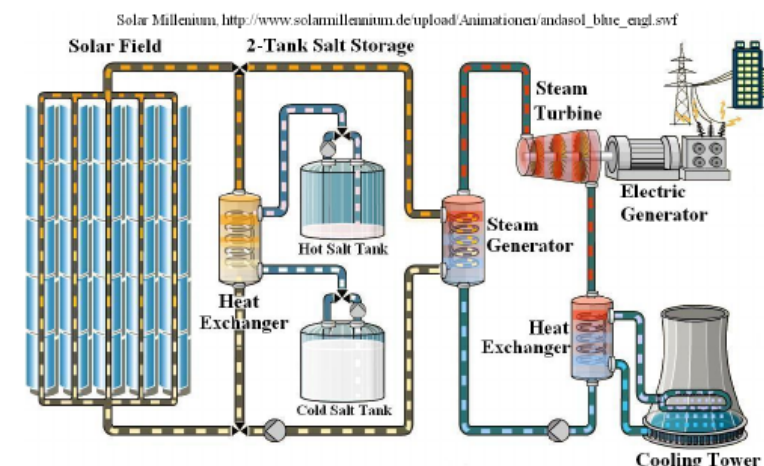
VOELBARE WARMTE – GESMOLTEN ZOUT

Warmteopslag in gesmolten zout wordt vooral gebruikt in concentrated solar power systemen (CSP). Hierbij worden (mengsels van) nitraatzouten gebruikt, zoals solar salt met een smelttemperatuur van 240°C en een decompositietemperatuur van 565°C . Een alternatief is Hitec XL, met een smelttemperatuur van 130°C en een decompositietemperatuur van 450°C .

Het zout wordt in gesmolten vorm gebruikt, en stolling wordt zoveel mogelijk voorkomen (om verstopping van buizen, warmtewisselaars en pompen te voorkomen). Daarom is vaak verwarming van de leidingen nodig, en een ontwerp dat stollingsproblemen minimaliseert.

Gesmolten zout opslag wordt ontworpen in twee vormen:

1. Twee tank systemen, met een koude en een warme tank, waartussen het gesmolten zout heen en weer wordt gepompt.
2. Thermocline systemen, waarbij maar één tank wordt gebruikt, met daarin een grote temperatuurgradient. Bij laden wordt koud gesmolten zout onttrokken aan de bodem, opgewarmd via een warmtewisselaar en teruggepompt naar de top van het vat, of in omgekeerde richting bij ontladen.



VOELBARE WARMTE – THERMISCHE OLIE

Thermische olie kan worden gebruikt als een alternatief voor water. Ten opzichte van water heeft het een aantal nadelen, zoals lagere energiedichtheid, lagere warmteoverdracht en hogere kosten. Het voornaamste voordeel is dat hogere temperaturen haalbaar zijn.

Thermische olie wordt vooral gebruikt als warmtetransportmedium, maar kan in principe ook worden gebruikt als warmteopslagmedium. Vanwege de hogere kosten wordt de thermische olie dan soms wel gecombineerd met een goedkoop vulmateriaal in de opslagtank, zoals steen. Minerale olie kan worden gebruikt tot ongeveer 300°C; hogere temperaturen zijn mogelijk met synthetische olie, maar dat brengt wel extra kosten met zich mee. Een belangrijk aandachtspunt is verder veiligheid en brandbaarheid van de olie.

Een grote minerale olieopslag van ruim 3000 m³ is toegepast in de SEGS 1 Concentrated Solar Power (CSP) installatie (1984-1999), ten behoeve van een twee-tanksysteem (hete olie op 305°C in de ene tank, gaat na afkoeling tot 240°C naar de andere tank en vice versa). In 1999 is een van deze olietanks geëxplodeerd bij een brand.

