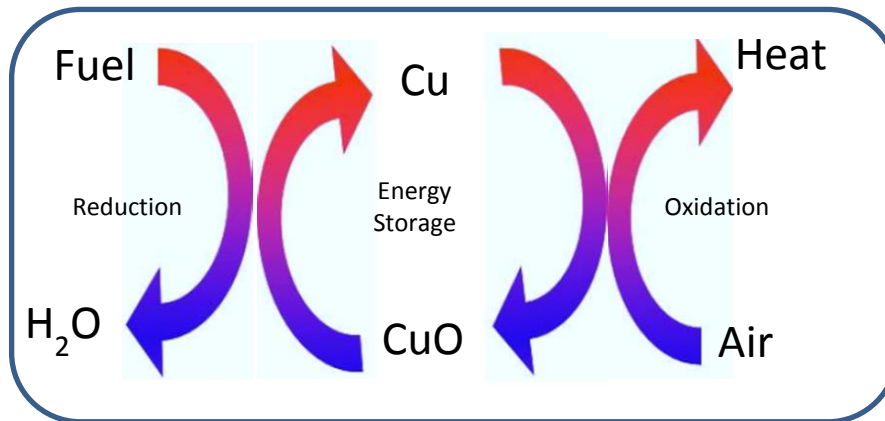


**RIJKSDIENST VOOR ONDERNEMEND  
NEDERLAND**

**Kaderbesluit EZ-Subsidies  
Subsidieregeling Energie en Innovatie: EnerGO  
RVO-referentie – TEGB113025**

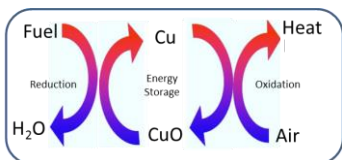


# COMPAS

**COMPact energy storage by Alternative Storage**

Projectuitvoering door TNO en De Beijer RTB BV  
Contact: Peter van Os, TNO, [✉ peter.vanos@tno.nl](mailto:peter.vanos@tno.nl), [📞 +31 6 512 999 74](tel:+31651299974)

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische zaken, voor het TKI EnerGO uitgevoerd door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

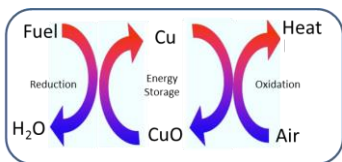


---

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>UITGANGSPUNTEN EN DOELSTELLING .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>PROJECT RESULTATEN .....</b>	<b>6</b>
2.1	MATERIAAL TESTEN.....	6
2.2	MODELLERING .....	7
2.3	TECHNISCH-ECONOMISCHE ASSESSMENT .....	7
<b>3</b>	<b>CONCLUSIES .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>AANBEVELINGEN .....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>BIJDRAGEN VAN HET PROJECT AAN DE REGELING .....</b>	<b>10</b>

---



## 1 Uitgangspunten en doelstelling

De energiehuishouding in de gebouwde omgeving bestaat uit verwarming, elektriciteit en eventueel koeling. Voor bestaande bouw wordt de meeste energie gebruikt voor verwarming en warm water voorziening. Uiteraard helpt woningisolatie om de energievraag te verlagen (zie Energieakkoord), maar, zeker voor de bestaande bouw, blijft er nog een aanzienlijke energiebehoefte nodig. Iets minder dan de helft van de bebouwing in Nederland stamt nog van voor 1970. De energievraag voor een gemiddeld huis is ongeveer 47 GJ/jaar waarvan ruwweg 80% nodig is voor de verwarming.

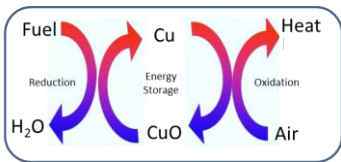
Naast de pure energiebehoefte zoals hierboven beschreven neemt ook het gebruik van duurzame (zonne-)energie toe waardoor er behoefte ontstaat om energie gedurende langere tijd op te slaan. Deze energieopslag behoefte wordt nog versterkt door het feit dat de beschikbaarheid van duurzame energie (voor zonnepanelen vooral in de zomer) vaak niet past bij de energievraag (verwarming in de winter). De verduurzaming van energie neemt alleen maar toe, daarom is een compacte en kosteneffectieve vorm van warmteopslag nodig, in het bijzonder voor de bestaande bouw.

