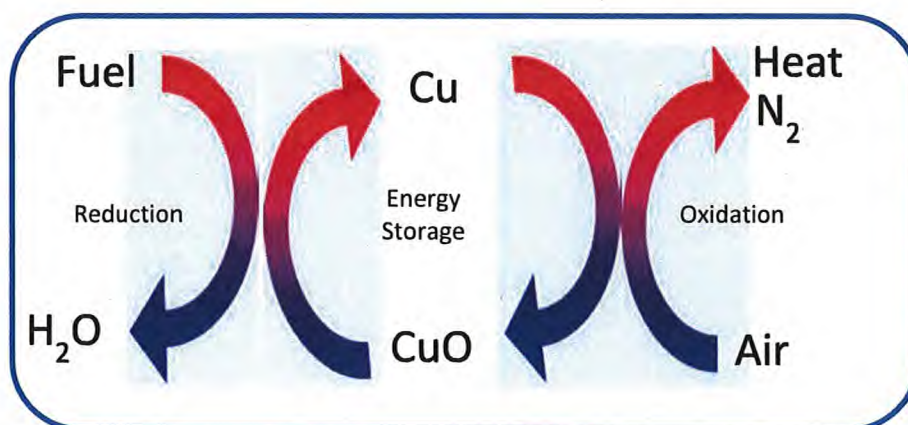


**RIJKSDIENST VOOR ONDERNEMEND
NEDERLAND**

**Kaderbesluit EZ-Subsidies
Subsidieregeling Energie en Innovatie: EnerGO
RVO-referentie – TEID215041**

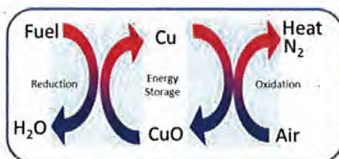


COMPAS2

COMPact energy storage by Alternative Storage 2

Het project wordt uitgevoerd met Topsector Energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken.

Deliverable No.	COMPAS2	
Deliverable Title	Openbaar Eindrapport	
Written By	Peter van Os (TNO) Ruud Cuypers (TNO) Leon Geers (TNO)	
Issue date	23-01-2019	
Publication date	31-03-2019	



Naam

COMPAS2- OPENBAAR EINDRAPPORT -

FINAL.DOCX

Datum

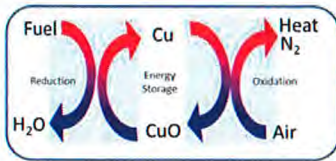
2019/01/23

Pagina

3/11

Inhoud

1	PROJECT GEGEVENS	4
1.1	CONTACTPERSOON.....	4
2	INTRODUCTION	5
3	PROJECT DOELSTELLINGEN	7
4	PROJECT RESULTATEN	8
5	BIJDRAGE AAN DE DOELSTELLINGEN VAN DE REGELING	10
6	SPIN-OFF	11
6.1	PUBLICATIES.....	11



Naam

COMPAS2- OPENBAAR EINDRAPPORT -

FINAL.DOCX

2019/01/23

4/11

Datum

Pagina

1 Project gegevens

Project nummer	TEID215041
Project titel	COMPact energy storage by Alternative Storage 2
Consortium	TNO (coordinator) and RTB De Beijer (partner)
Project periode	1 januari 2016 tot 1 januari 2019 (met 1 jaar verlengd)

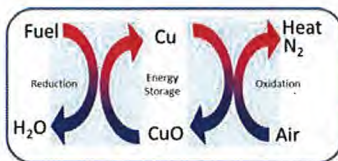
1.1 Contactpersoon

Peter van Os
 Senior Project Manager
 Sustainable Process & Energy Systems

TNO innovation
for life

T +31 88 866 64 25
 M +31 6 512 999 74
 E peter.vanos@tno.nl

Leeghwaterstraat 44
 2628 CA Delft
 PO Box 6012
 2600 JA Delft
 The Netherlands



Naam
Datum
Pagina

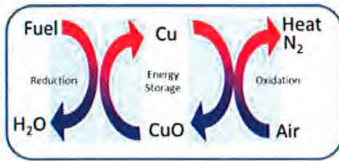
COMPAS2- OPENBAAR EINDRAPPORT -
FINAL.DOCX
2019/01/23
5/11

2 Introductie

De focus van COMPAS2 ligt op de ontwikkeling van een nieuw energieopslagsysteem met een hoge opslagdichtheid, gebaseerd op het gebruik van redoxreacties bij lage temperatuur. In tegenstelling tot meer conventionele systemen zoals phase change materials (PCM's) of thermochemische opslagsystemen (TCS's) met opslagdichtheden tot 200 kWh/m³ (0,72 GJ/m³) voor PCMS en 1000 kWh/m³ (3,6 GJ/m³) voor TCS's, wordt verwacht dat nieuwe CLC-systemen opslagdichtheden hebben van meer dan 6 GJ/m³.

