

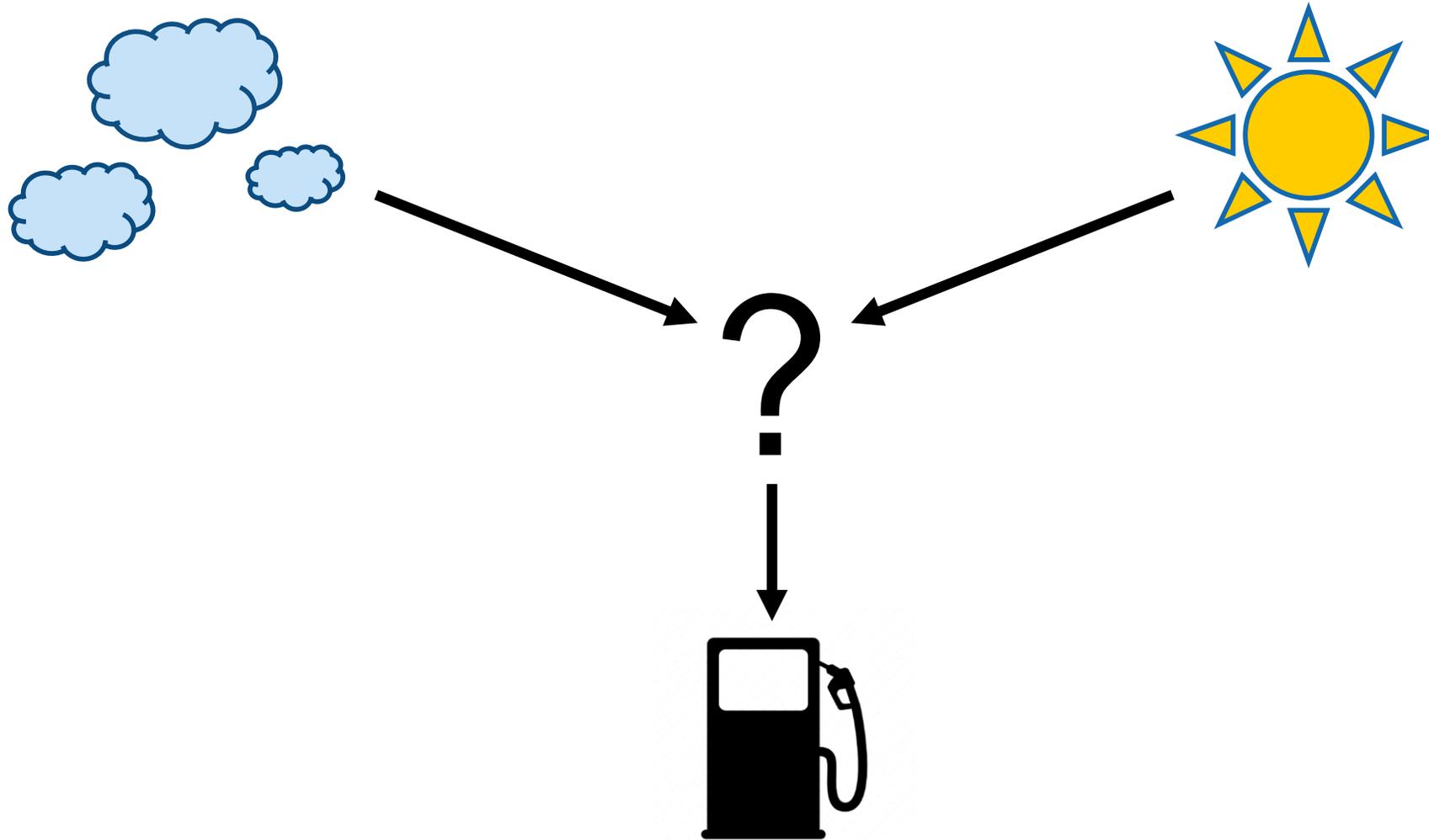


# Treibstoff aus Luft und Sonnenlicht

**Remo Schächli**, Aldo Steinfeld

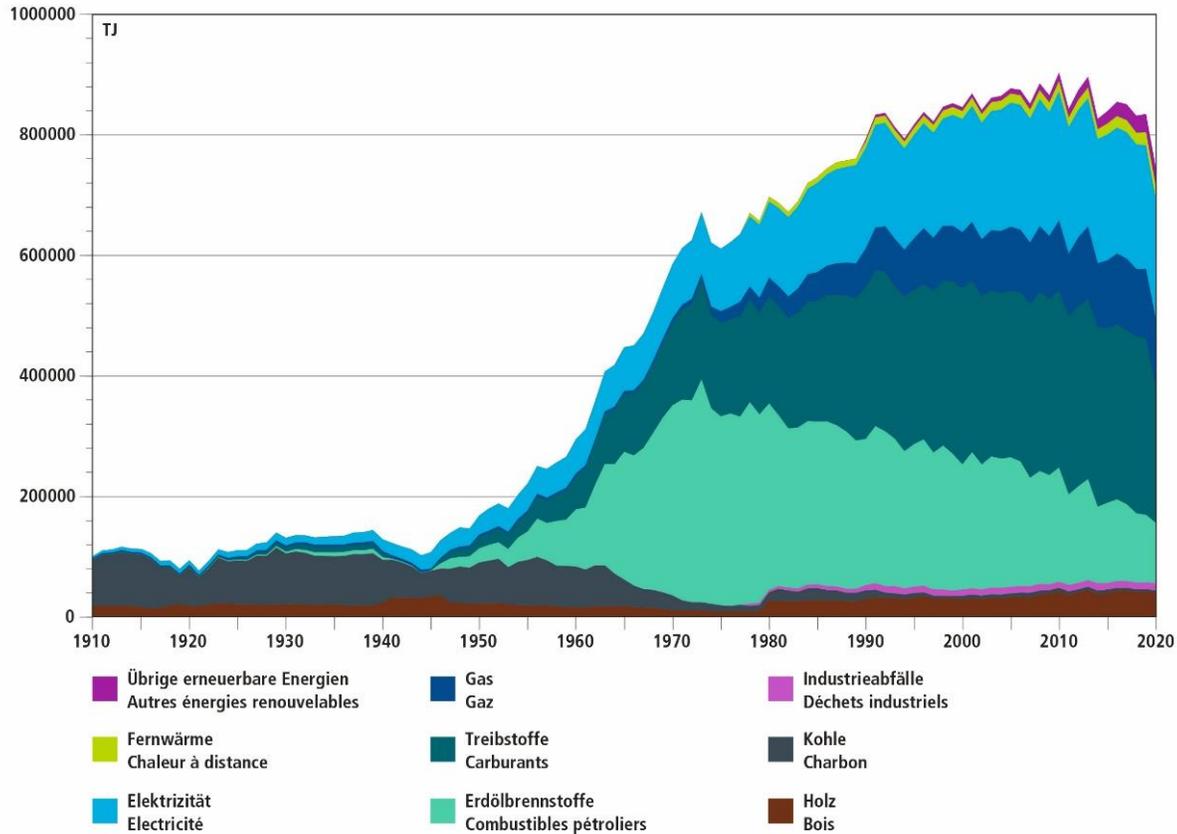
32. Energie-Lunch / Treibstoffe – quo vadis  
November 2021, Casinotheater Winterthur

# Treibstoff aus Luft und Sonnenlicht



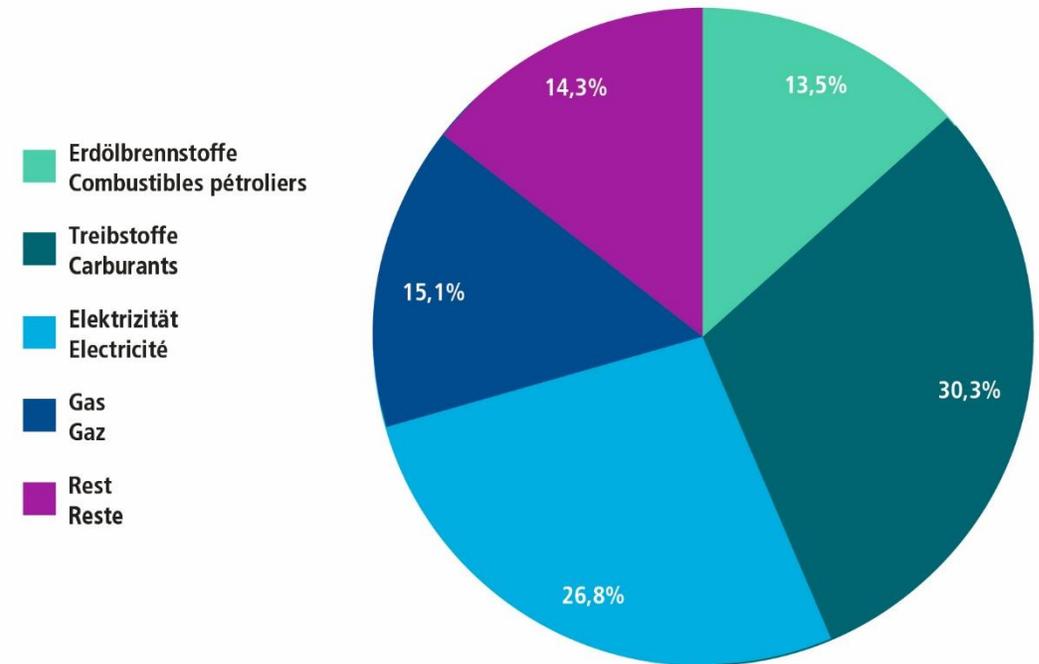
# Energieverbrauch in der Schweiz

Fig. 1 Endenergieverbrauch 1910–2020 nach Energieträgern  
Consommation finale 1910–2020 selon les agents énergétiques



BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2020 (Fig. 1)  
OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2020 (fig. 1)

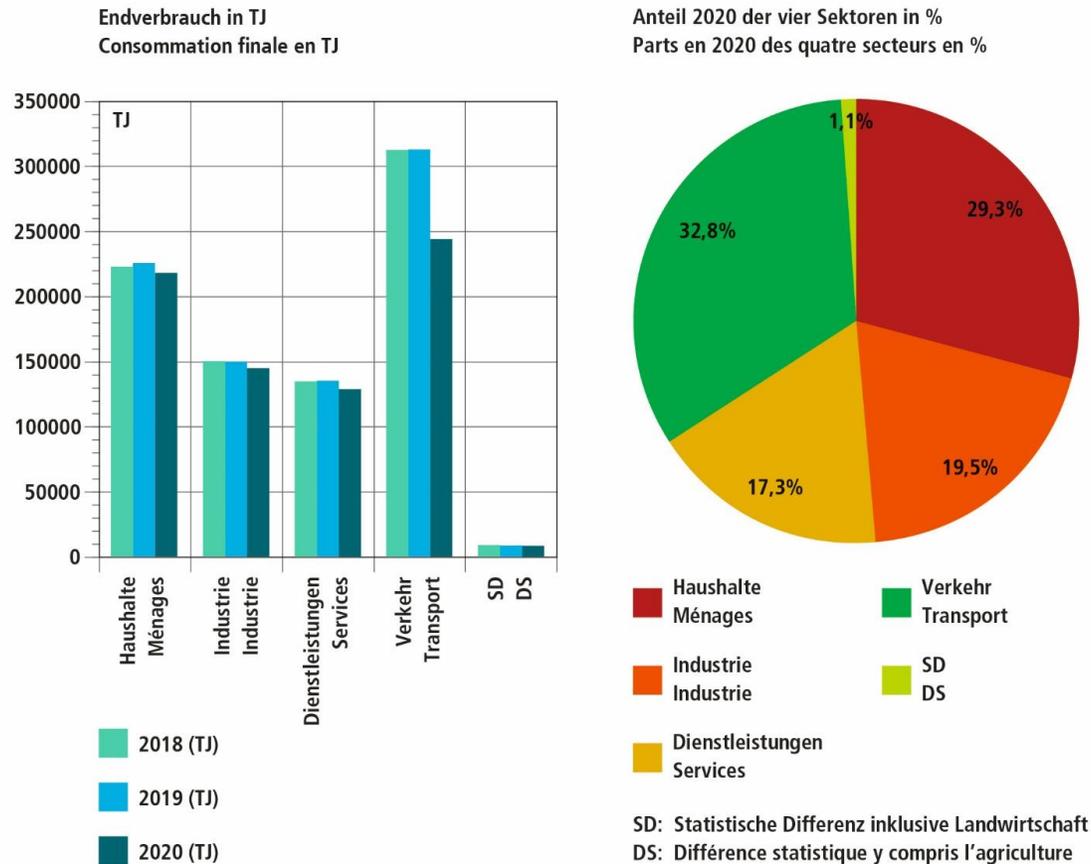
Fig. 2 Aufteilung des Endverbrauchs nach Energieträgern (2020)  
Répartition de la consommation finale selon les agents énergétiques (2020)



BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2020 (Fig. 2)  
OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2020 (fig. 2)

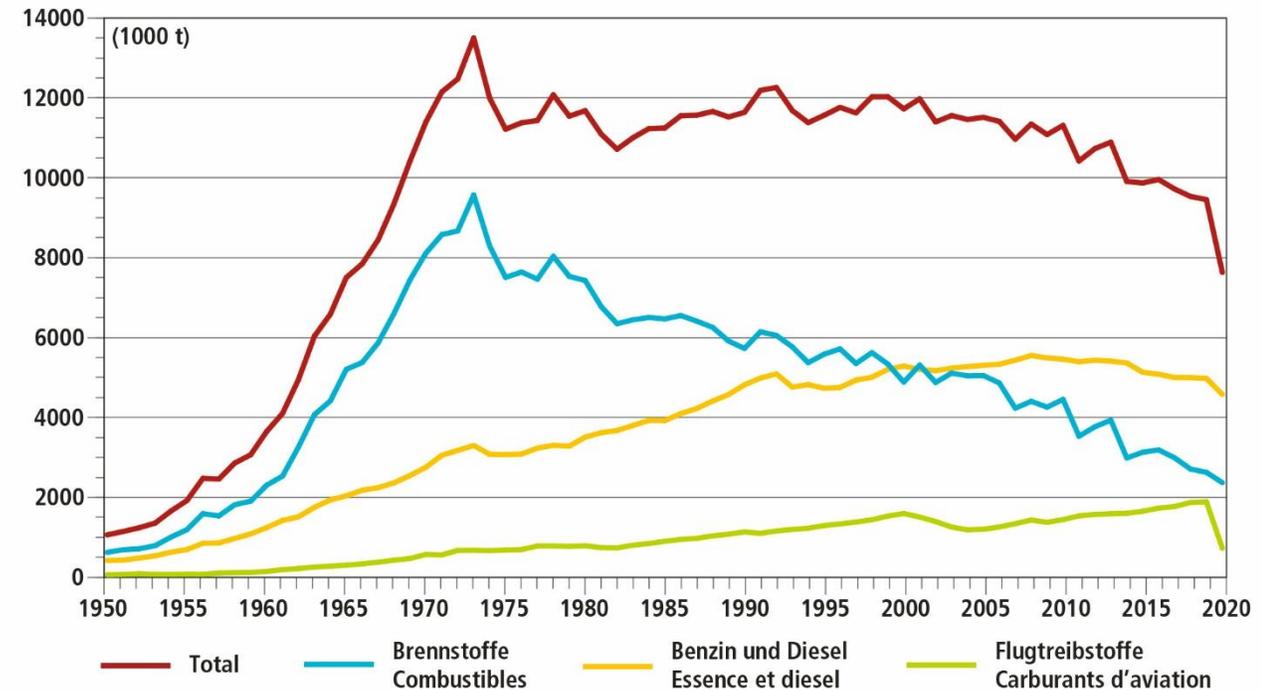
# Energieverbrauch in der Schweiz

Fig. 3 Aufteilung des Energie-Endverbrauchs nach Verbrauchergruppen  
Répartition de la consommation finale d'énergie selon les groupes de consommateurs



BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2020 (Fig. 3)  
OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2020 (fig. 3)

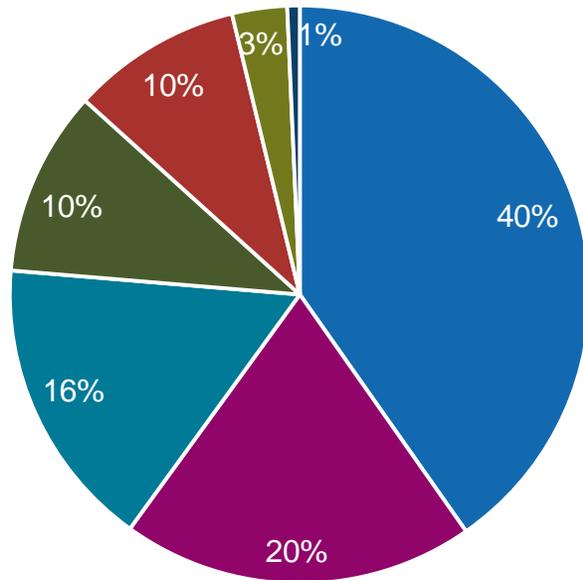
Fig. 10 Entwicklung des Endverbrauchs der Erdölprodukte  
Evolution de la consommation finale des produits pétroliers



BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2020 (Fig. 10)  
OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2020 (fig. 10)

