



Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt

# Ein Beitrag zur Energiewende: Wasserstoffgewinnung aus Solarenergie

Teil1: Vom Chemielabor auf den Solarturm, die Projekte  
ASTOR und HYDROSOL

Dr. Thomas Fend

Wissenschaft im Rathaus 27.3.2023

# Forschungszentrum + Raumfahrtagentur + Projektträger

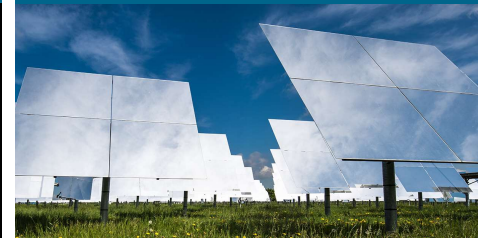
LUFTFAHRT



RAUMFAHRT



ENERGIE



VERKEHR



SICHERHEIT

zivile & wehrtechnische Sicherheitsforschung

DIGITALISIERUNG

Quantentechnologien & Systemmodellierung

- Größtes Forschungszentrum Europas für Luftfahrt und Raumfahrt
- Mehr als 10000 Mitarbeiter, dezentrale Organisation (30 Standorte, 55 Institute)
- Enge Zusammenarbeit mit Wissenschaft, Wirtschaft und Industrie
- Projektförderung u.a. durch Bundes- und Landesministerien, die EU, die Industrie u.a.

# Institut für Future Fuels

## Entwicklung alternativer Kraftstoffe

Technologieentwicklung zur effizienten und wirtschaftlichen Produktion von Energieträgern für eine globale, erneuerbare Energiewirtschaft

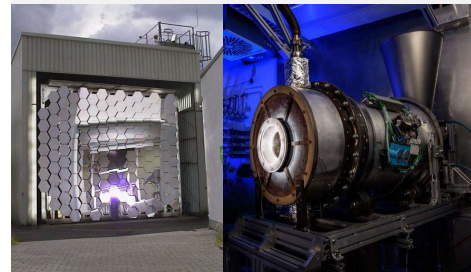
### Solarchemische Verfahren



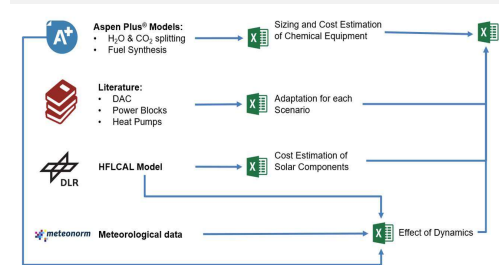
### Material- und Komponentendesign



### Demonstration



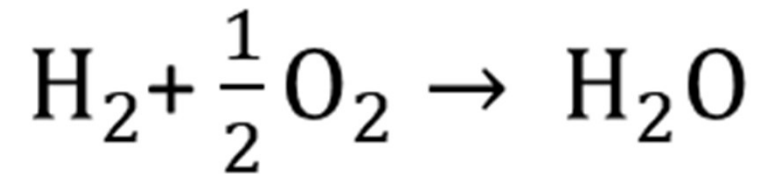
### Bewertung



- Standorte: Jülich und Köln, Aufwuchs auf 120 Beschäftigte
- Unterstützung des Strukturwandels im Rheinischen Revier
- Beiträge zur Dekarbonisierung von Energie, Luftfahrt und Verkehr
- Infrastruktur und Großanlagen für Prozessentwicklung

## Warum (grüner) Wasserstoff?

- Vielfältige Anwendungen
- **umweltfreundlich**



Verbrennungsprodukt:  
reines Wasser

- keine Partikel
- kein CO
- kein NOx

## Warum (grüner) Wasserstoff?

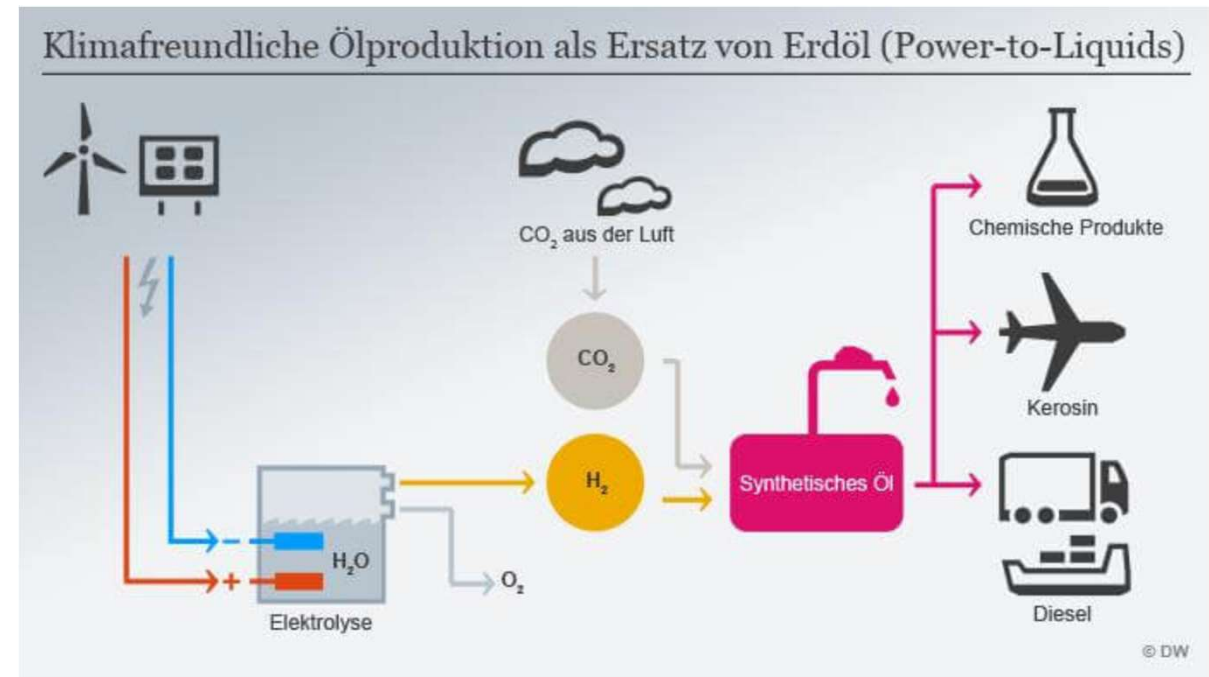
- Vielfältige Anwendungen
- umweltfreundlich
- **leicht, sehr hoher Brennwert (39 kWh/kg)**