In COMPAS2 is de CLC-technologie toegepast voor thermische energieopslag. Het project bouwt voort op de kennis die is verkregen in het eerder uitgevoerde COMPAS-project. Met de CLC-technologie wordt de verbrandingsreactie in twee stappen uitgevoerd, zodanig dat de voor verbranding benodigde lucht en brandstof elkaar nooit tegenkomen. Hierdoor worden de veiligheidsrisico's die inherent zijn aan compacte energieopslag, verminderd. Metaaldeeltjes in de reactor worden cyclisch geoxideerd en gereduceerd waarbij zuurstof uit de lucht opgenomen wordt (oxidatiestap) en vervolgens wordt gebruikt om een toegevoerde brandstof te verbranden (reductiestap). Voor COMPAS2 is de brandstof waterstof en het gekozen metaal is koper. Deze selectie heeft plaatsgevonden in het eerder COMPAS-project, waar veel experimenten zijn verricht om de prestaties van verschillende materialen in kaart te brengen. Tijdens de oxidatie is de reactie van de lucht met de koperdeeltjes zeer exotherm, waardoor een aanzienlijke hoeveelheid warmte wordt geproduceerd. Deze warmte kan worden gebruikt voor energieopwekking maar ook voor verwarming van het huis of de productie van warm water. Tijdens de reductie met waterstof wordt water geproduceerd.

De toepassing van CLC voor energieopslag is, voor zover bekend bij het consortium, nergens anders ontwikkeld waardoor het een nieuwe toepassing is van een veelbelovende technologie. Het concept van deze innovatie is hieronder weergegeven.

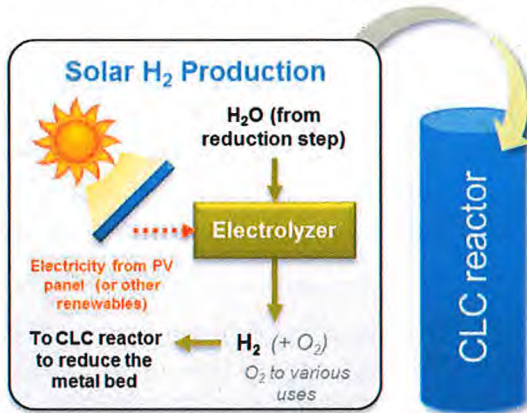


Naam

Datum
Pagina

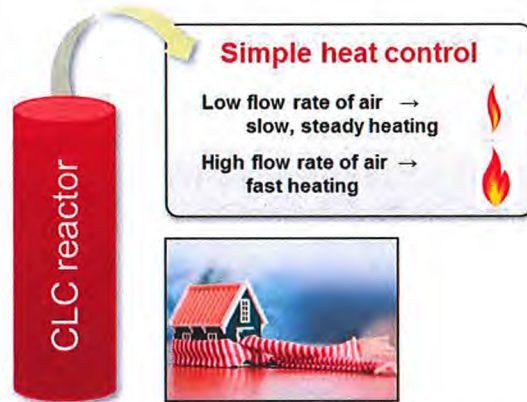
COMPAS2- OPENBAAR EINDRAPPORT -
FINAL.DOCX
2019/01/23
6/11

Energy storage



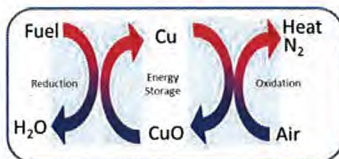
Bed reduction: Solar energy from summer is stored as chemical energy, without losses, until the heat is needed

Heat supply



Bed oxidation: Running air through the reactor oxidizes the bed and provides heat all winter long

Concept van Chemical Looping Combustion (CLC) voor thermische energie opslag, gebruik makend van PV electriciteit.