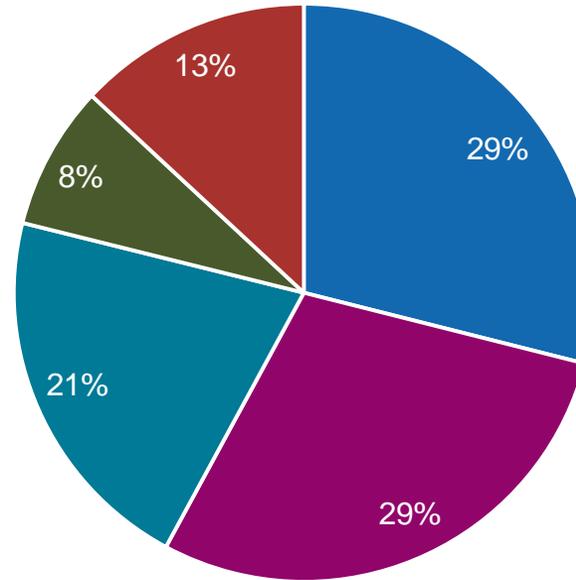
# Energieverbrauch weltweit

## Endverbrauch nach Energieträgern



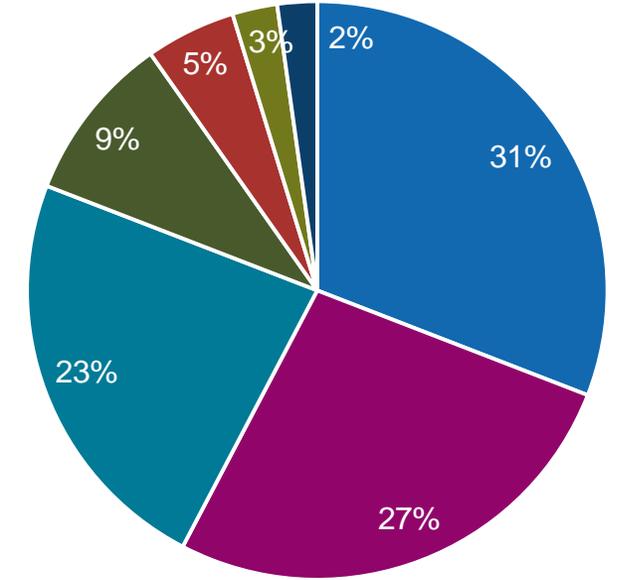
- Erdölprodukte
- Gas
- Kohle
- Rest
- Elektrizität
- Biobrennstoffe und Abfall
- Wärme

## Endverbrauch nach Verbrauchergruppen



- Verkehr
- Industrie
- Haushalte
- Dienstleistungen
- Rest

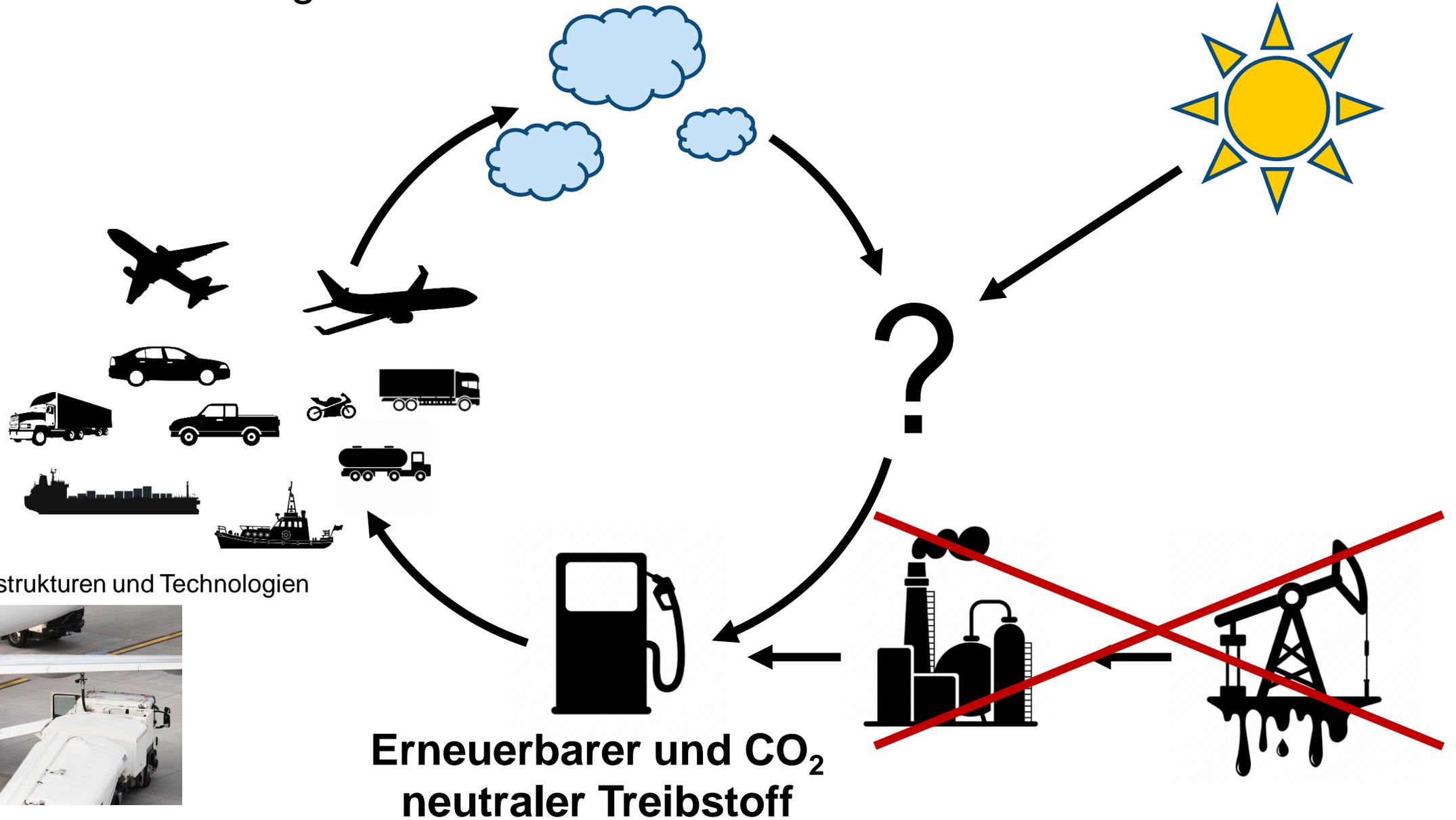
## Energiequelle



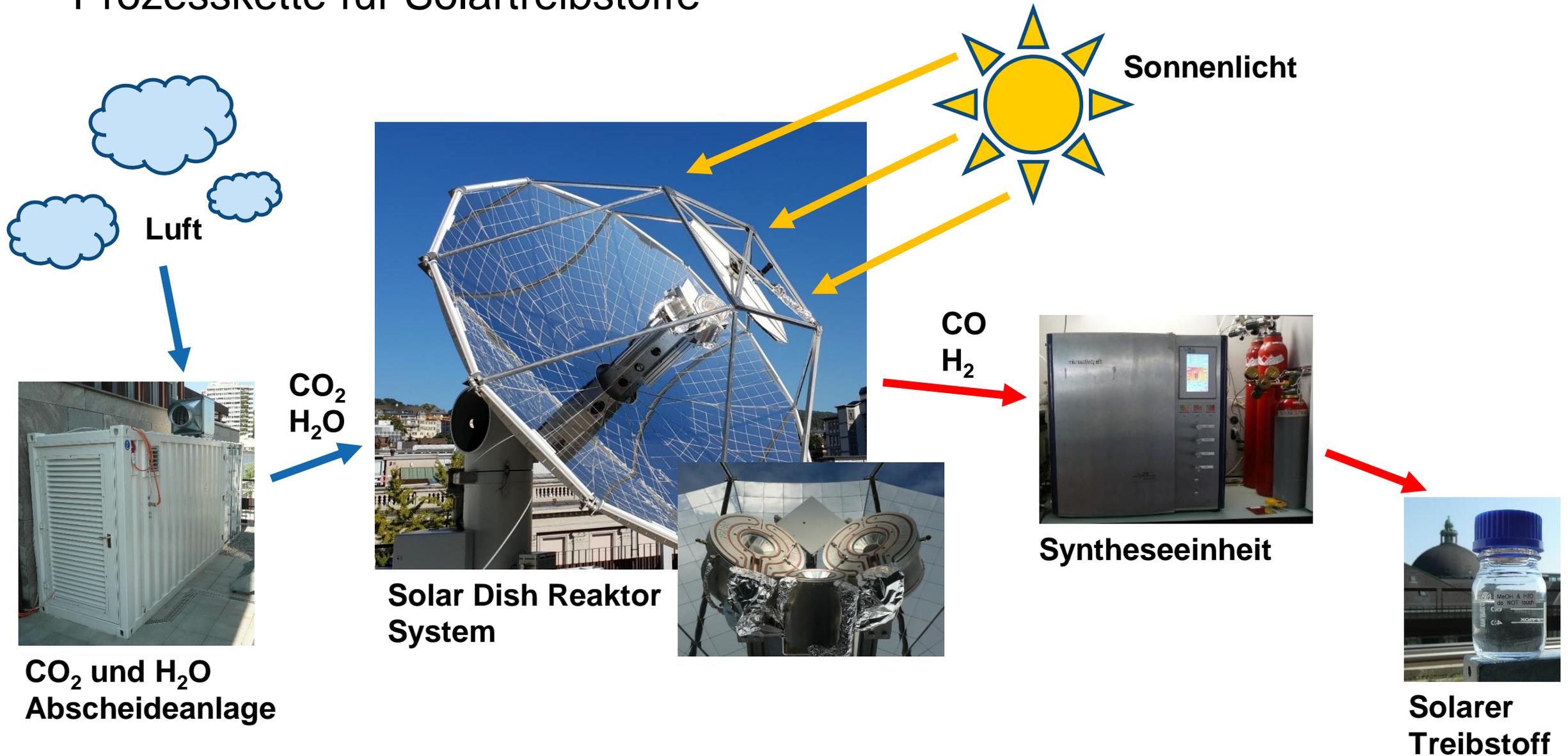
- Öl
- Erdgas
- Kernenergie
- Wind, Solar, etc.
- Kohle
- Biobrennstoffe und Abfall
- Wasserkraft