Grootschalige opslag van warmte wordt voornamelijk gedaan in ondergrondse aquifers. Andere manieren om warmte op te slaan is thermochemische opslag of opslag in PCM (phase change materials) die in bouwcomponenten geïntegreerd worden, maar deze technologieën bevinden zich nog in de R&D fase. Met deze technologieën lijken energiedichtheden van ongeveer 1 GJ/m<sup>3</sup> realiseerbaar. Dit is ongeveer 5 keer zoveel als bijvoorbeeld een warm water boiler. Dit lijkt een aantrekkelijk optie voor toekomstige gebouwen echter, voor de bestaande bouw is een compactere mogelijkheid voor energieopslag nodig, zelfs compacter dan thermochemische opslagmogelijkheden. Een opslagtechnologie met een zeer hoge opslagdichtheid kan gerealiseerd worden met CLC (Chemical Looping Combustion). Met deze technologie zijn opslag dichtheden tot 6 GJ/m<sup>3</sup> realiseerbaar (zie de overzichtstabel hieronder)

	PMC	Thermochemische opslag	Batterijen	COMPAS opslag (CLC)
Opslag dichtheid	< 0.3 GJ/m <sup>3</sup>	~ 1 GJ/m <sup>3</sup>	~ 1 GJ/m <sup>3</sup>	> 6 GJ/m <sup>3</sup>
Opslag duur	day - year	day - year	minutes - month	day - year
Opslag type	Thermal	Thermal	Electrical	Electrical to thermal
Efficientie	~ 90%	~ 90 %	70 %	70 %

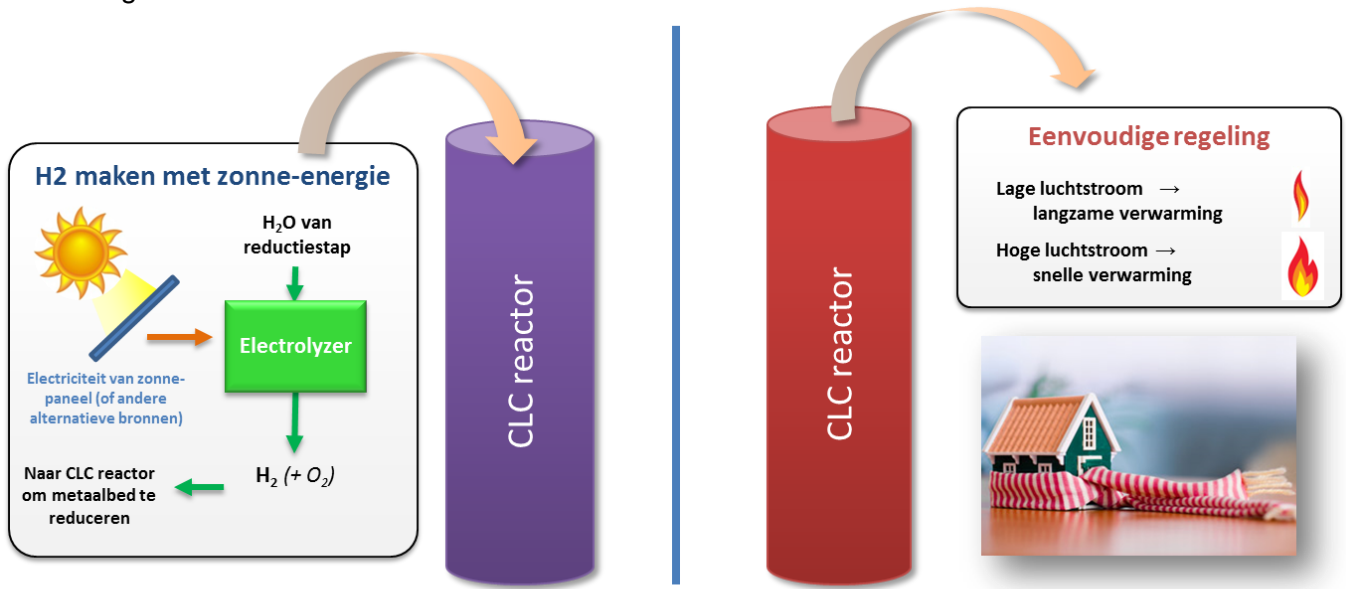
In het COMPAS project wordt voor het eerst de technologie van CLC toegepast voor energieopslag. De technologie is bekend en is recent ontwikkeld voor het afvangen van CO<sub>2</sub> uit de rookgassen van CO<sub>2</sub> emitters zoals energiecentrales. In het verleden is ook gekeken naar een toepassing om CO<sub>2</sub> te maken ten behoeve van de tuinbouw.