Naam

COMPAS2- OPENBAAR EINDRAPPORT -

FINAL.DOCX

Datum

2019/01/23

Pagina

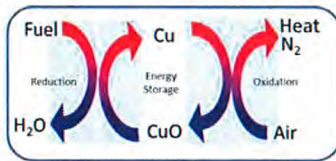
7/11

3 Project doelstellingen

Het project is gebaseerd op de resultaten van het eerste COMPAS-project, dat in oktober 2015 is afgerond, en is de volgende fase in de ontwikkeling van een compacte thermische opslageenheid voor de gebouwde omgeving. De doelstelling van de COMPAS-technologie is om een kosteneffectief systeem voor energieopslag te realiseren dat:

- Compact is en toepasbaar voor bestaande en nieuwe gebouwen, met opslagdichtheden tot 6 GJ/m³;
- Werkt op basis van het chemical looping verbrandingsprincipe (dit principe is al toegepast op andere gebieden, zoals CO₂-afvang, maar nog niet in energieopslag);
- Een oplossing biedt om overtollige elektriciteit op te slaan die lokaal of vanuit het elektriciteitsnet beschikbaar is;
- Flexibel is qua ontwerp en cyclustijd, zodat vermogen en capaciteit gemakkelijk en onafhankelijk kunnen worden bepaald, waardoor opslag voor verschillende toepassingen mogelijk is;
- Geschikt is voor bestaande woningen maar bijvoorbeeld ook voor appartementsgebouwen, flats of (gedeelten van) wijken.

Daarnaast is nog een meer fundamenteel onderzoek uitgevoerd naar een nieuwe technologie waarbij waterstof geproduceerd wordt door stoom te gebruiken om een reactor bed te oxideren. Dit kan als goedkope vervanger dienen voor de (dure) elektrolyzer in het systeem.



Naam

COMPAS2- OPENBAAR EINDRAPPORT -

FINAL.DOCX

Datum

2019/01/23

Pagina

8/11

4 Project resultaten

Het project is gestart met het experimentele werk. Tijdens de ontwerpfase van de opgeschaalde reactor, bleek dat bij waterstof in combinatie met hoge concentraties en temperatuur het risico van embrittlement kan optreden. Dit verhoogt het risico van mechanisch falen van de reactor. Op basis hiervan heeft het ontwerpteam besloten om voor de experimentele fase voor een keramische (glas) reactor te gaan.

Er werd aangetoond dat redoxreacties met 100% waterstof mogelijk zijn. Daarnaast werd een operationeel proces voor een zichzelf in standhoudende reactie onderzocht. Hoewel formeel geen zelfonderhoudende reactie kon worden aangetoond, zijn de vastgestelde initiële temperatuur-profielen, (maximale) temperatuurstijgingen, typische tijdschalen en koperomzettingen belangrijke indicatoren die kunnen worden gebruikt voor de validatie van numerieke simulatiemodellen van de reactor. Dergelijke gevalideerde modellen die ook in dit project ontwikkeld zijn, zijn essentieel voor verdere opschaling en optimalisatie van het volledige systeem.

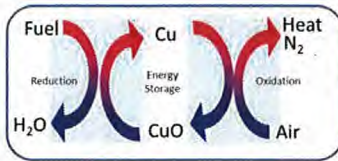
In het modeleringswerk zijn systeemmodellen gemaakt om scenario's voor schaalvergroting te berekenen. Deze modellen bleken goed bruikbaar om het effect van procesparameters op de opslagcapaciteit en het vermogen van de CLC-reactor te onderzoeken. De ontwikkelde modellen zijn ook gebruikt om methoden te ontwikkelen om de warmte op een efficiënte manier uit de reactor te krijgen en beschikbaar te maken.

Er is een ontwerp gemaakt voor de opschaling van het systeem. In dit ontwerp was de energiedichtheid van de reactor 1,9 GJ/m³, ruim boven 1 GJ/m³, maar wanneer de ruimtebenutting van dit specifieke ontwerp in overweging wordt genomen, is de energiedichtheid veel lager, ongeveer 0,08 GJ/m³. Hierin is aanzienlijke verbetering mogelijk door compacter en op grotere schaal te bouwen. Doordat 100% waterstof gebruikt wordt is het wel noodzakelijk om de nodige aandacht aan de veiligheid van het ontwerp te besteden.

Het onderzoek van TNO naar het op stoom gebaseerde principe voor H₂-opslag heeft opgeleverd dat het mogelijk is om een redox cyclus uit te voeren met waterstof productie en opslag. De resultaten zijn vergeleken met andere opslagmethoden en tonen aan dat dit een veelbelovende nieuwe technologie is voor energieopslag (elektriciteit, warmte, waterstof).