Quelle: IEA, 2019

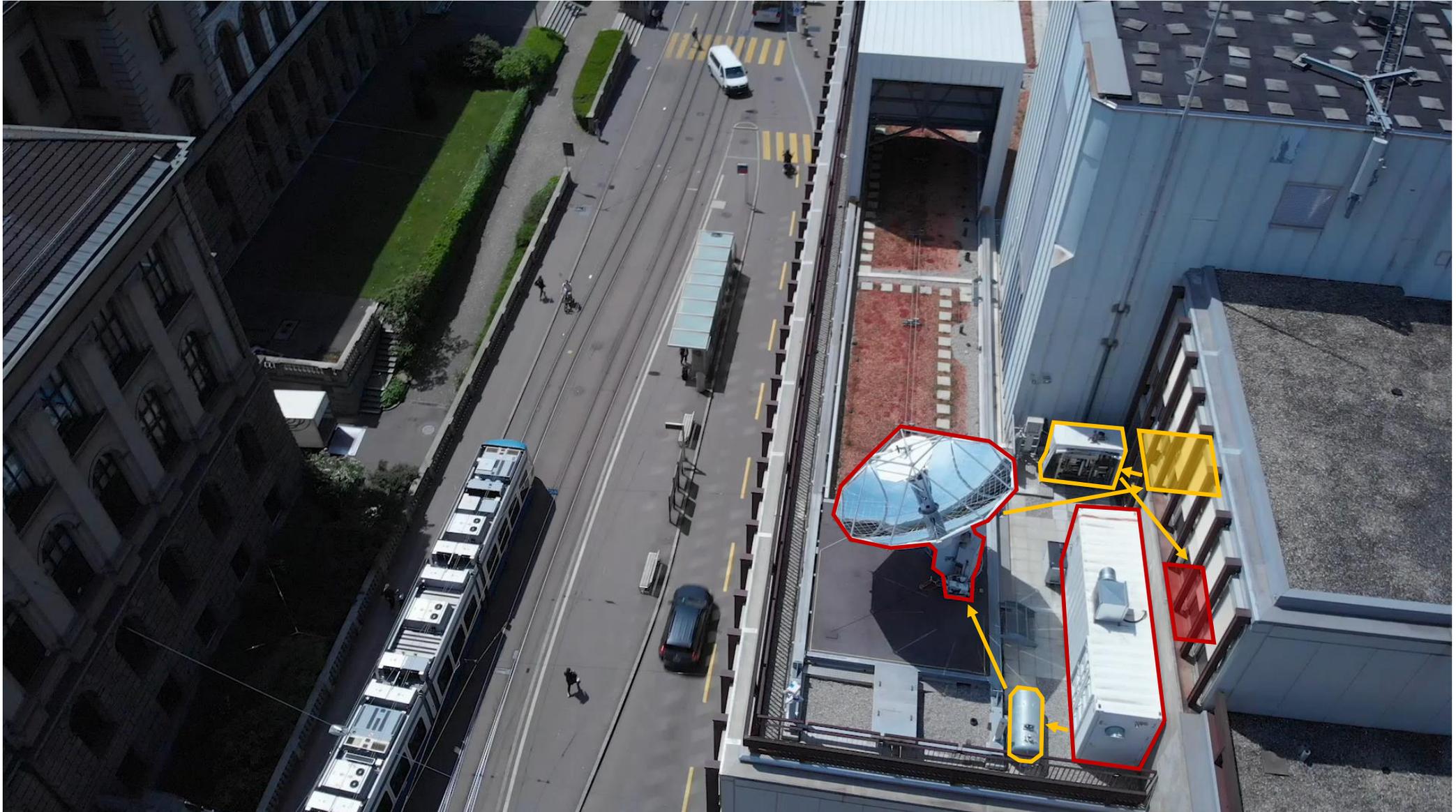
# Treibstoffherstellung



# Prozesskette für Solartreibstoffe

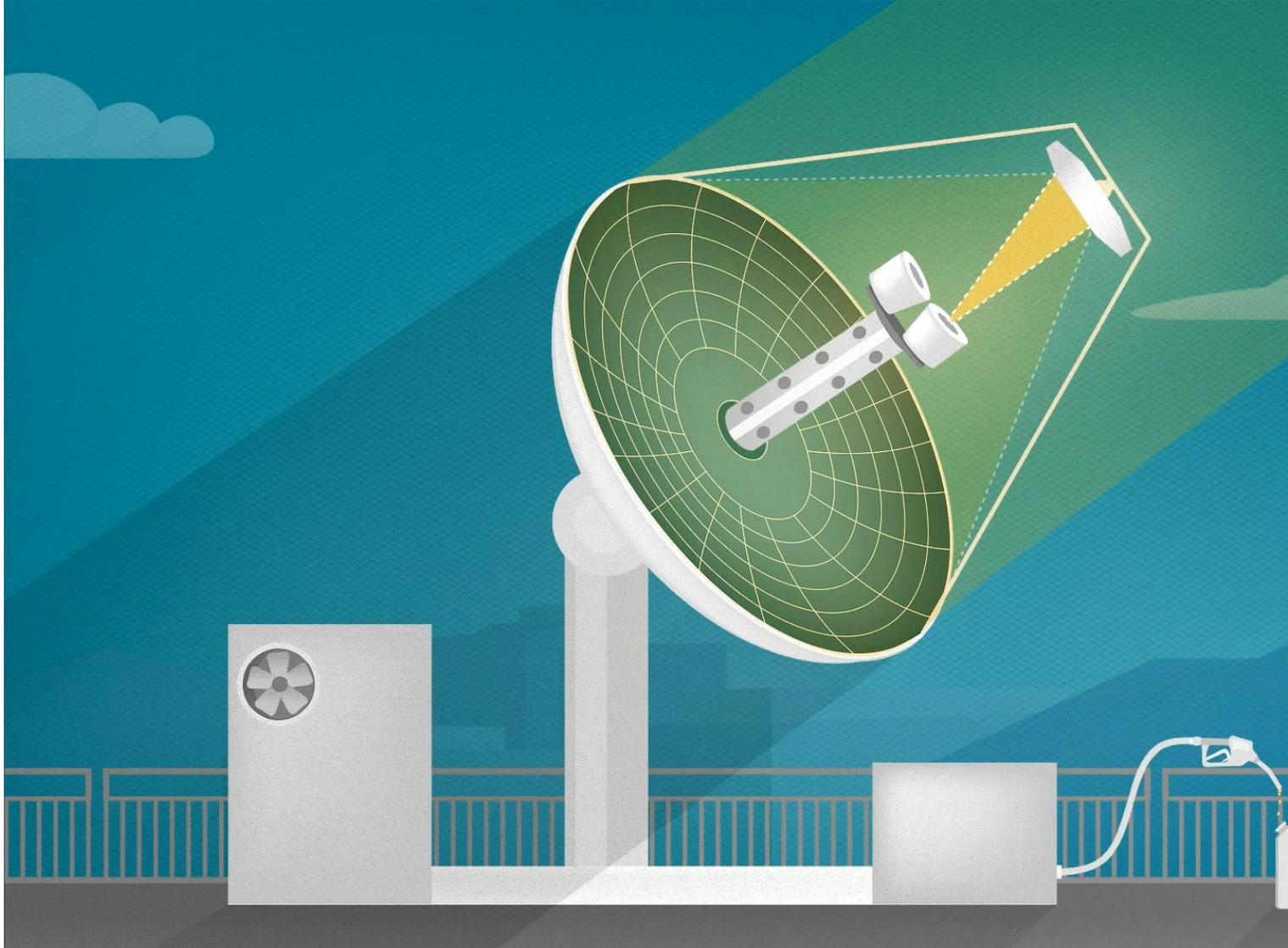