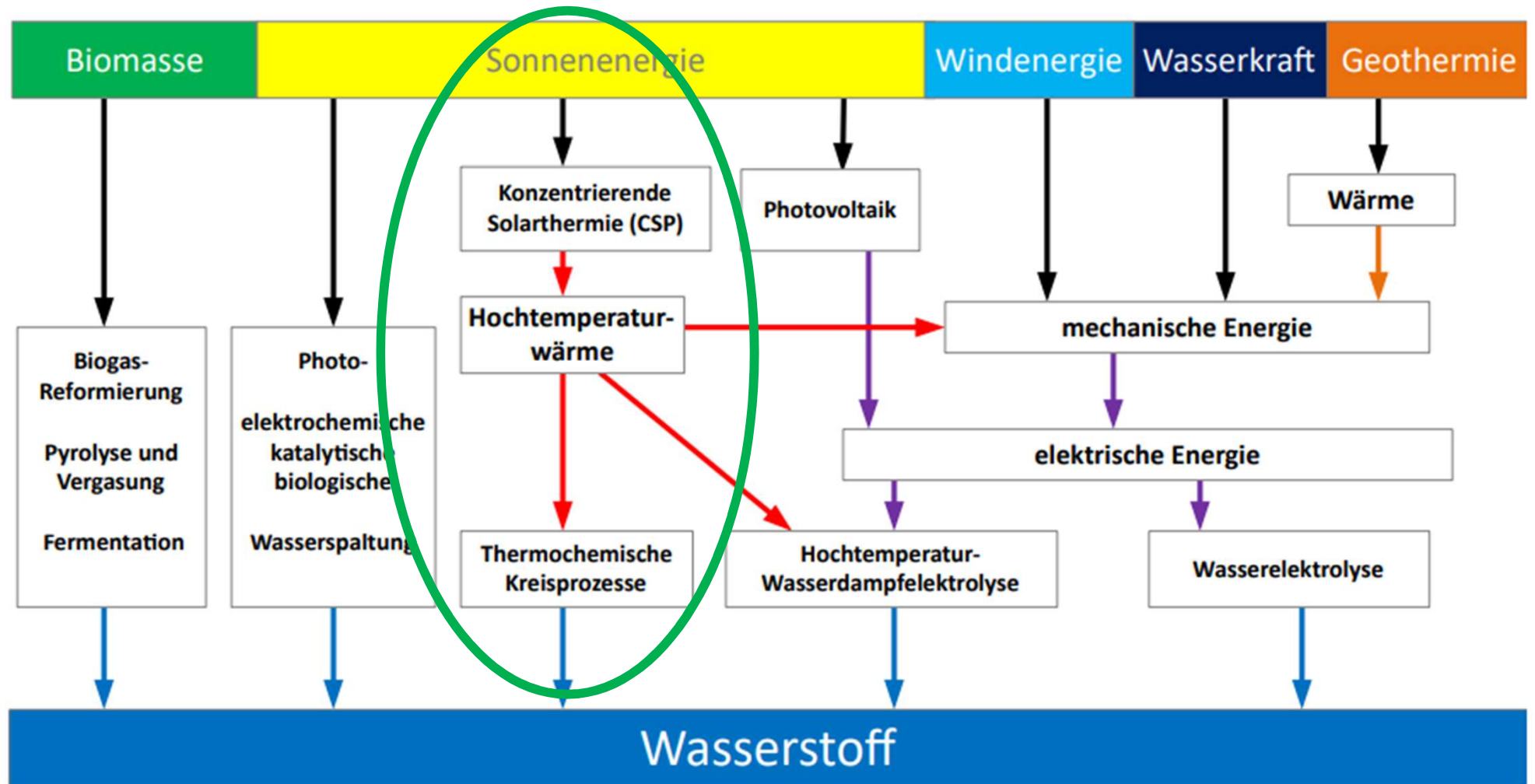
Tankfüllung: 5 kg H<sub>2</sub>  
Reichweite: 450 km

# Warum (grüner) Wasserstoff?

- Vielfältige Anwendungen
- umweltfreundlich
- leicht, sehr hoher Brennwert (39 kWh/kg)
- **Ausgangsprodukt für synthetische Brennstoffe/chemische Produkte**



# Verfahren zur Gewinnung von grünem Wasserstoff



# Wie erzeugt man hohe Temperaturen mit der Sonne?

Konzentration

Beispiele:

- **Vakuurröhre mit CPC (2,5-fach)**





# Wie erzeugt man hohe Temperaturen mit der Sonne?

Konzentration

Beispiele:

- Vakuumröhre mit CPC (2,5-fach)
- **Parabolrinne (40-fach)**



Bild: Schott /FAZ

# Wie erzeugt man hohe Temperaturen mit der Sonne?

Konzentration

Beispiele:

- Vakuumröhre mit CPC (2,5-fach)
- Parabolrinne (40-fach)
- **Turm (1000-fach)**

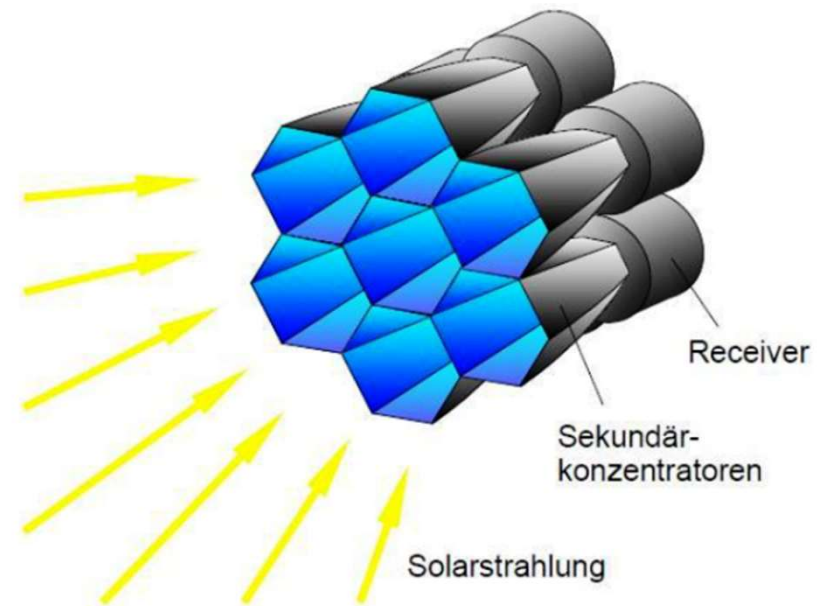


# Wie erzeugt man hohe Temperaturen mit der Sonne?

## Konzentration

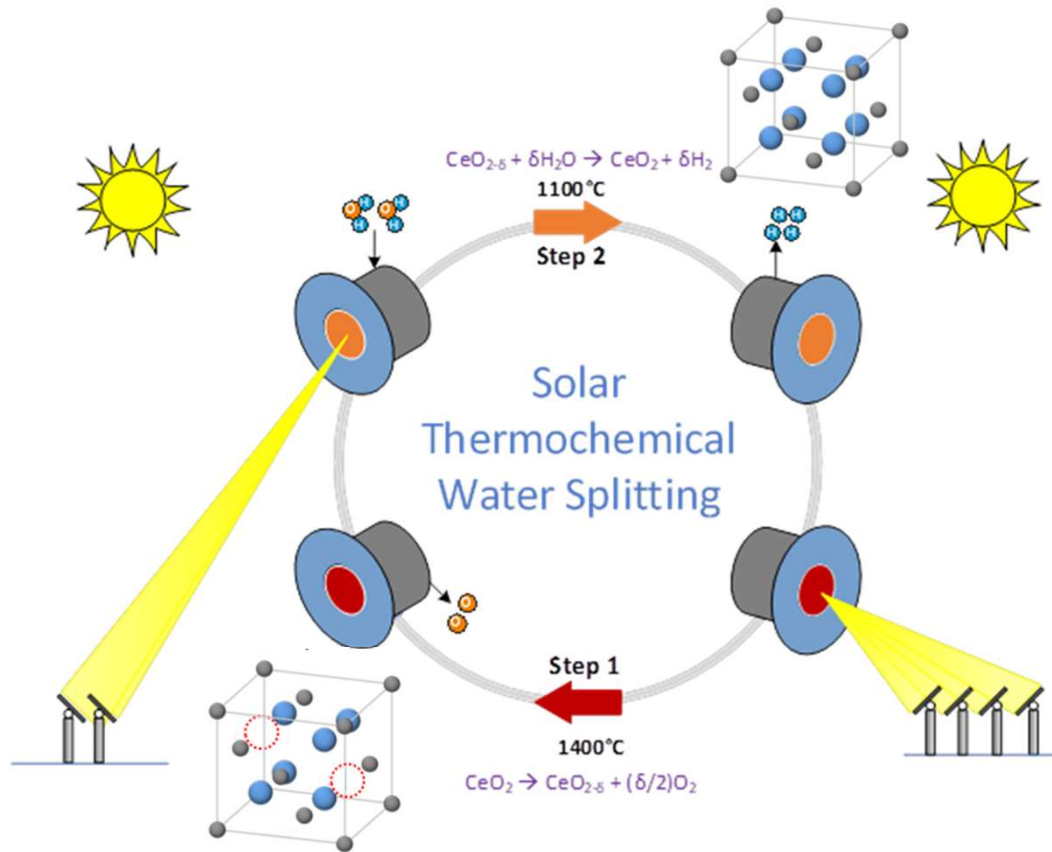
### Beispiele:

- Vakuumröhre mit CPC (2,5-fach)
- Parabolrinne (40-fach)
- Turm (1000-fach)
- **Turm mit Sekundärkonzentrator (2500-fach)**