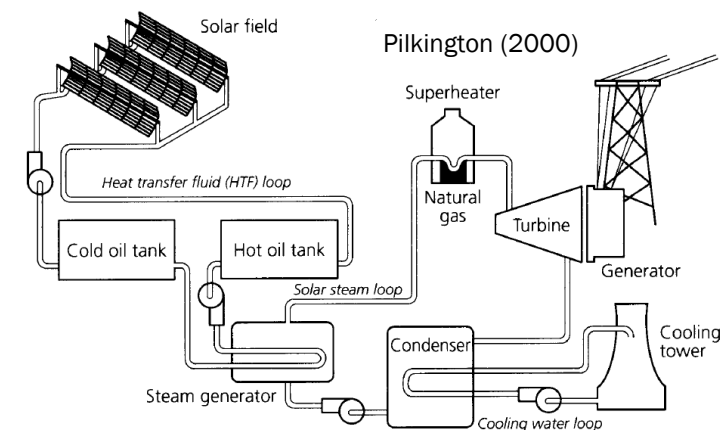


Figure 1. Schematic flow diagram of SEGS I plant

SEGS CSP installation, using solar troughs



› FASEOVERGANG – LAGE TEMPERATUUR PCM/IJS

Energie kan ook worden opgeslagen in een faseovergang (smelten/stollen). De hoeveelheid warmte die vrijkomt bij bevriezen van water, komt overeen met de energie die nodig is voor het opwarmen van water van 10°C naar 90°C. Water bevriest bij 0°C; voor andere temperaturen worden bijvoorbeeld water/zout mengsels of paraffines gebruikt.

Verskillende soorten systemen worden gebruikt:

1. Ijsbuffers als bron voor een warmtepomp, in plaats van bodemwarmte (e.g. solareis).
2. IJs/PCMBuffers als opslag van koude voor airconditioning of proceskoeling.

Bij voorkeur wordt zowel de koude in de gestolde PCM als de onttrokken warmte gebruikt.

Om voldoende vermogen te krijgen is veel warmtewisselend oppervlak nodig. Dat kan door gebruik van een warmtewisselaar met een groot specifiek oppervlak, of door het gebruik van een slurry, waarin kleine PCM deeltjes in een transportvloeistof verpompt worden.

Omdat de PCM wisselt tussen vast en vloeibaar, is een vorm van opsluiting nodig om te zorgen dat de PCM in vloeibare vorm vastgehouden wordt. Dit kan in grote vaten, kleinere nodules of met zeer kleine microencapsulatie. Een aandachtspunt is de uitzetting bij de faseovergang; die moet de omsluiting niet beschadigen.





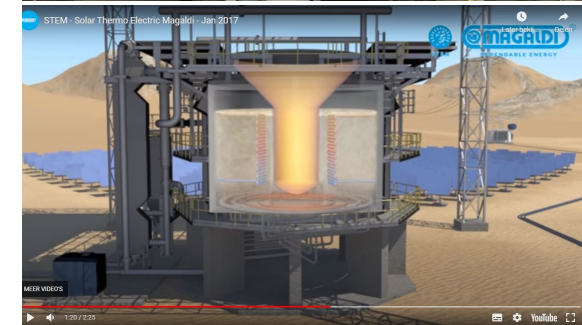
TRL 3-6 – TOEKOMST

› VOELBARE WARMTE – DYNAMISCH ZAND

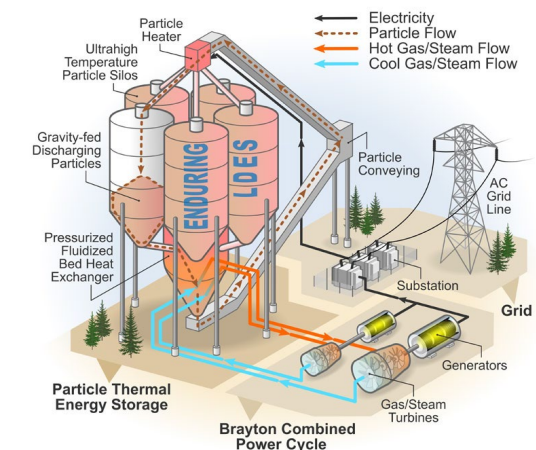
Zand is zeer goedkoop opslagmateriaal en kan tot ongeveer 1000°C verhit worden. Daarom is het zeer interessant voor hoge temperatuur warmteopslag.