# Anlage auf dem Dach des ETH-Maschinenlaboratoriums in Zürich

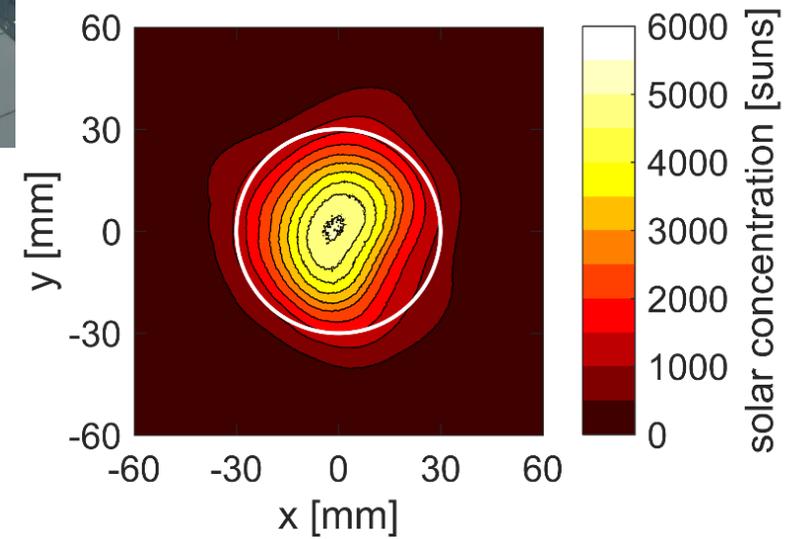
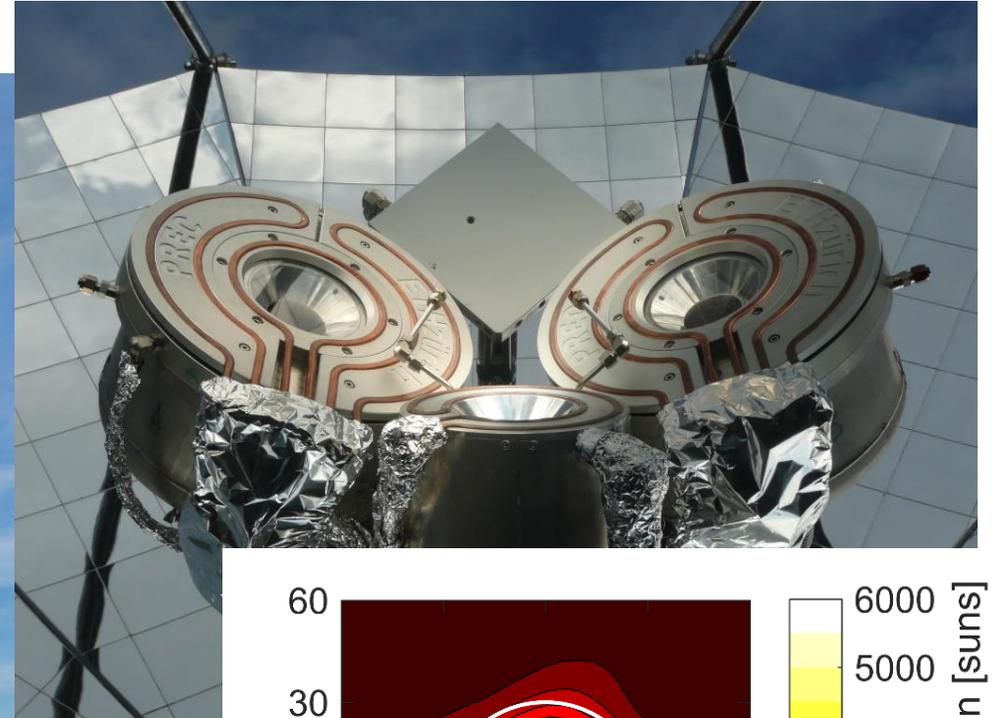
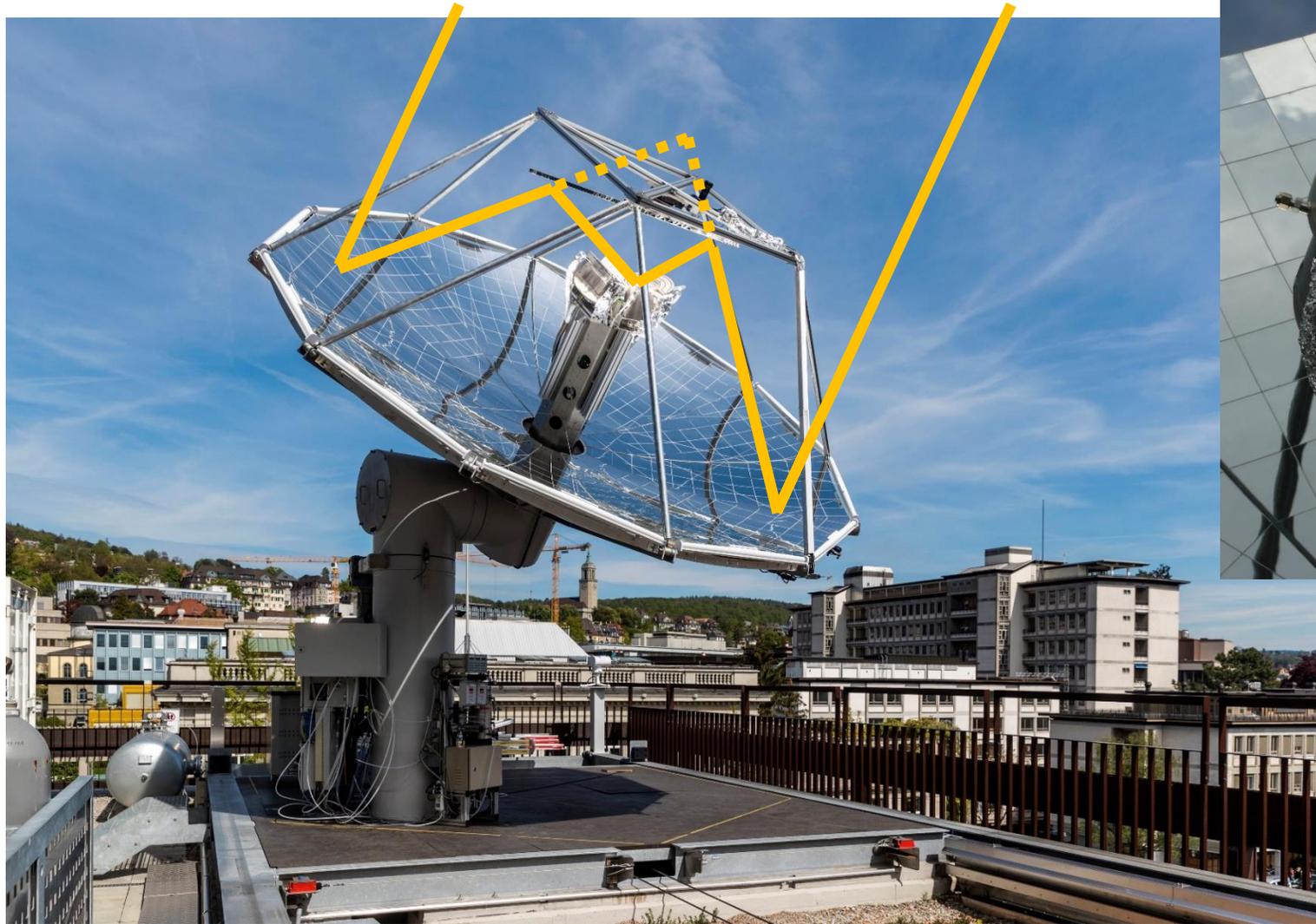