Quelle: J. Stegner, Masterarbeit 2014, DLR

# Wie funktioniert die solar-thermochemische Wasserstoffherzeugung?



2-stufiger REDOX-Kreisprozess



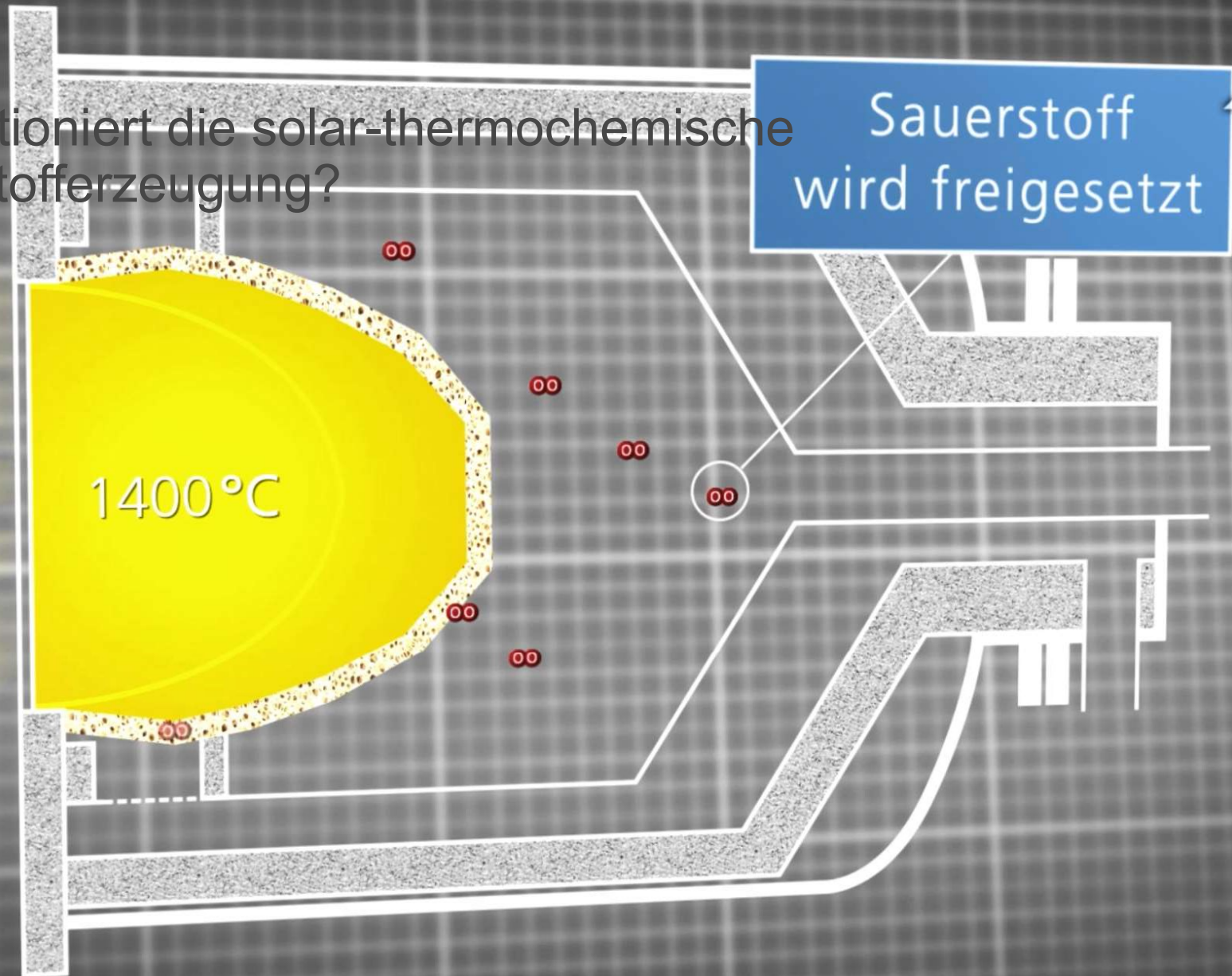
Ceroxidschaum (CeO<sub>2</sub>) als REDOX-Material

# Wie funktioniert die solar-thermochemische Wasserstofferzeugung?



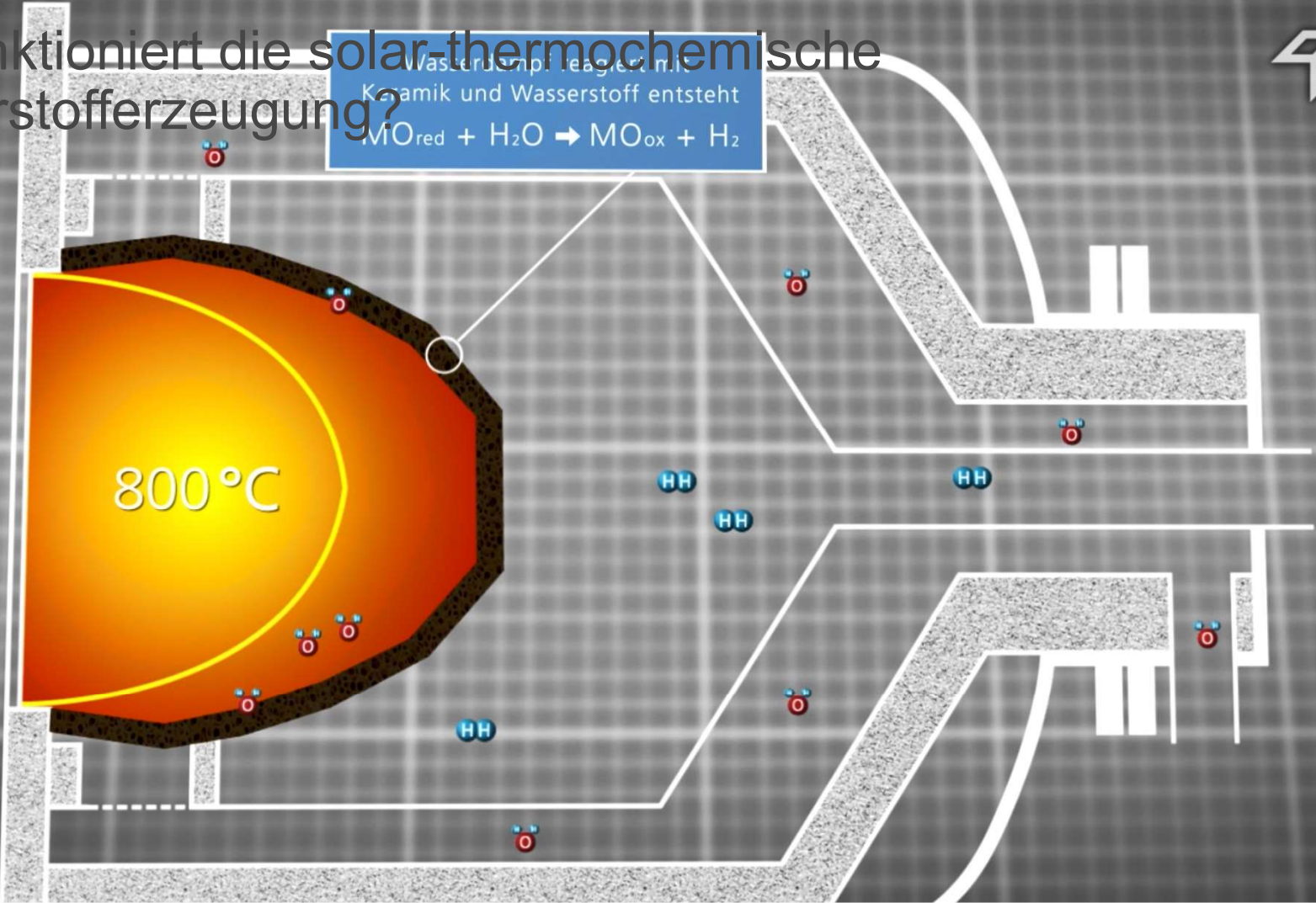
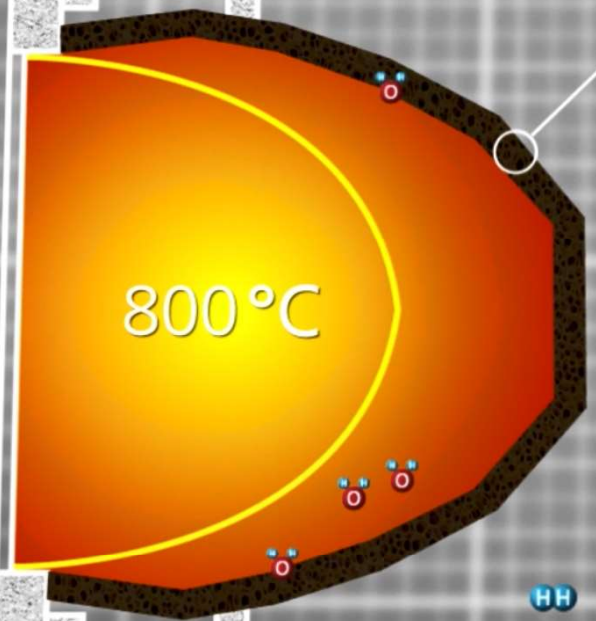
Courtesy of CIEMAT, owner of the Plataforma Solar de Almería

Wie funktioniert die solar-thermochemische Wasserstoffherzeugung?