- Om snelle responstijden te krijgen in combinatie met een zeer goede warmteoverdracht, wordt gekeken naar wervelbedden met zand.
- Bekende warmtetransportmedia in vloeibare vorm zijn verkrijgbaar tot 560°C (gesmolten nitraatzout). Vanwege hoge temperatuur stabiliteit, wordt boven die temperatuur typisch gas gebruikt voor warmtetransport, maar dat heeft een lage energiedichtheid, dus zijn grote volumestromen nodig. Een alternatief is het verpompen van zand als warmtetransportmedium.

Aandachtspunten zijn o.a. de slijtage door het bewegende zand.



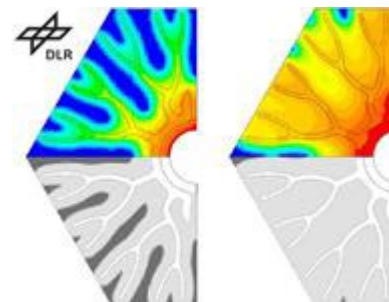
<https://www.magaldi.com/en/products-solutions/renewable-energy-storage-system-res>



<https://www.nrel.gov/news/program/2021/nrel-options-a-modular-cost-effective-build-anywhere-particle-thermal-energy-storage-technology.html>

› HOGE TEMPERATUUR PCM

Faseovergangsmaterialen (warmteopslag in een smelt) kunnen veel warmte opslaan in een klein temperatuurgebied. Dat maakt ze interessant voor bijvoorbeeld stoomopwekking, waar de verdamping immers ook gebeurt in een klein temperatuurgebied. De ontwikkeling hiervan richt zich op smelttemperaturen in de range van 150-300°C. Omdat iedere PCM zijn eigen smelttemperatuur heeft, zijn er verschillende materialen in ontwikkeling om deze temperatuurrange te dekken. Een aandachtspunt is de slechte warmtegeleiding in veel PCM materialen, waardoor veel aandacht nodig is voor verbetering van deze warmtegeleiding met thermisch geleidende fillers en geoptimaliseerde warmtewisselaarstructuren. Terwijl voor koeling en gebouwde omgevingstemperaturen commerciële PCMs beschikbaar zijn, is de markt voor hoge temperatuur PCM nog zeer beperkt.