Chemical Looping Combustion is een nieuwe technologie om brandstof te gebruiken voor het achtereenvolgens oxideren en reduceren van een metaalbed. Door deze twee cyclische stappen komen de lucht en de brandstof voor de “verbranding” nooit met elkaar in contact, waardoor de



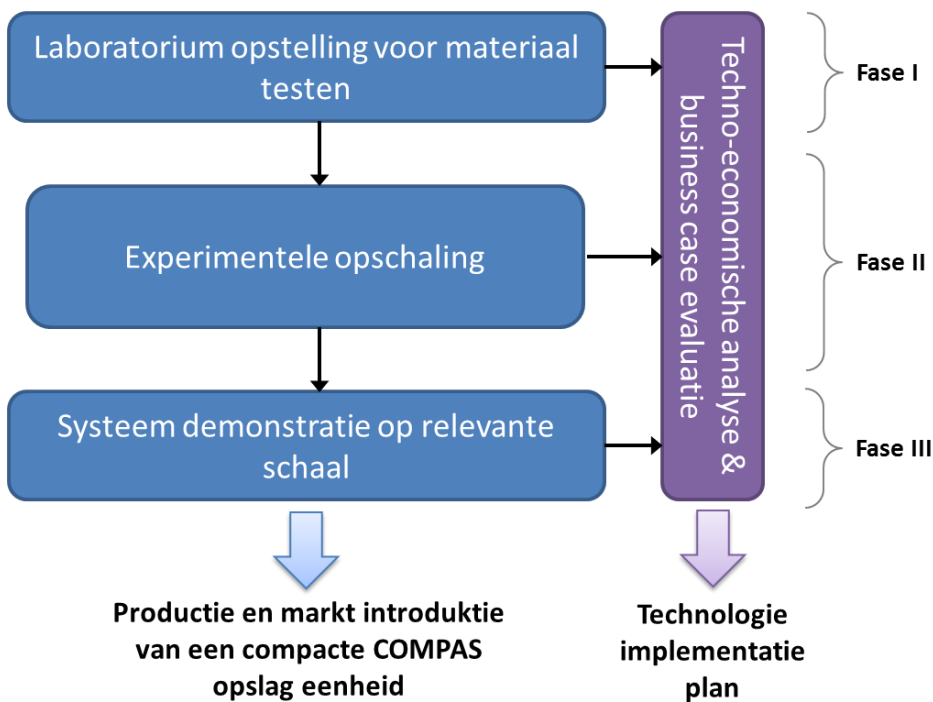
scheiding van CO<sub>2</sub> inherent is. Zowel de oxidatie als de reductiestap zijn exotherm; er ontstaat warmte (bij oxideren meer als bij reduceren).