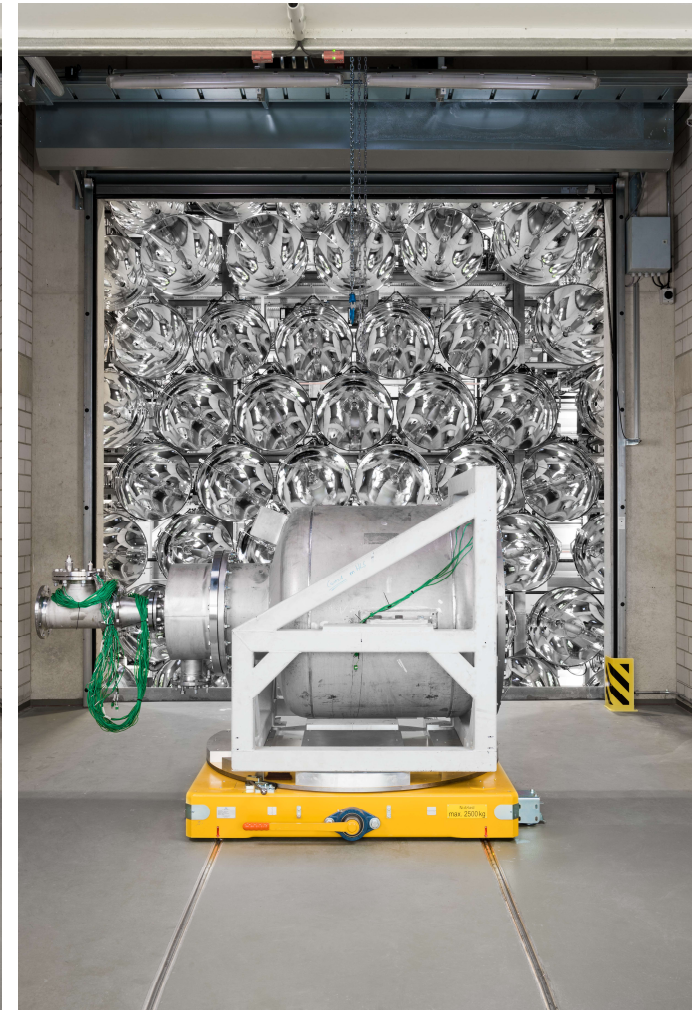


# Wie funktioniert die solar-thermochemische Wasserstoffherzeugung?

Wasserdampf reagiert mit  
Keramik und Wasserstoff entsteht  
 $\text{MO}_{\text{red}} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MO}_{\text{ox}} + \text{H}_2$