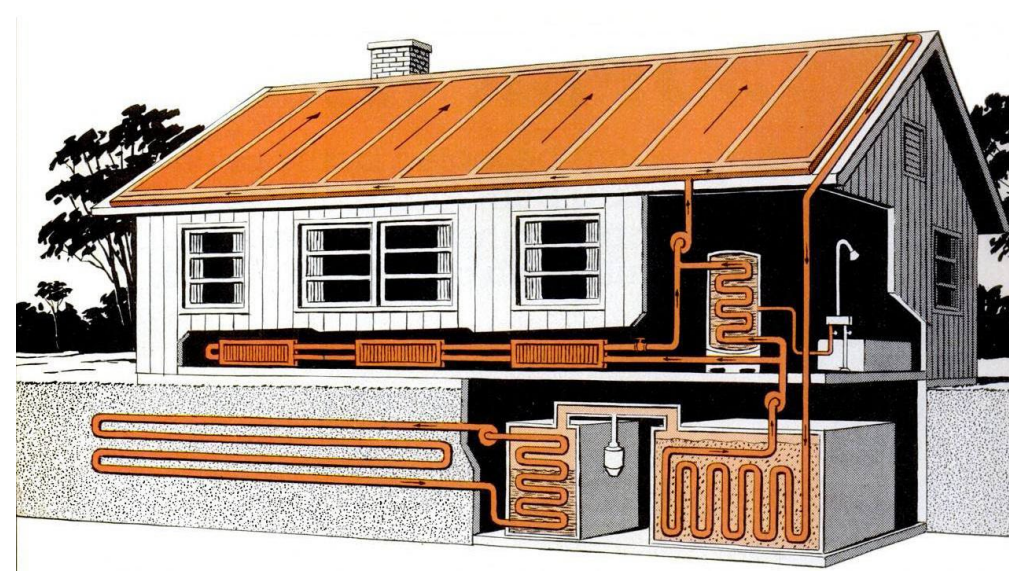
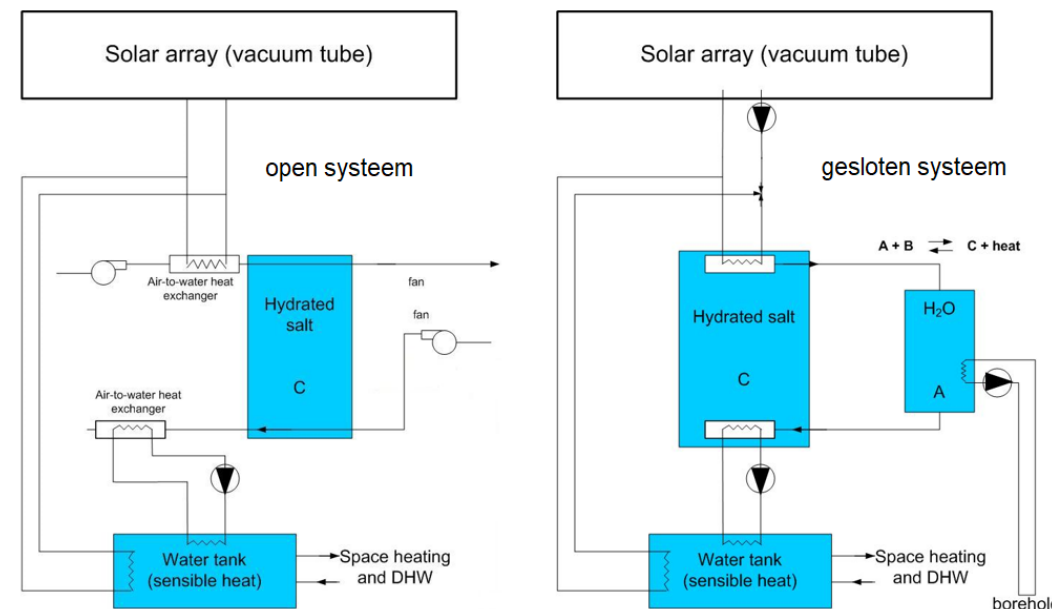
› THERMOCHEMISCHE OPSLAG (TCM) - ZOUTHYDRATEN

Thermochemische materialen slaan warmte op in een reactie, meestal in de vorm **Zout + waterdamp ⇌ Zouthydraat + warmte**.

Deze materialen kunnen zeer veel warmte opslaan, met als extra voordeel dat, doordat de warmte als potentiële chemische energie is opgeslagen, de warmte vrijwel verliesvrij bewaard kan worden. Dit maakt thermochemische warmteopslag interessant voor lange termijn opslag, zoals seizoensopslag. De meeste ontwikkeling in dit veld richt zich op reacties van bijvoorbeeld hygroscopische zouten of adsorptiematerialen (e.g. zeoliet) met waterdamp.

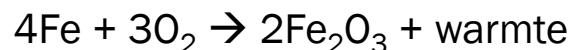
- In open systemen wordt waterdamp uitgewisseld met de omgeving, door bij opladen hete buitenlucht, of bij ontladen vochtige buitenlucht, door het bed te blazen met een ventilator.
- In gesloten systemen wordt alleen warmte met de omgeving uitgewisseld, die wordt gebruikt om in het systeem water te verdampen of condenseren. Deze systemen hebben geen energie nodig voor een ventilator, maar wel is essentieel dat geen inert gas in deze systemen aanwezig is, wat de dampstroom zou blokkeren en daarmee met vermogen verlaagt.