© ETH Zürich / Alessandro Della Bella

# CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O Abscheideanlage

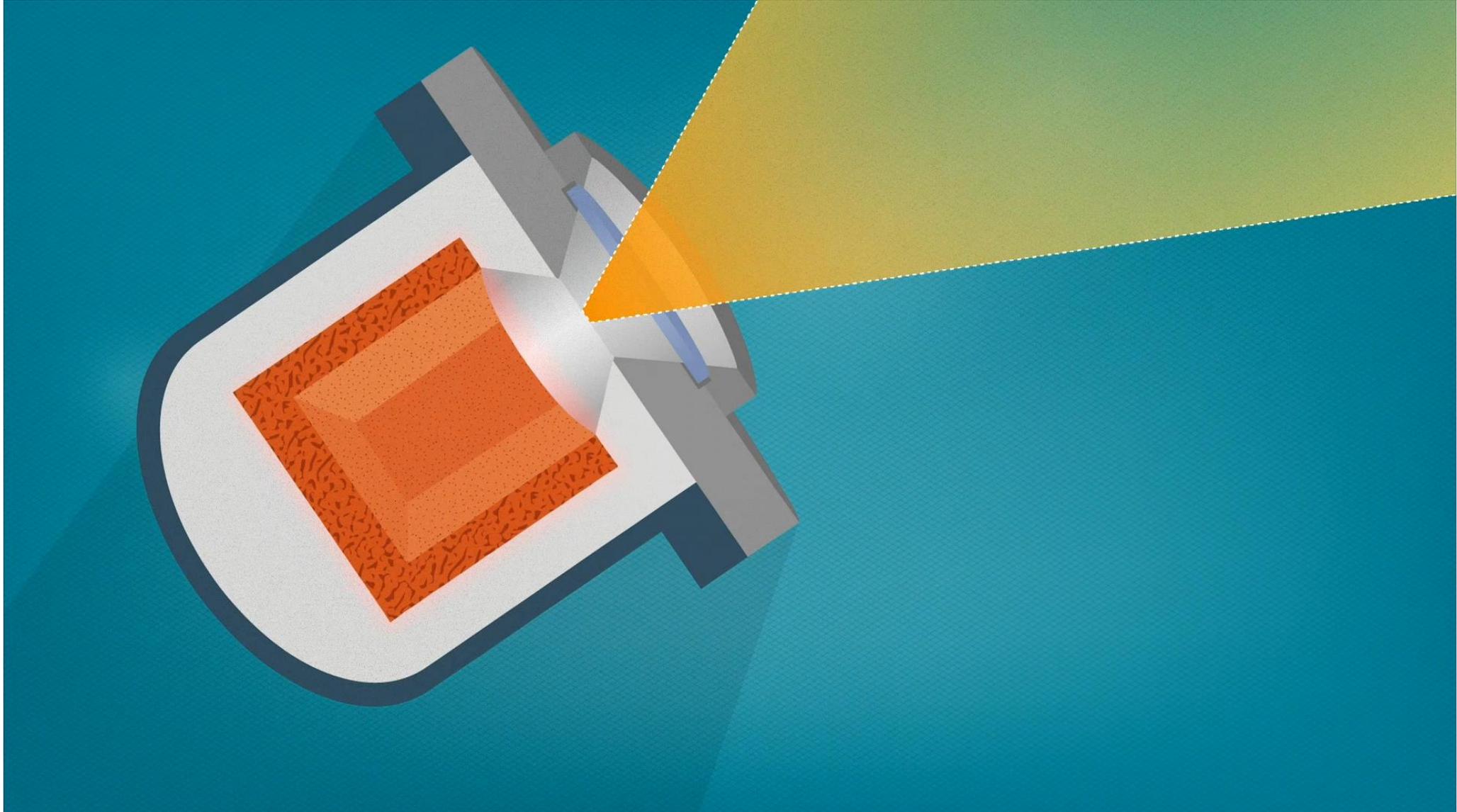


# Dish-Reaktor System

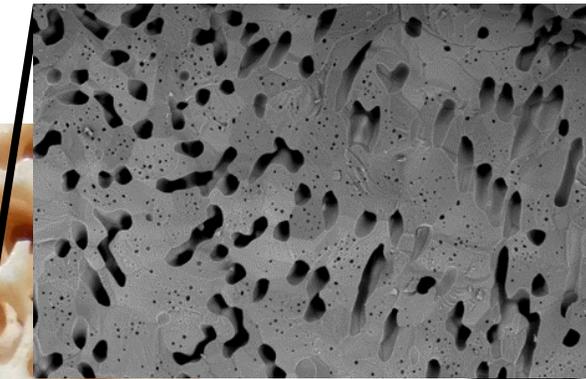
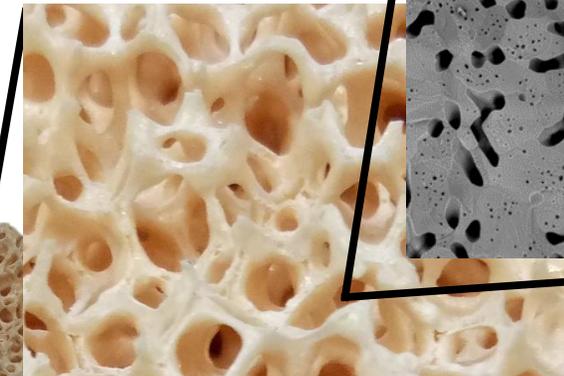
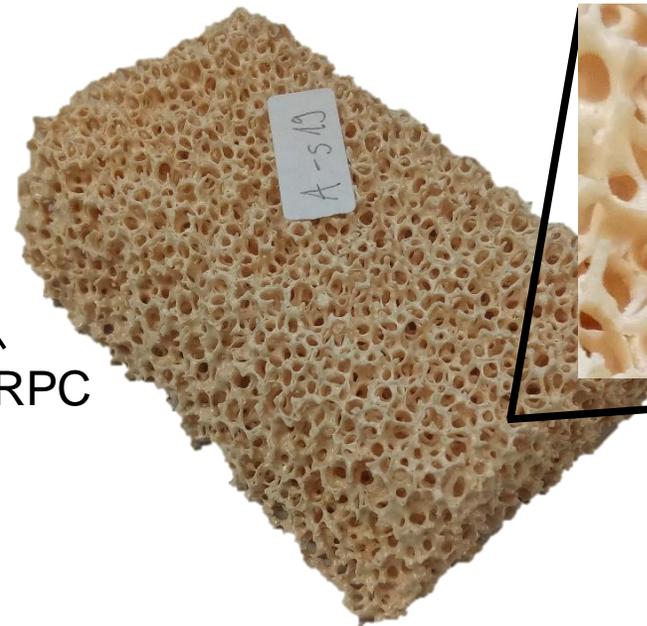
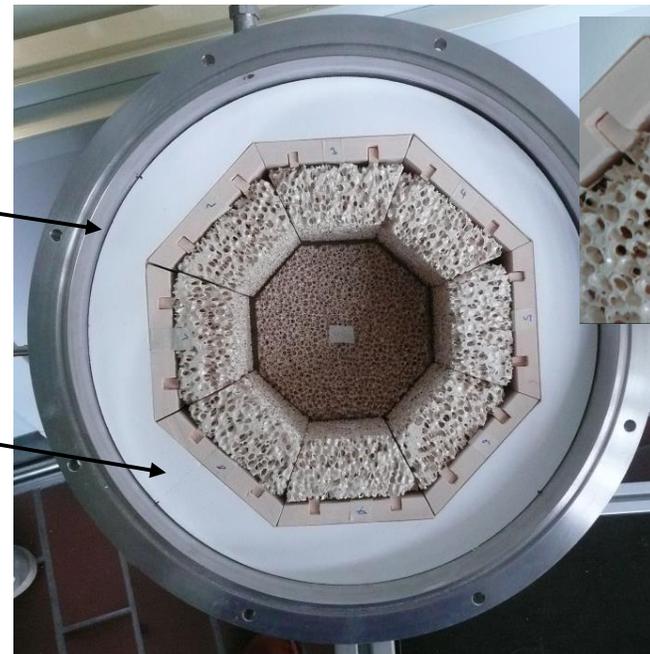
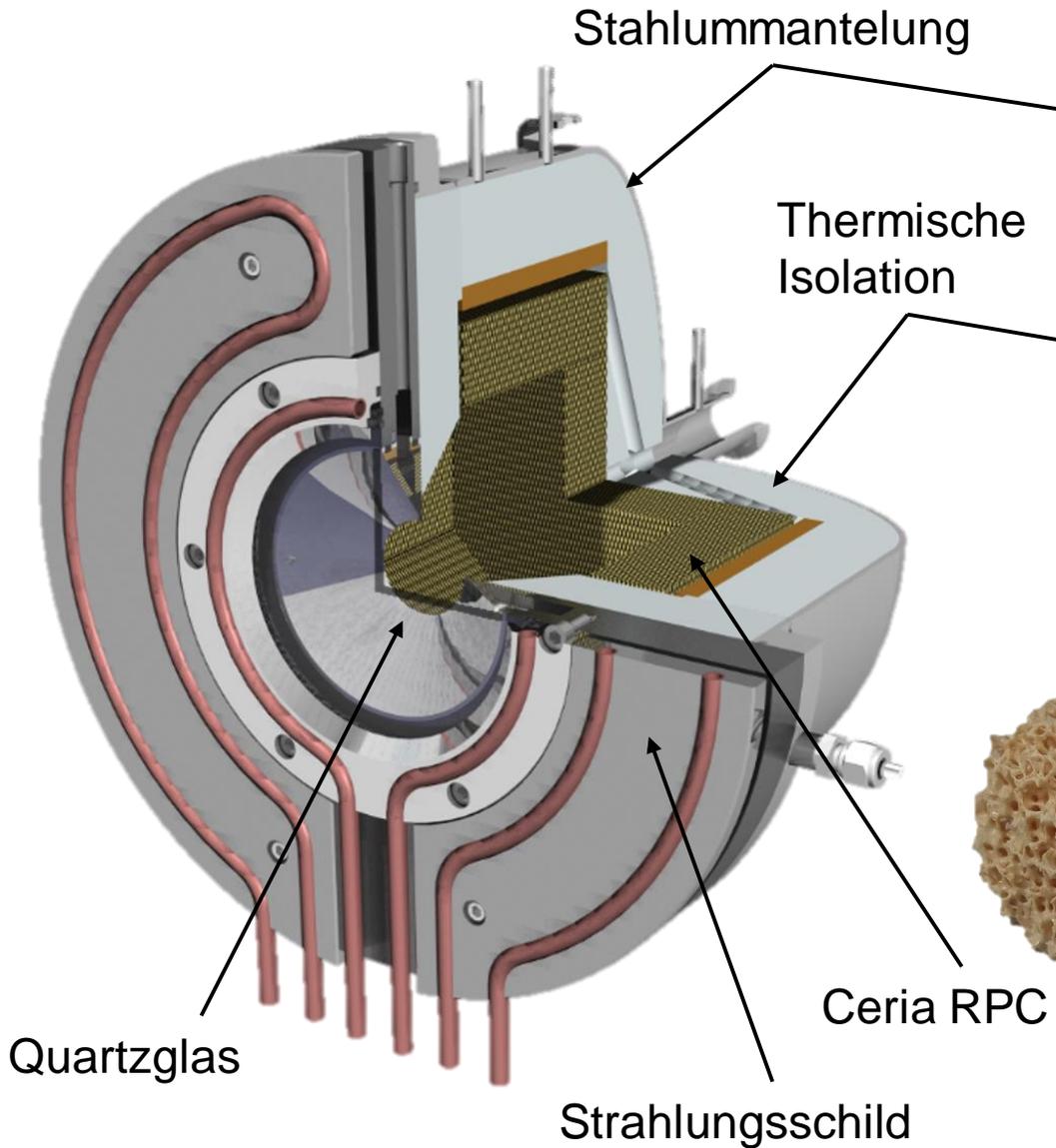