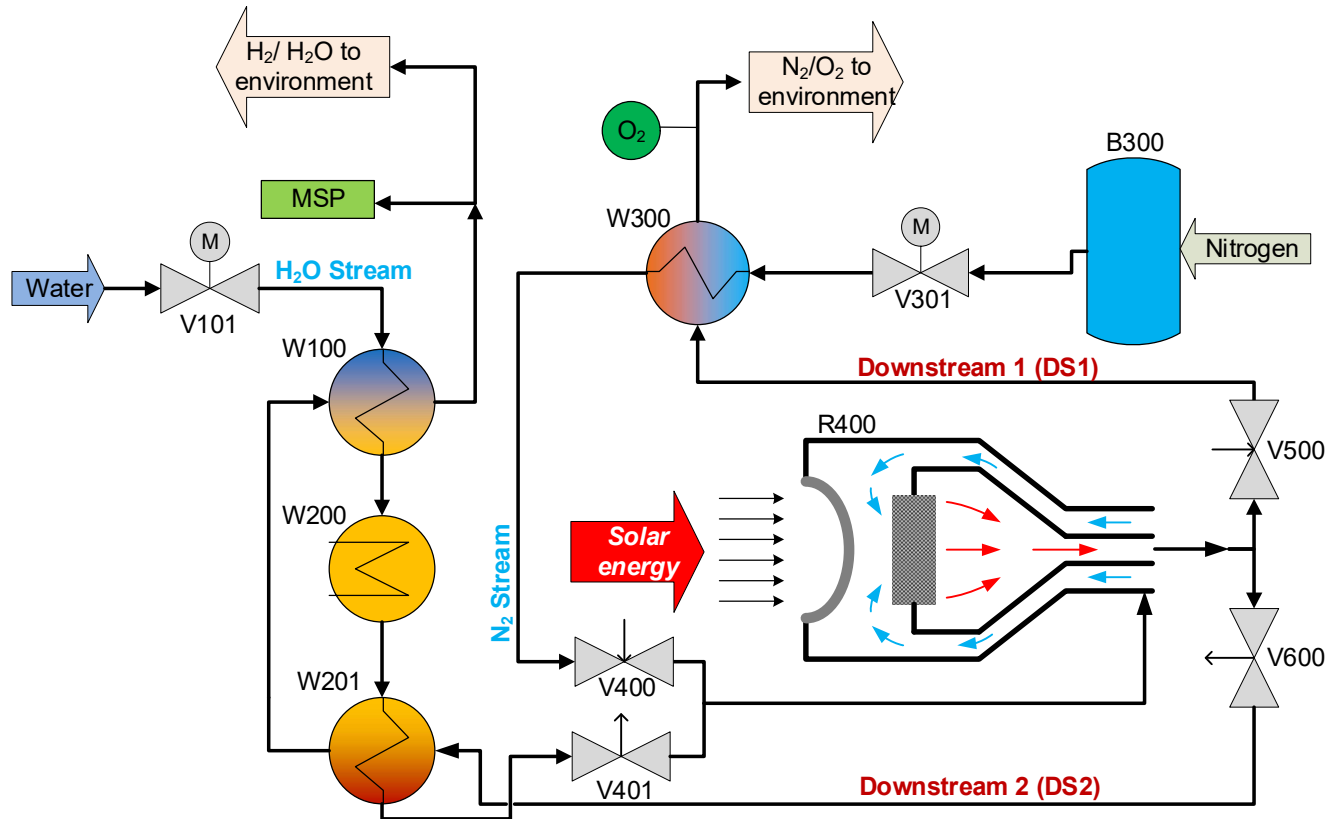


# Wie wurde die Idee umgesetzt?





# Wie wurde die Idee umgesetzt?

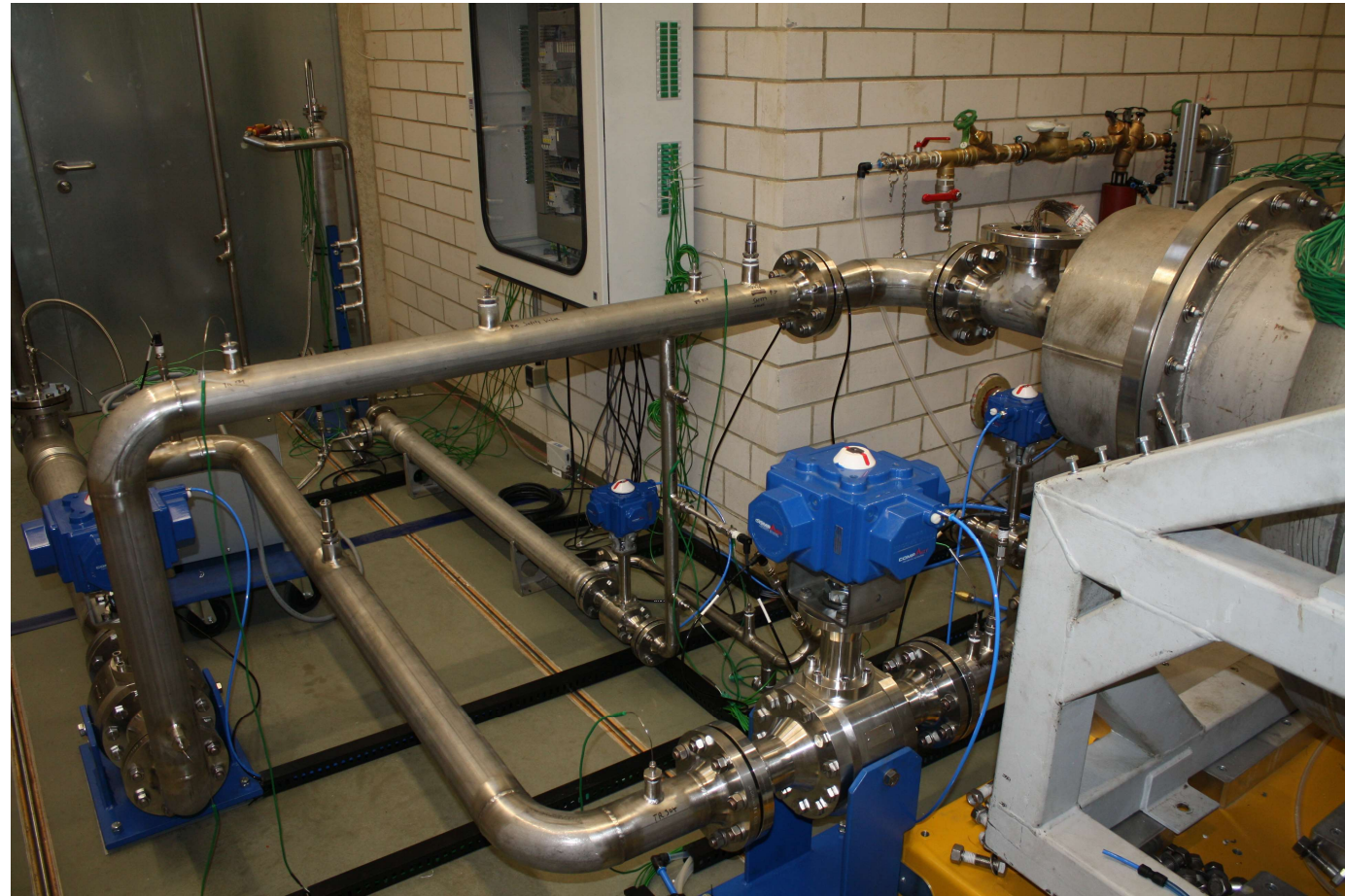


MSP – Mass spectrometer; W100 – Water to vapor HE; W200 – Evaporator; W201 – Vapor to vapor HE; W300 – N<sub>2</sub> to N<sub>2</sub> HE;  
B300 – N<sub>2</sub> cylinders