Aandachtspunt is om zouten te ontwikkelen die voldoende stabiel zijn, reacties in het goede temperatuurbereik met de goede energiedichtheid hebben en voldoende veilig en goedkoop zijn.



» THERMOCHEMISCHE OPSLAG – METAL FUELS

Metal Fuels (metaalbrandstof) zijn een bijzondere vorm van thermochemische warmteopslag, waarbij in plaats van een reactie met waterdamp, een reactie met zuurstof uit de lucht wordt gebruikt. Als metaal wordt typisch ijzerpoeder gebruikt, dat wordt ontladen via de reactie:

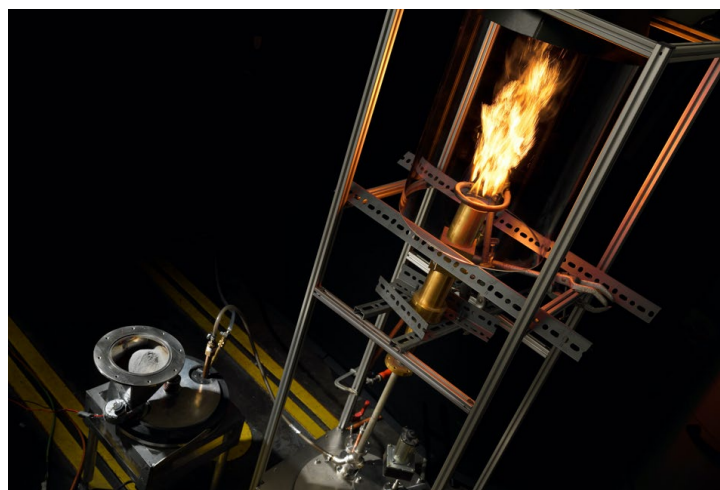
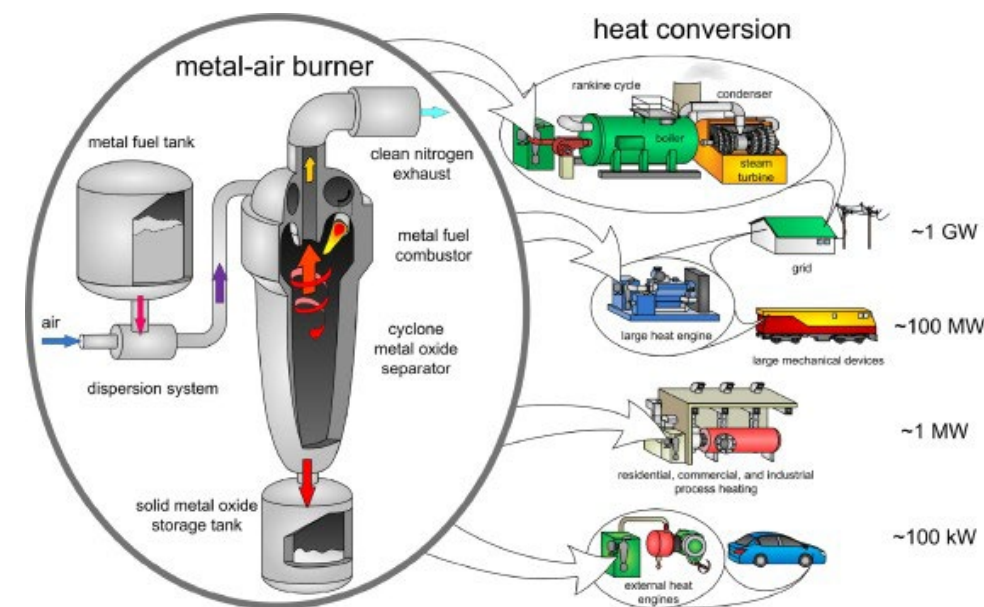


Omdat het zuurstof zeer sterk gebonden wordt aan het ijzerpoeder, is waterstof nodig om het materiaal weer te laden:



Bij de reactie met zuurstof komt zeer veel warmte vrij, zodat zelfs verbranding in vlamvorm mogelijk is (ook toegepast in vuurwerk). Dit zorgt ook voor een extreem hoge energiedichtheid.