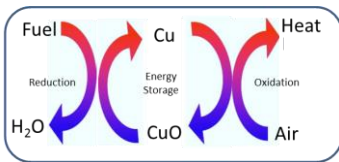
Door de twee aparte en ontkoppelde processtappen kun je de oxidatie en reductie op elk moment stoppen en dit geeft de mogelijkheid om de technologie in te zetten in een nieuw toepassingsgebied: Energieopslag. Het concept hiervoor is weergegeven in de onderstaande afbeelding.



Zonne-energie gedurende de zomer wordt opgeslagen als chemische energie voor in de winter

Het totaal project is opgedeeld in 3 fasen:



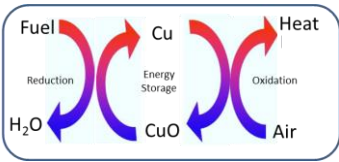


---

Het is de doelstelling van deze eerste fase om experimenteel te onderzoeken welke materialen het meest geschikt zijn om CLC voor energie opslag mogelijk te maken en, ondersteund door modelleren, na te gaan of een dergelijk systeem ook kan wedijveren met andere technologieën.

In volgende projectfasen zullen we dan de opschaling en marktintroductie verder vorm geven.

---



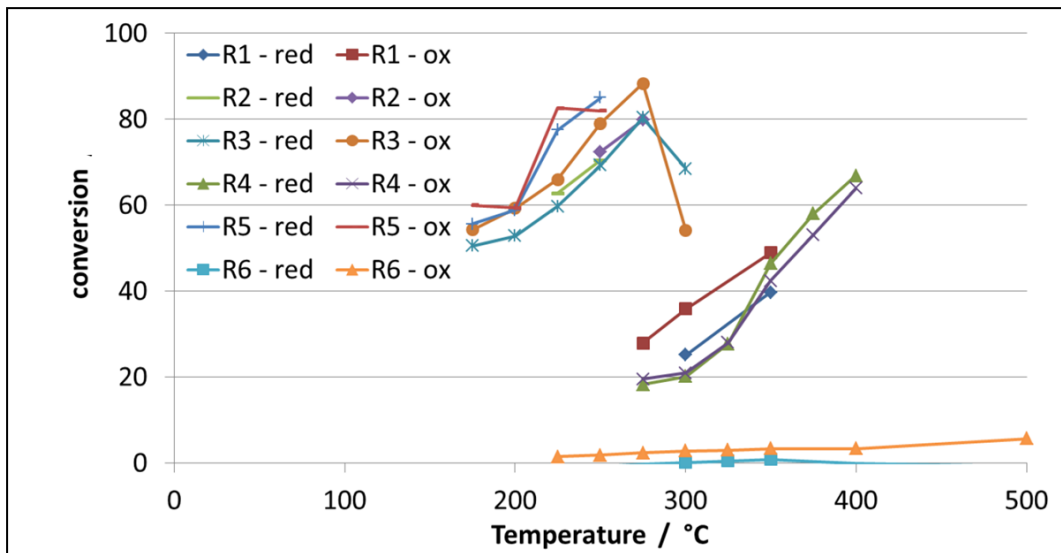
## 2 Project resultaten

### 2.1 Materiaal testen

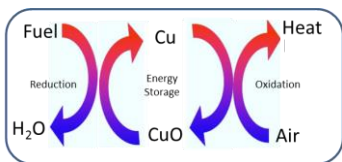
De experimenten voor het testen van materiaal zijn uitgevoerd met een 10W reactor in een opstelling met een oven bij TNO. De materialen met de meest gunstige eigenschappen zijn ook getest op een 10 keer grote schaal. Zie de opstelling met reactoren hieronder.



Een belangrijke parameter is het conversie percentage in relatie tot de temperatuur. Een overzicht van verschillende materialen staat hieronder.



De resultaten tonen aan dat energiedichtheden boven de 6 GJ/m<sup>3</sup> mogelijk zijn.