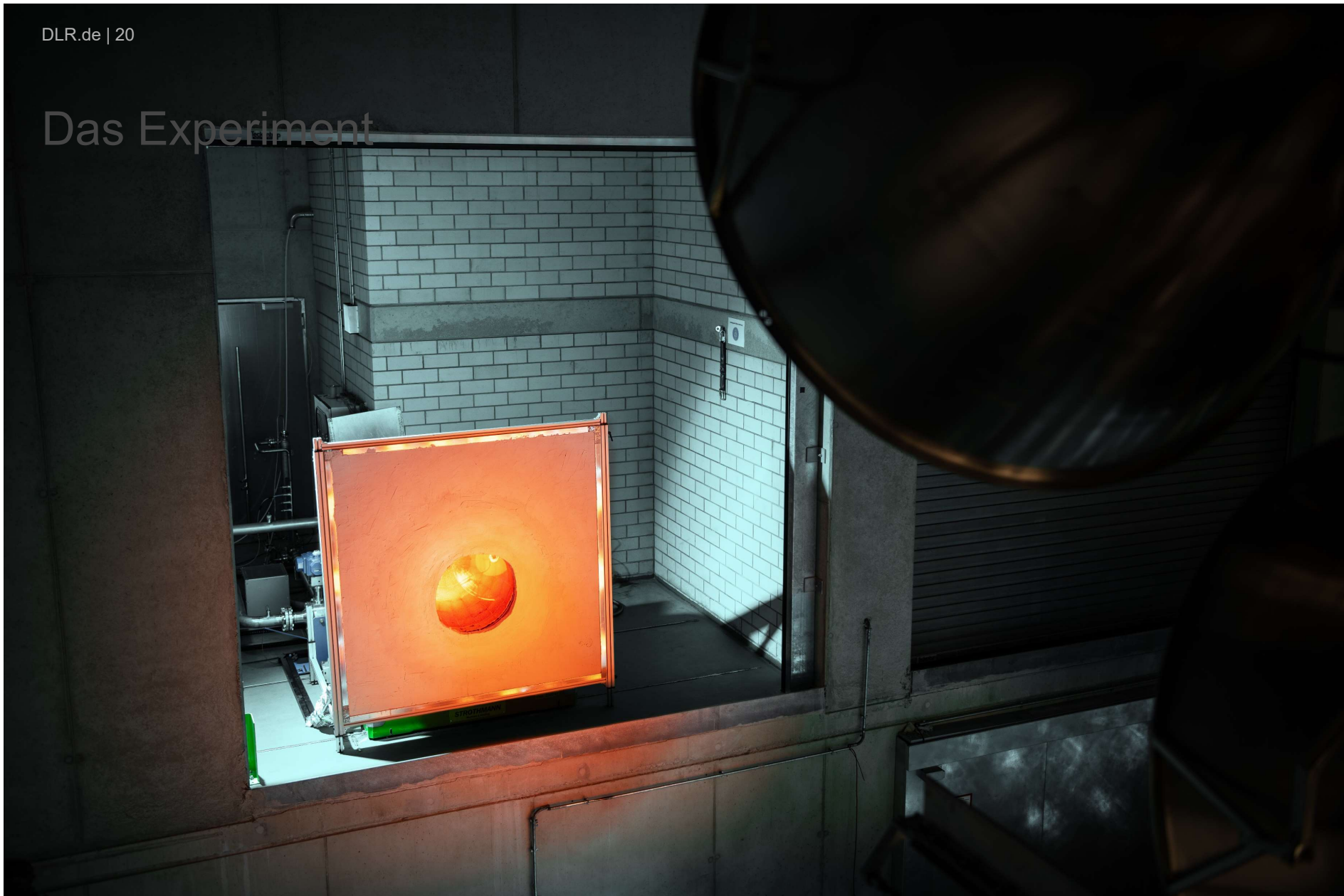
SynLight,  
DLR Jülich



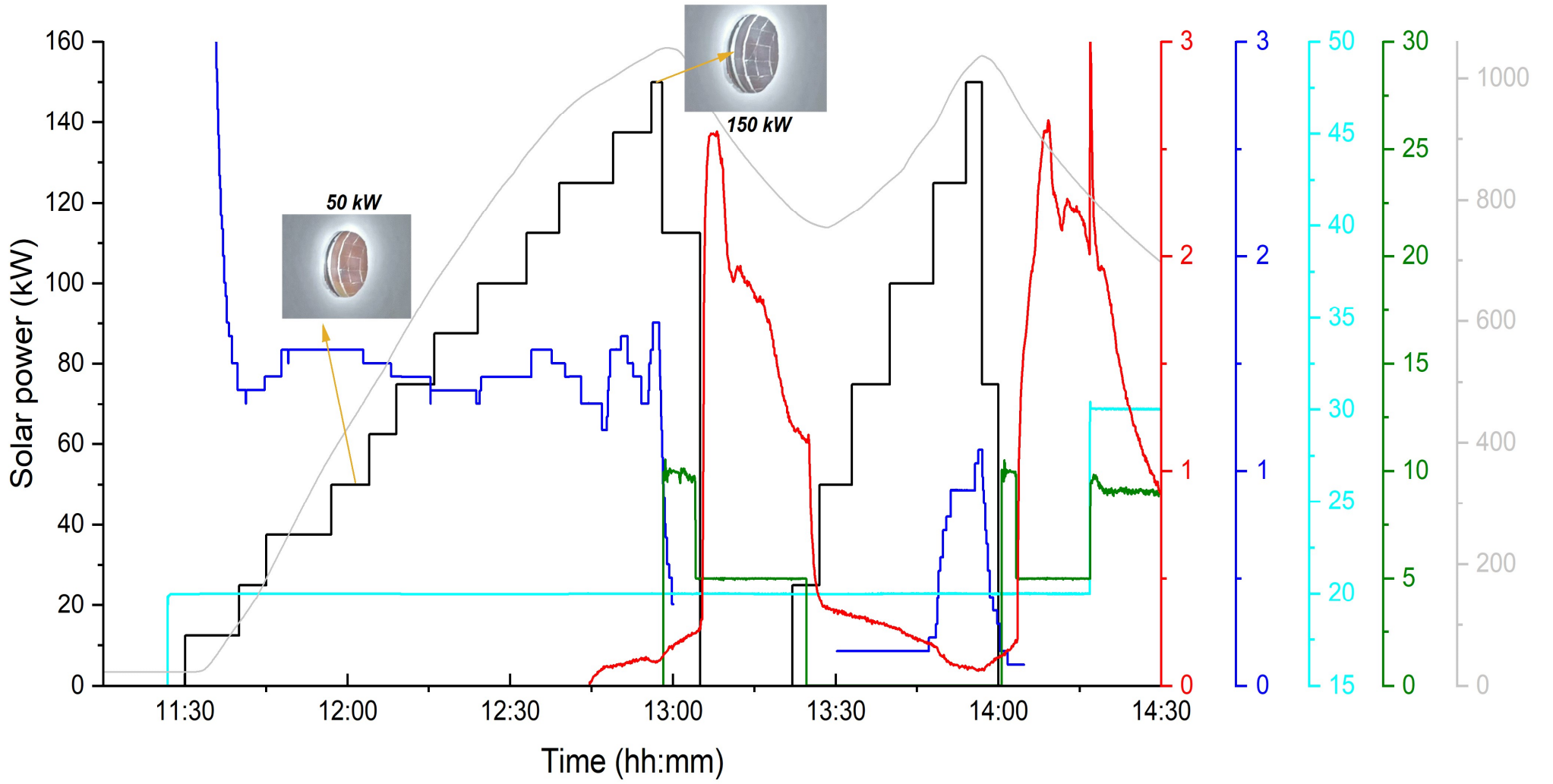
# Der Versuchsaufbau im Synlight



# Das Experiment



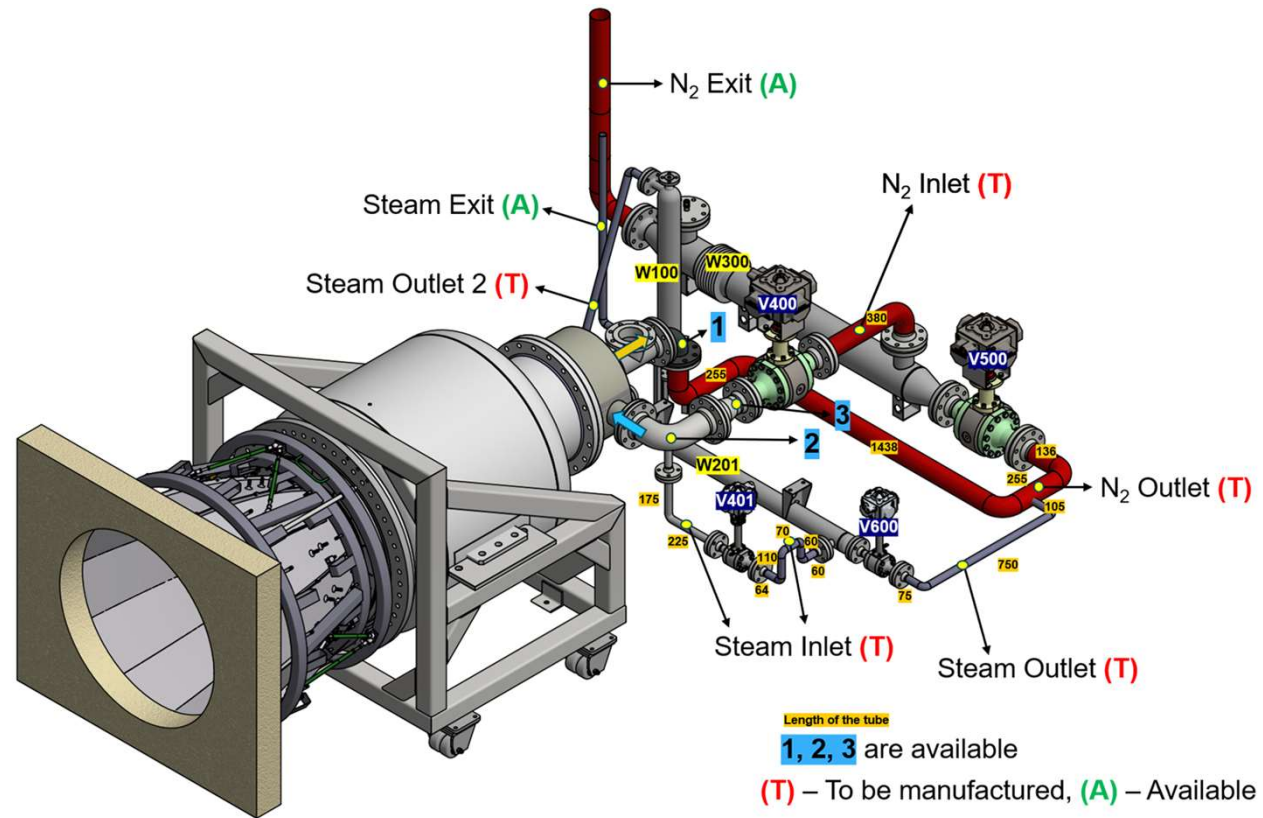
— Solar power (kW) — H<sub>2</sub> production rate (mol/h) — O<sub>2</sub> release rate (mol/h) — N<sub>2</sub> flow (kg/h) — H<sub>2</sub>O flow (kg/h) — Reactor maximum (°C)



## Was haben wir daraus gelernt?

- Solar-thermochemische H<sub>2</sub>-Erzeugung im 250 kW-Maßstab ist möglich!
- Wirkungsgrad verbessern
- Höher konzentrieren
- REDOX-Material verbessern
- Anlagensteuerung optimieren
- Anlagensteuerung automatisieren
- Wasserstoffgestehungskosten (LCOH) von 6–12 €/kg möglich

# Wie geht es weiter?



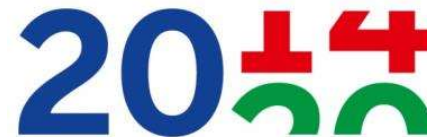
Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



- Krishna Thanda
- Dmitrij Laaber
- Stefan Schmitz
- Johannes Grobbel (DLR)
- Steffen Menz
- Jörg Lampe (RFH)
- Gregor Piesche
- Stephan Berger (S&V)
- Aurelio Gonzales
- Thorsten Denk
- Alfonso Vidal
- David Bocande (CIEMAT)
- Sandro Gianella (Engicer)



FUEL CELLS  
AND HYDROGEN  
JOINT UNDERTAKING



**EFRE.NRW**

Investitionen in Wachstum  
und Beschäftigung



EUROPEAN UNION  
Investing in our Future  
European Regional  
Development Fund

Die beschriebenen Arbeiten wurden im Rahmen der Projekte ASTOR, (EFRE-0800877), ASTOR-ST (EFRE-0801815) und HYDROSOL-beyond (GA-826379) durchgeführt. Für die Unterstützung der Europäischen Union, der "Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking" und des "European Regional Development Fund" und der Landesregierung NRW bedanken wir uns recht herzlich!