Het voornaamste aandachtspunt van de technologie is in de complexe en dure regeneratie van het ijzeroxide terug naar ijzer, waarbij hoge temperatuur in combinatie met waterstof nodig is.



OVERZICHT WARMTEOPSLAG TECHNOLOGIE

warmteopslag	ATES	BTES	bodemopslag kuil	watervat drukloos	watervat op druk	beton	steen/ zand	gesmolten zout	thermische olie	LT PCM	HT PCM	TCM	zeoliet	metal fuel + H2
TRL (conventionele toepassing)	9	9	9	9	9	8	8	7	8	7	6	6	6	3
TRL (landbouw toepassing)	9	9	9	9	9	7	7	5	7	7	4	4	5	3
conventionele toepassing	stads- verwarming, kassen	stads- verwarming, kassen	stads- verwarming, kassen	gebouwde omgeving, kassen	stads- verwarming	CSP, Carnot batterijen	Carnot batterijen	CSP		ice bank koeling				
typisch vermogen (MW)	3	1			122	0,04	3	100		0,4				0,1
typische of maximale opslagcapaciteit (MWh)	2100	1000	2000	2000	2567	0,25	33	800		7				
Tmin (C)	5	5	5	20	20	20	20	200	20	-20	130	20	20	20
Tmax (C)	25	60	60	95	125	400	800	550	300	2	170	60	180	600
laden met warmtepomp	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja	Nee	Ja	Nee	Nee
effectieve dichtheid (kg/m3)	1900	1900	1900	1000	1000	1920	1485	1900	850	800	1360	936	800	3144
Cp (J/kg/K)	1400	1400	1400	4200	4200	920	750	1550	2000	4200	2000	2000	840	460
DH (kJ/kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	330	239	1260	733	5163
Cp*rho (MJ/m3/K)	2,7	2,7	2,7	4,2	4,2	1,8	1,1	2,9	1,7	3,4	2,7	1,9	0,7	1,4
DH*rho (MJ/m3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	264	325	1179	587	16231
maximale energie (MJ/m3)	53	146	146	315	441	671	869	1031	476	338	433	1254	694	17070
complexiteit	Zeer laag	Zeer laag	Laag	Laag	Medium	Medium	Medium	Hoog	Medium	Medium	Medium	Hoog	Hoog	Zeer hoog
Specifieke Capex kosten (euro/kWh)	Zeer laag	Zeer laag	Laag	Laag	Medium	Laag	Laag	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Hoog
bijzondere vereisten	goede bodem- condities; grootschalig systeem	goede bodem- condities	N	N	stoomdruk	N	N	trace heating	brand- veiligheid	lage geleiding	lage geleiding	N	N	electrolyser

De volumetrische energiedichtheid [J/m³] in een materiaal wordt gegeven door $\rho * (C_p * \Delta T + DH)$, waar ρ de dichtheid is [kg/m³], C_p de warmtecapaciteit [J/kgK], ΔT de temperatuur range [K] en DH de enthalpie [J/kg], zijnde de reactie enthalpie bij TCM of smeltenthalpie bij PCM.

De specifieke capex kosten [euro/kWh] worden aangegeven als zeer laag tot hoog. Als indicatie: www.bves.de geeft voor opslag in water 0.4-10 euro/kWh, in LT PCM 20-100 euro/kWh, in HT PCM 40-80 euro/kWh, gesmolten zout 25-70 euro/kWh en voor zeoliet 10-130 euro/kWh. Metal fuel systemen zijn door hun complexiteit vooral geschikt voor grootschalige toepassingen.