Gedurende het project is een (ongeplande) overstap gemaakt naar een keramische reactor om de experimenten op een veilige manier uit te kunnen voeren. Dit heeft geresulteerd in een vertraging in de looptijd van het project en extra inspanningen om de installatie op gang te krijgen.

De experimenten zelf hebben aangetoond dat met deze opstelling een energiedichtheid voor de reactor werd bereikt van 1,9 GJ/m³. Dit is aanzienlijk lager dan het theoretische maximum van 6 GJ/m³, maar TNO denkt dat verdere verbeteringen mogelijk zijn met een toename van de hoeveelheid koper in het redox-materiaal en andere procesverbeteringen.



Naam

COMPAS2- OPENBAAR EINDRAPPORT -

FINAL.DOCX

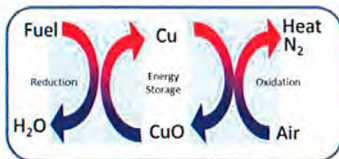
Datum

2019/01/23

Pagina

9/11

Hoewel niet alle doelstellingen van het project volledig zijn bereikt, zijn belangrijke stappen gezet in de ontwikkeling van CLC-applicaties voor de gebouwde omgeving. Er zijn nog technologische hiaten die opgelost moeten worden. Deze worden geadresseerd in een Horizon2020 vervolgpriject dat vorig jaar is gestart, gecoördineerd door TNO. De eerste resultaten van deze opgeschaalde technologie (veel groter dan COMPAS 2) zijn veelbelovend.



Naam

COMPAS2- OPENBAAR EINDRAPPORT -

FINAL.DOCX

Datum

2019/01/23

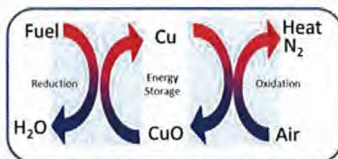
Pagina

10/11

5 Bijdrage aan de doelstellingen van de regeling

Het project draagt bij aan de doelstellingen van de iDEEGO programma lijn 'Compacte conversie en opslag van thermische energie' zoals hieronder weergegeven:

Programma lijn	Doelstellingen	COMPAS 2 bijdrage
Compacte conversie en opslag van thermische energie	<p>Het realiseren van componenten en systemen voor duurzame thermische energie (warmte en/of koude) conversie naar warmte- en warmteopslag gericht op:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maximaal gebruik van duurzame thermische en elektrische energie; • Gebruik van pieken in de elektriciteitsvoorziening door tijdelijke opslag als warmte of koude met het oog op later gebruik voor verwarming of koeling; • De bestaande bouw en nieuwbouw. 	<p>De COMPAS-technologie, gebaseerd op Chemical Looping Combustion (CLC), is gericht op het lokaal opslaan van overtollige elektrische energie als warmte voor later gebruik.</p> <p>Een hoge mate van flexibiliteit maakt de technologie toepasbaar voor zowel de bestaande bouwvoorraad als nieuwbouw. Verschillende scenario's zijn onderzocht en kunnen worden gekozen afhankelijk van de verwarmingsbehoefte van het gebouw, zoals dagelijkse versus seizoensgebonden opslag.</p> <p>Het CLC-principe is zodanig dat de energie chemisch wordt opgeslagen en dat er geen verliezen optreden, zelfs niet tijdens seizoensgebonden toepassing. Wanneer de reactorvulling gebaseerd is op koper, zijn voor de energiedragers dichtheden van 2,93 GJ/m³ bewezen en wordt verwacht dat ze kunnen worden verhoogd tot 6 GJ/m³.</p> <p>In dit project is de bereikte opslagdichtheid van de reactor 1,9 GJ/m³. Gegeven de energieopslagdichtheid van water (0,3 GJ/m³), hebben we met de huidige COMPAS-technologie al een factor 6 te pakken, met ruimte voor verbetering, wat bewijst dat compacte opslag mogelijk is.</p>



Naam

COMPAS2- OPENBAAR EINDRAPPORT -

FINAL.DOCX

Datum

2019/01/23

Pagina

11/11

6 Spin-off

De resultaten van dit project zijn gebruikt om een Europees H2020 project op te zetten met industriële en onderzoekspartijen uit verschillende landen die in de technologie geïnteresseerd zijn. Dit project is in 2018 gegund aan het consortium dat wordt geleid door TNO. Het project heet SCORES en details zijn te vinden op: <http://www.scores-project.eu/>.

6.1 Publicaties

Er zijn nog geen resultaten publiek gemaakt.