© ETH Zürich / Alessandro Della Bella

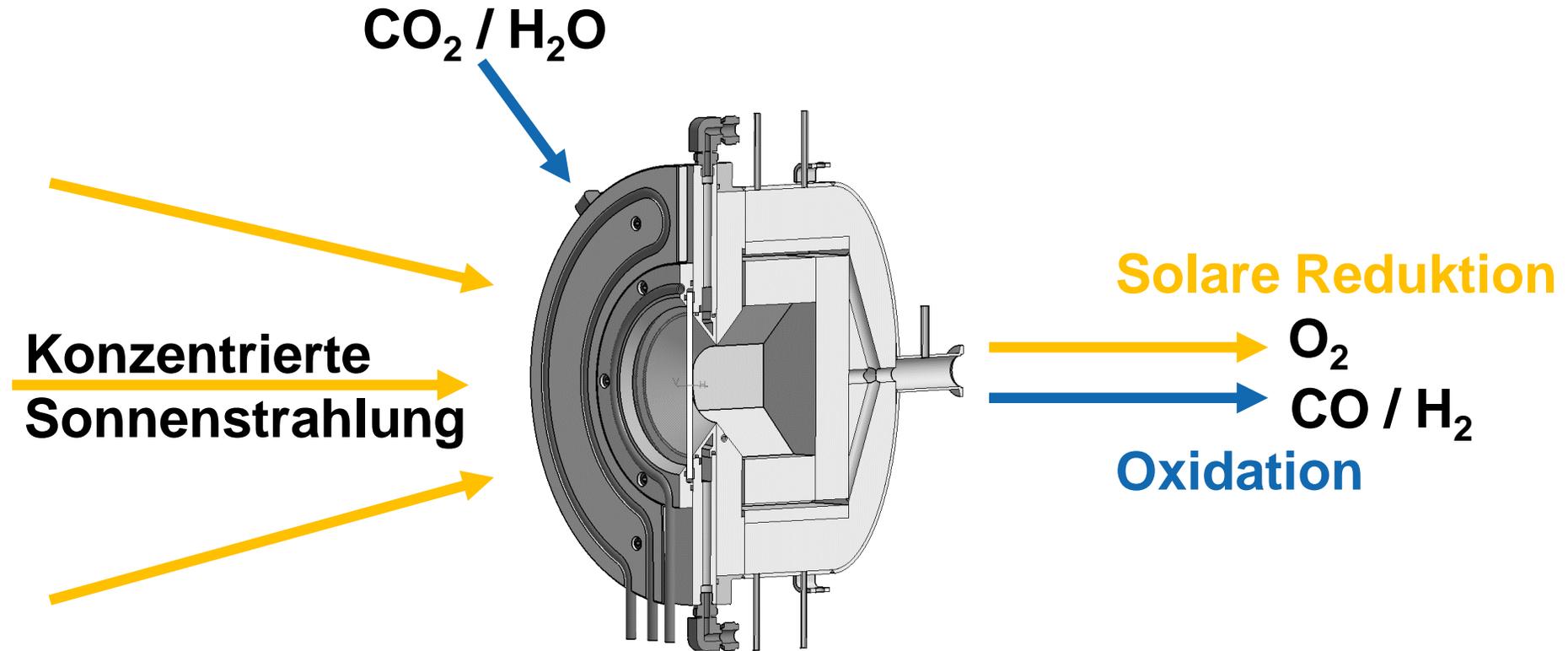
# Solarreaktor



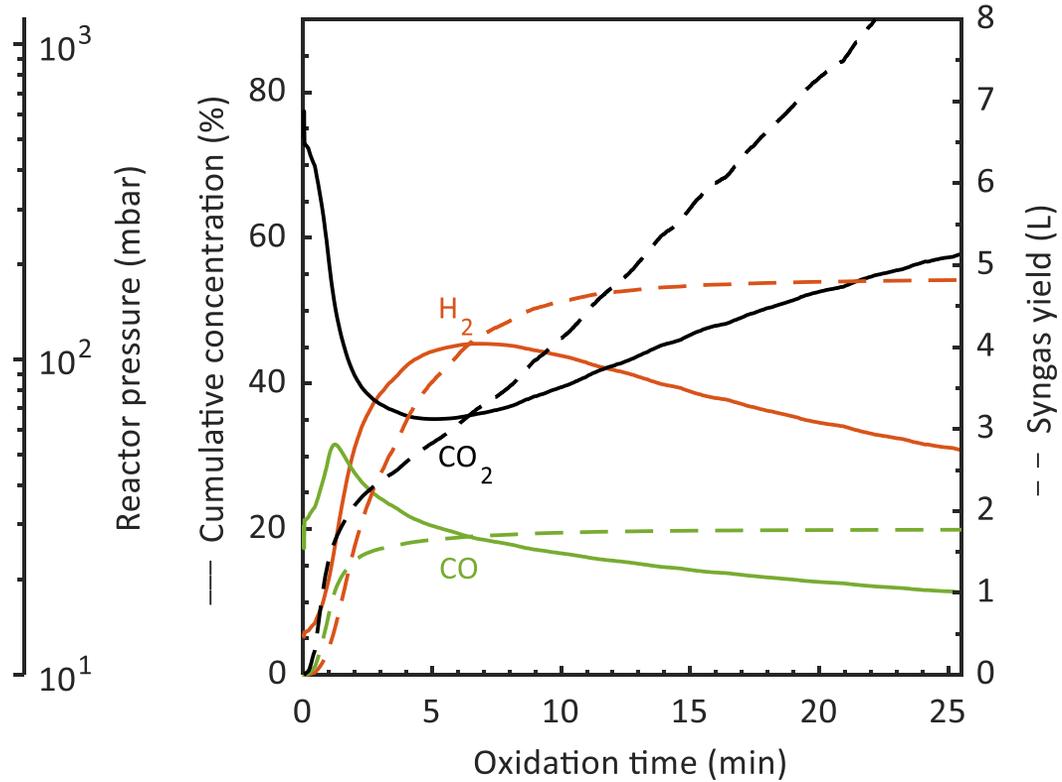
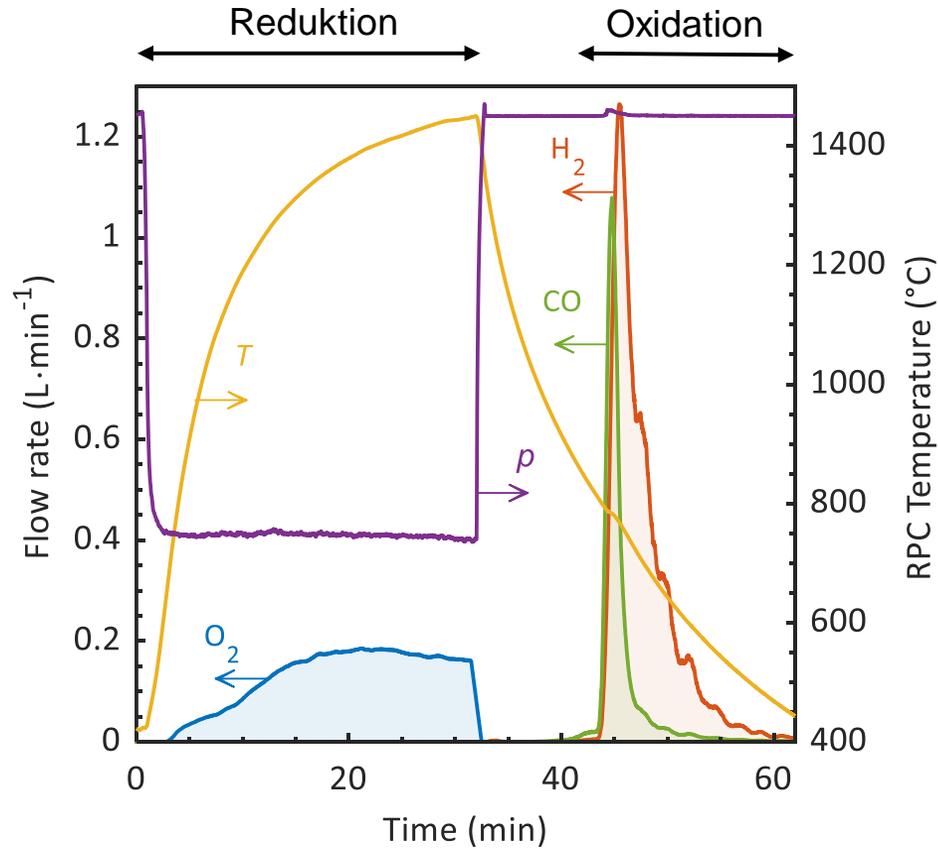
# Solarreaktor