› LEVERANCIERS

	Leverancier/product	website	opmerkingen
ATES & BTES	IF Technology ; Geo Holland	https://iftechnology.nl/ ; https://www.geoholland.nl/	
Bodemopslag kuil/tank	Ecovat ; klimrek ; Hocosto	https://www.ecovat.eu/ ; http://www.klimrek.com ; https://hocosto.com/	
Watervat drukloos	Horconex ; Tematechniek ; TK-topboiler ; Redenko	https://www.horconex.com/ ; https://tematechniek.nl/ ; https://www.tk-topboiler.com/ ; https://www.redenko.nl	
Watervat op druk	<u>Lage druk</u> : tankworks <u>Hoge druk</u> : Spirax Sarco, Viessmann	https://www.tankworks.eu	
Beton	Energy NEST ; CESAR	https://energy-nest.com/ ; https://cesar-energystorage.com/	
Steen/zand	Siemens Gamesa ETES, Brenmiller, Storasol ORCTES/HTTES, Kraftblock, Eco-techCeram	www.siemensgamesa.com ; https://bren-energy.com/ ; https://storasol.com ; https://kraftblock.com ; https://ecotechceram.com/stockage-de-l-energie	
Gesmolten zout	Heatcube, Abengoa; Man Energy Solutions	https://www.kyoto.group/ ; https://www.abengoa.com ; https://www.man-es.com	
Thermische olie	Dow (e.g. dowtherm) ; Duratherm; AB & Co	https://www.dow.com/ ; https://durathermfluids.com ; https://abco.dk/	Dow en Duratherm zijn thermische olie leveranciers
LT PCM	Rubitherm, pcmproducts	https://www.rubitherm.eu/ ; https://www.pcmproducts.net/	PCM materiaal leveranciers

› VERANTWOORDING

Dit overzicht van warmteopslagtechnologie is gebaseerd op de aanwezige ervaring binnen TNO, waar nodig aangevuld met extra literatuuronderzoek.

- <https://www.bves.de/technologie-energiespeicher>
- <https://heat-integration-platform.ispt.eu/heat-buffer-and-storage>
- <https://www.vattenfall.nl/duurzame-energie/stadswarmte/stadsverwarming-uit-een-thermoskan/>
- Bauer et al (2021), Molten Salt Storage for Power Generation; <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cite.202000137>
- <https://www.man-es.com/energy-storage/solutions/energy-storage/mosas>
- Hoivik et al. (2017), Demonstration of EnergyNest thermal energy storage (TES) technology; <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4984432>
- Eck (2012), Thermal Storage for STE Plants, 3rd SFERA Summer School, Almería, June 27-28 2012, https://sfera.sollab.eu/downloads/Schools/Markus_Eck_Presentation.pdf
- <https://iftechnology.nl/kennisbank/>
- Bine (2001), Langzeit-Wärmespeicher und solare Nahwärme, <https://api.deutsche-digitale-bibliothek.de/binary/24699bcd-a983-40fd-86d9-1cb5dda7a8d2.pdf>

› ONDERTEKENING

Energy Transition
Westerduinweg 3
1755 LE Petten
P.O. Box 15
1755 ZG Petten
The Netherlands

www.tno.nl

T +31 88 866 50 65

S. van Loo
Research Manager

H.A. Zondag
Author

All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced and/or published by print, photoprint, microfilm or any other means without the previous written consent of TNO. In case this report was drafted on instructions, the rights and obligations of contracting parties are subject to either the General Terms and Conditions for commissions to TNO, or the relevant agreement concluded between the contracting parties. Submitting the report for inspection to parties who have a direct interest is permitted.

© 2022 TNO



› **BEDANKT VOOR
UW AANDACHT**

TNO innovation
for life