## 2.2 Modelling

Voor het modeleren zijn twee typen modellen ontwikkeld en gebruikt:

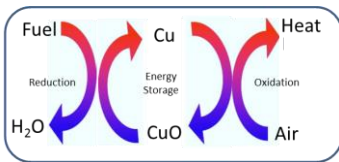
Er is een model geïmplementeerd MatLAB. Hierin worden de interne reacties gemodelleerd inclusief de ontwikkeling van het warmte front in de reactor. Het model is ook gebruikt om de condities voor het starten van de reactie de onderzoeken omdat we dachten dat hiervoor veel energie nodig zou zijn. Dat bleek gelukkig mee te vallen.

Een tweede model is gemaakt in Excel en is gebruikt om een systeem ontwerp te maken. In het model kan gevarieerd worden met allerlei systeem parameters om het ontwerp te optimaliseren. Zo is het mogelijk om het materiaal te kiezen, de werktemperatuur te wijzigen en kan het aantal modules veranderd worden. Het model is onder andere gebruikt om een technisch economische analyse uit te voeren.

## 2.3 Technisch-Economische assessment

De resultaten van de experimenten en de modellering zijn gebruikt om een technisch-economische analyse uit te voeren. Uit de tabel hieronder blijkt dat, speciaal op hogere temperaturen COMPAS zeker kan concurreren met andere wijzen van energieopslag.

	CLC at 400 °C	CLC at 700 °C	Li-ion battery (Tesla)	Thermochemical storage
Volume requirement	0.6 m <sup>3</sup> per GJ on material level + 1 m <sup>3</sup> for the electrolyzer	0.3 m <sup>3</sup> per GJ on material level + 1 m <sup>3</sup> for the electrolyzer	5.56 m <sup>3</sup> per GJ	0.37 m <sup>3</sup> per GJ on material level 2 m <sup>3</sup> per GJ, including the evaporator and condenser
Storage duration	Day - year	Day - year	Minutes - month	Day - year
Storage	Electrical to thermal	Electrical to thermal	Electrical	Thermal
Cost per GJ (€)	8,500	5,400	88,000	9,000

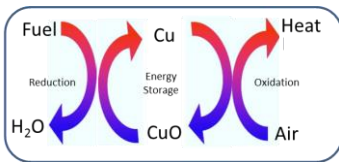


---

### 3 Conclusies

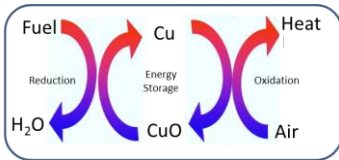
- Het COMPAS system voor energieopslag is concurrerent met andere principes van CLC opslag.
  - Het is flexibel en goed schaalbaar zodat het toepassingsgebied groot is.
  - Het COMPAS systeem is eenvoudig aan en uit te zetten en het materiaal in de reactor degenereert niet.
  - Er wordt nu waterstof gebruikt voor de reductie. Dit is een belangrijke kostenfactor van het systeem. In een volgende fase moet nader onderzocht worden hoe deze kosten geminimaliseerd kunnen worden.
  - Simulaties hebben aangetoond dat slechts weinig energie nodig is om de reactor te "ontsteken".
-





## 4 Aanbevelingen

- Het systeem moet in een volgende fase opgeschaald worden naar een stand-alone demonstratie systeem.
  - Op basis van metingen aan dit systeem, in combinatie met een uitbereiding van de in fase 1 ontwikkelde modellen, kan de verdere opschaling geanalyseerd worden in relatie met de technisch-economische evaluatie en een business case analyse.
-



---

## 5 Bijdragen van het project aan de regeling

- De bijdrage aan de duurzaamheid en maatschappelijke relevantie is voor dit project uitstekend omdat het leidt tot een substantiële verlaging van het energieverbruik en omdat het kan worden toegepast in zowel bestaande woningen en nieuwbouw (in Nederland en in het buitenland)
  - Het project biedt mogelijkheden voor de Nederlands industrie. De technologie is goed schaalbaar en is mogelijk ook interessant voor de industrie.
  - Op dit moment zijn er nog geen publicaties specifiek op het gebied van CLC voor de gebouwde omgeving.
-