# Institut für Solarforschung

## Entwicklung und Optimierung solarthermischer Kraftwerke

Technologieentwicklung zur effizienten und wirtschaftlichen Nutzung von Sonnenenergie zur Produktion von Strom, Wärme und Brennstoffen

Solare Hochtemperatur-  
technologien



Solare  
Kraftwerkstechnik



Qualifizierung



Lehrstühle in Aachen



- Integration von Solarenergie in Kraftwerke, industrielle Prozesse, Quartiere und Landwirtschaft
- Großanlagen der konzentrierenden Solarenergie: Linien- und punktfokussierende Systeme
- Simulation, Qualifizierung, autonomer Betrieb, Condition Monitoring und Systemdesign sowie Entwicklung, Skalierung und Test von Schlüsselkomponenten
- 120 Beschäftigte an den Standorten Köln, Jülich, Stuttgart und Almeria (Spanien)

# Warum (grüner) Wasserstoff?

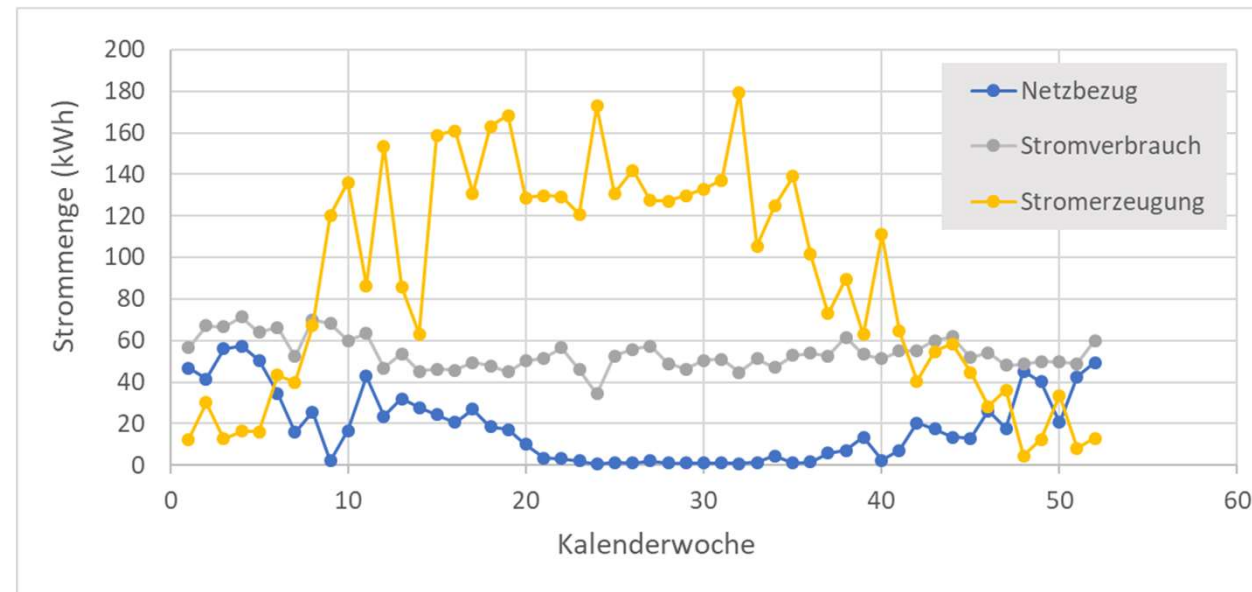
- **Vielfältige Anwendungen**
- umweltfreundlich
- Leicht, sehr hoher Brennwert (39 kWh/kg)
- Saisonalspeicher
- Ausgangsprodukt für synthetische Brennstoffe



Quelle: Gregor Hagedorn, Wolf-Peter Schill & Martin Kittel, based on Michael Liebreich/Liebreich Associates, Clean Hydrogen Ladder, Version 4.1, 2021. Concept credit: Adrian Hiel, Energy Cities -https://mobile.twitter.com/wozukunft/status/1436681783920242696, CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=110000592

# Warum (grüner) Wasserstoff?

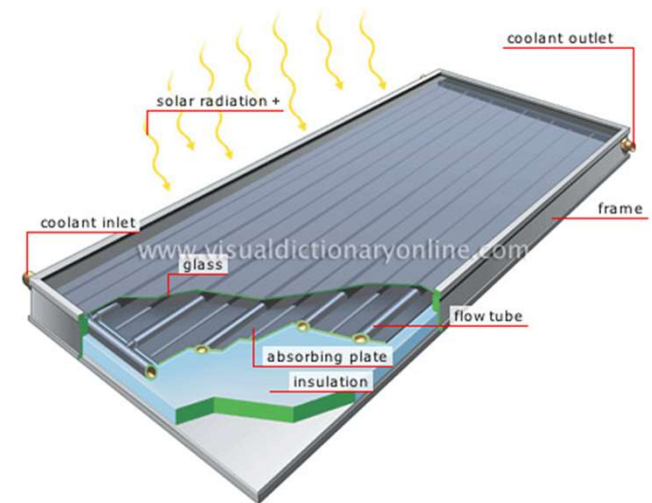
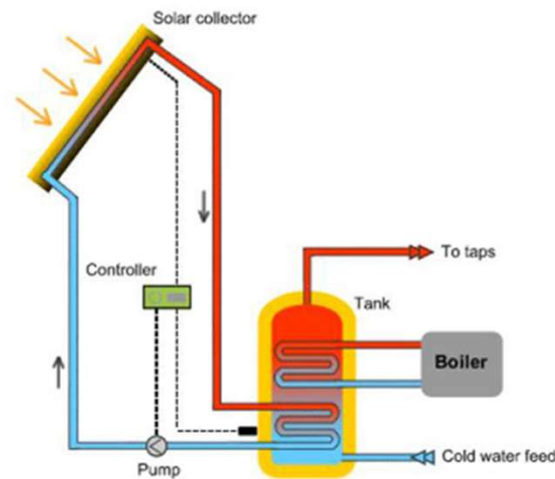
- Vielfältige Anwendungen
- umweltfreundlich
- Leicht, sehr hoher Brennwert (39 kWh/kg)
- **Saisonalspeicher**
- Ausgangsprodukt für synthetische Brennstoffe



Beispiel: PV Dachanlage  
 4,8 kW Maximalleistung  
 7,5 kWh Batteriespeicher  
 960 kWh Residualbedarf  
 57 kg Wasserstoff-Speicher

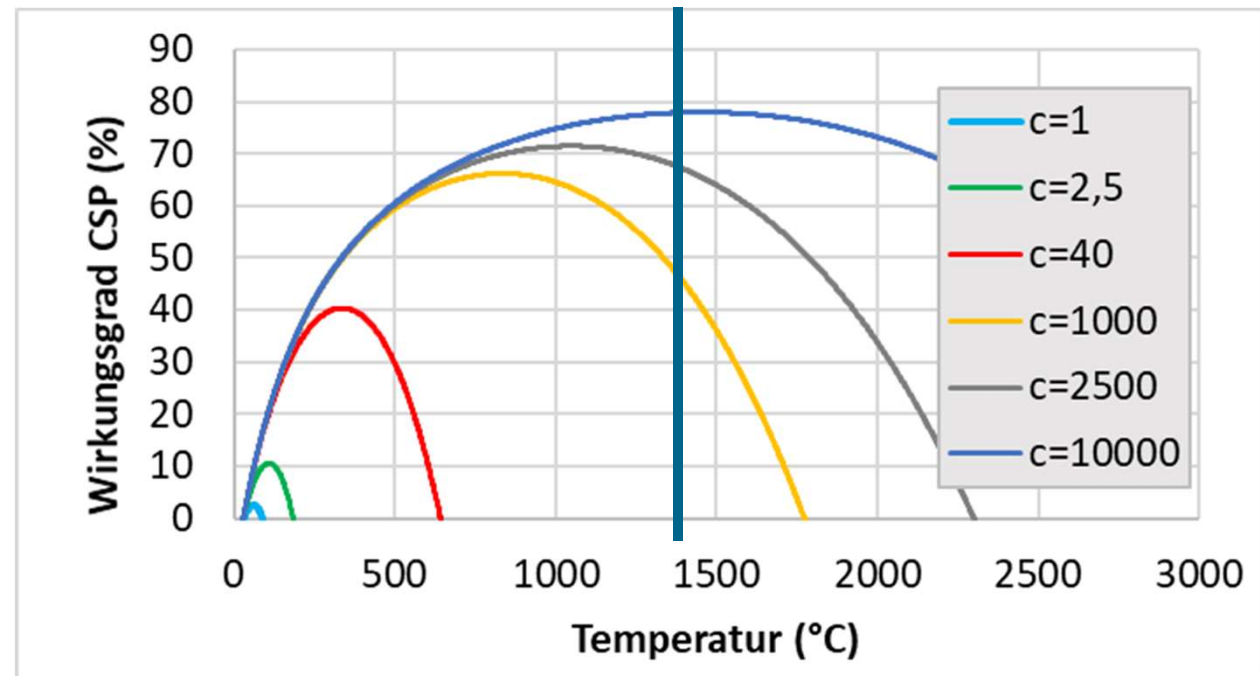
# Wie erzeugt man hohe Temperaturen mit der Sonne?

- Konzentration
- Beispiele:
- **Flachkollektor (1-fach)**



# Wie erzeugt man hohe Temperaturen mit der Sonne?

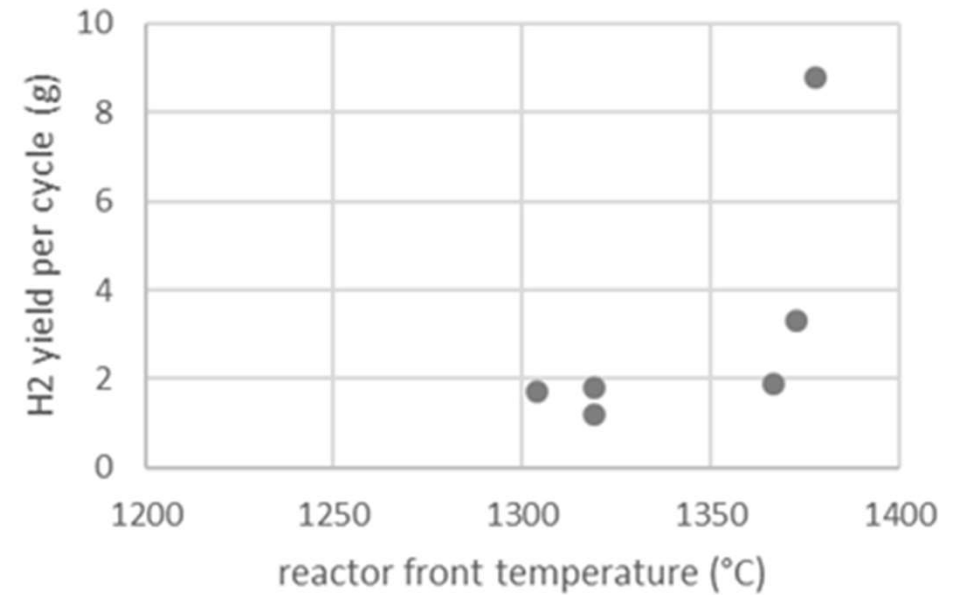
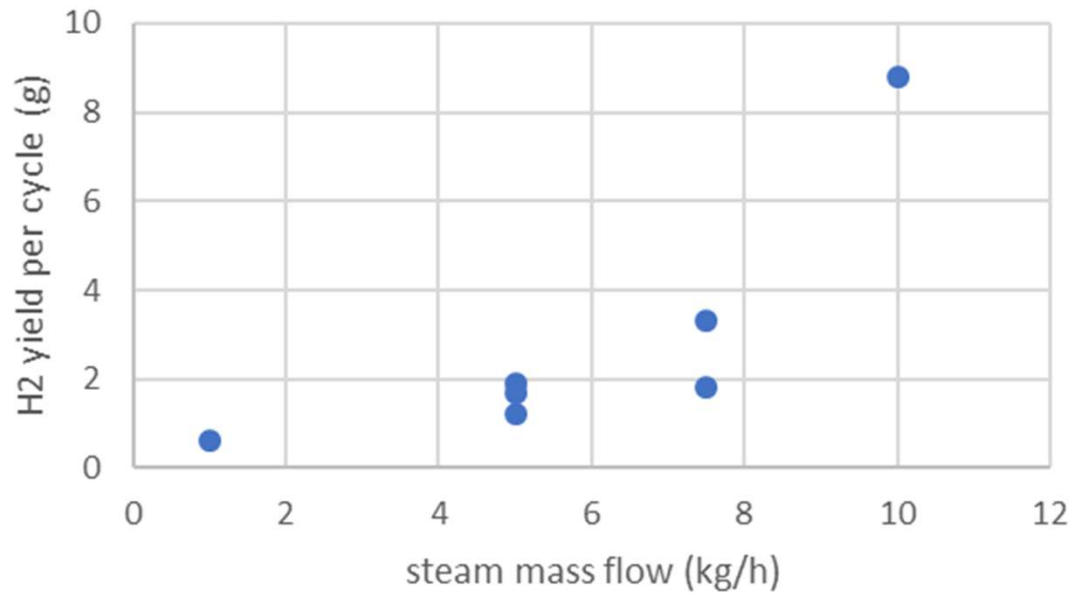
- Konzentration
- Beispiele:
  - Flachkollektor (1-fach)
  - Vakuumröhre mit CPC (2,5-fach)
  - Parabolrinne (40-fach)
  - Turm (1000-fach)
  - Turm für die H<sub>2</sub>-Erzeugung (2500-fach)
- **Allgemein**



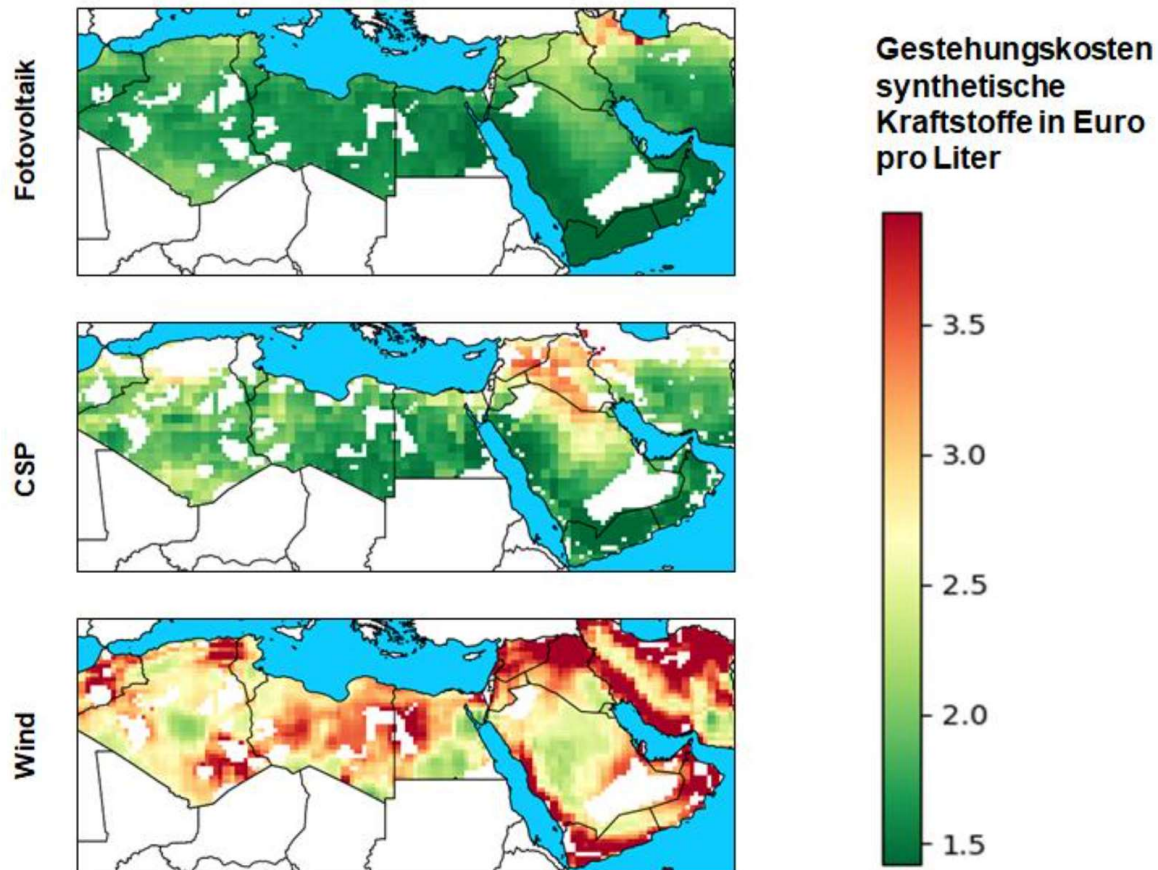
Wie funktioniert die solar-thermochemische Wasserstoffherzeugung?



## Das Experiment: Ergebnisse



# Wie sind die wirtschaftlichen Aussichten?



## Hydrosol Technologie:

6–12 €/kg Wasserstoff  
15–30 ct/kWh

1,5 € /l synth. Kraftstoff  
15ct/kWh

Quelle: Pressemitteilung DLR über das Projekt MENA-Fuels, 2022



# Wie funktioniert die solar-thermochemische Wasserstoffherzeugung?

Die Spiegel "Heliostate" werden dem Sonnengang so nachgeführt, dass das Sonnenlicht auf die Spitze eines Solarturms reflektiert und gebündelt wird