# Solarreaktor



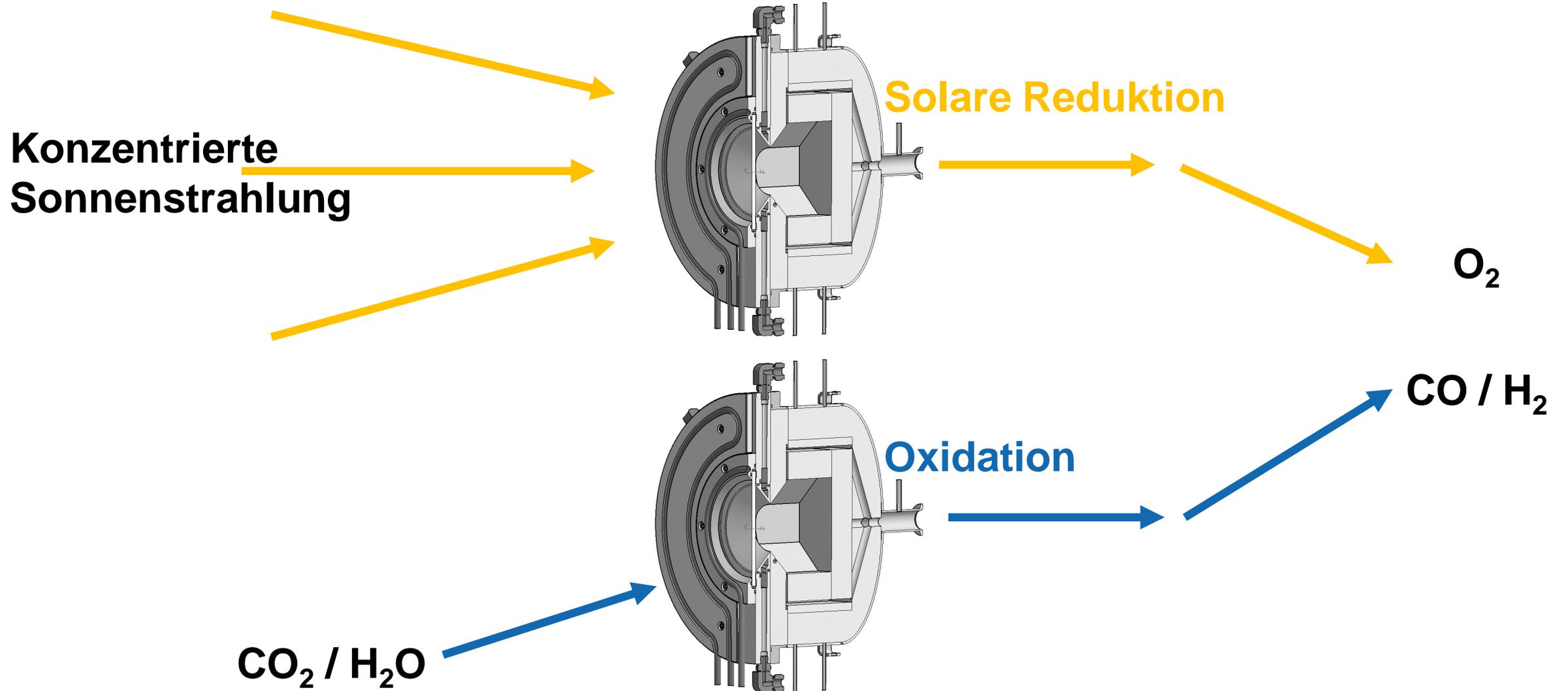
# Beispielzyklus



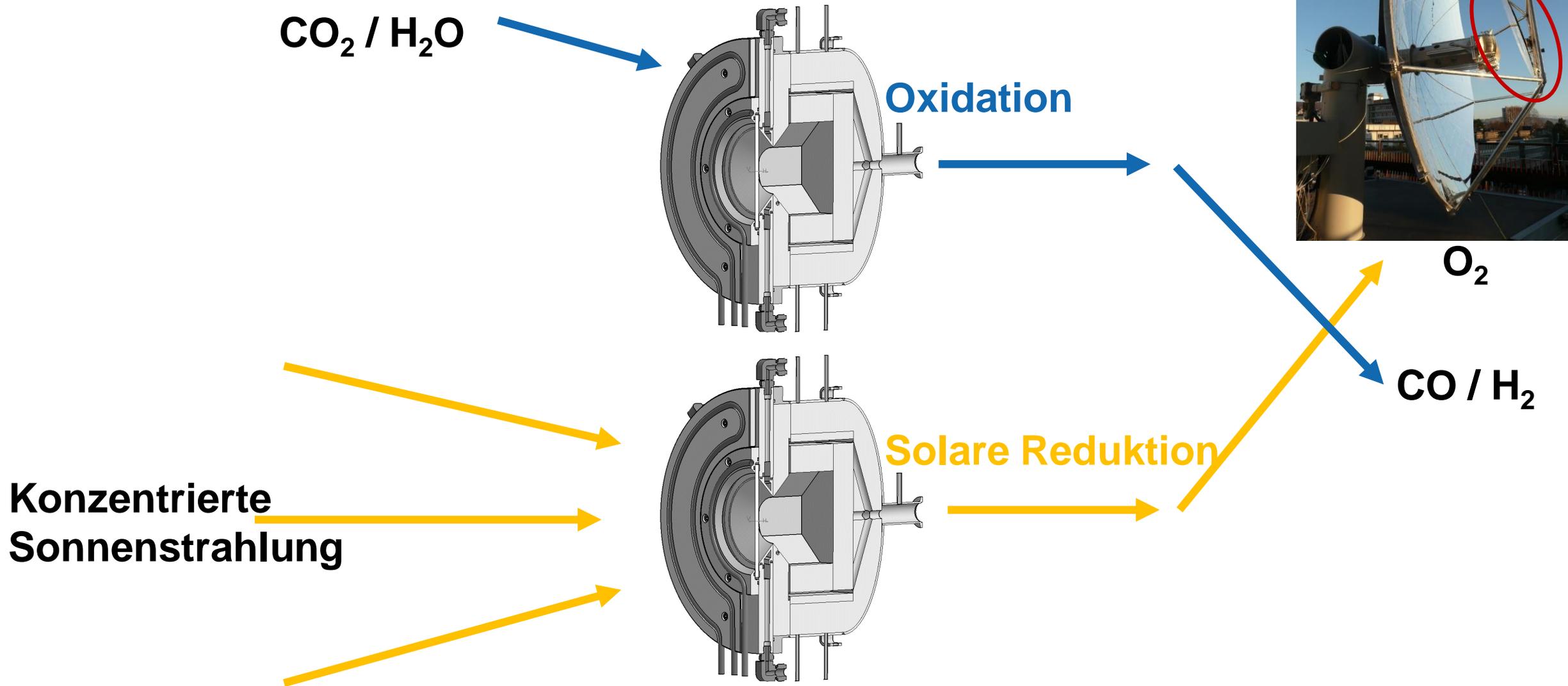
	Reduktion	Oxidation
	On-sun	Off-sun
<b>Gasstrom</b>	0.5 l/min Ar	0.2 l/min CO <sub>2</sub> 9.8 g/min H <sub>2</sub> O
<b>Druck</b>	50 mbar	1 bar

Source: Schäppi, R. et al. Drop-in Fuels from Sunlight and Air. *Nature* (2021).

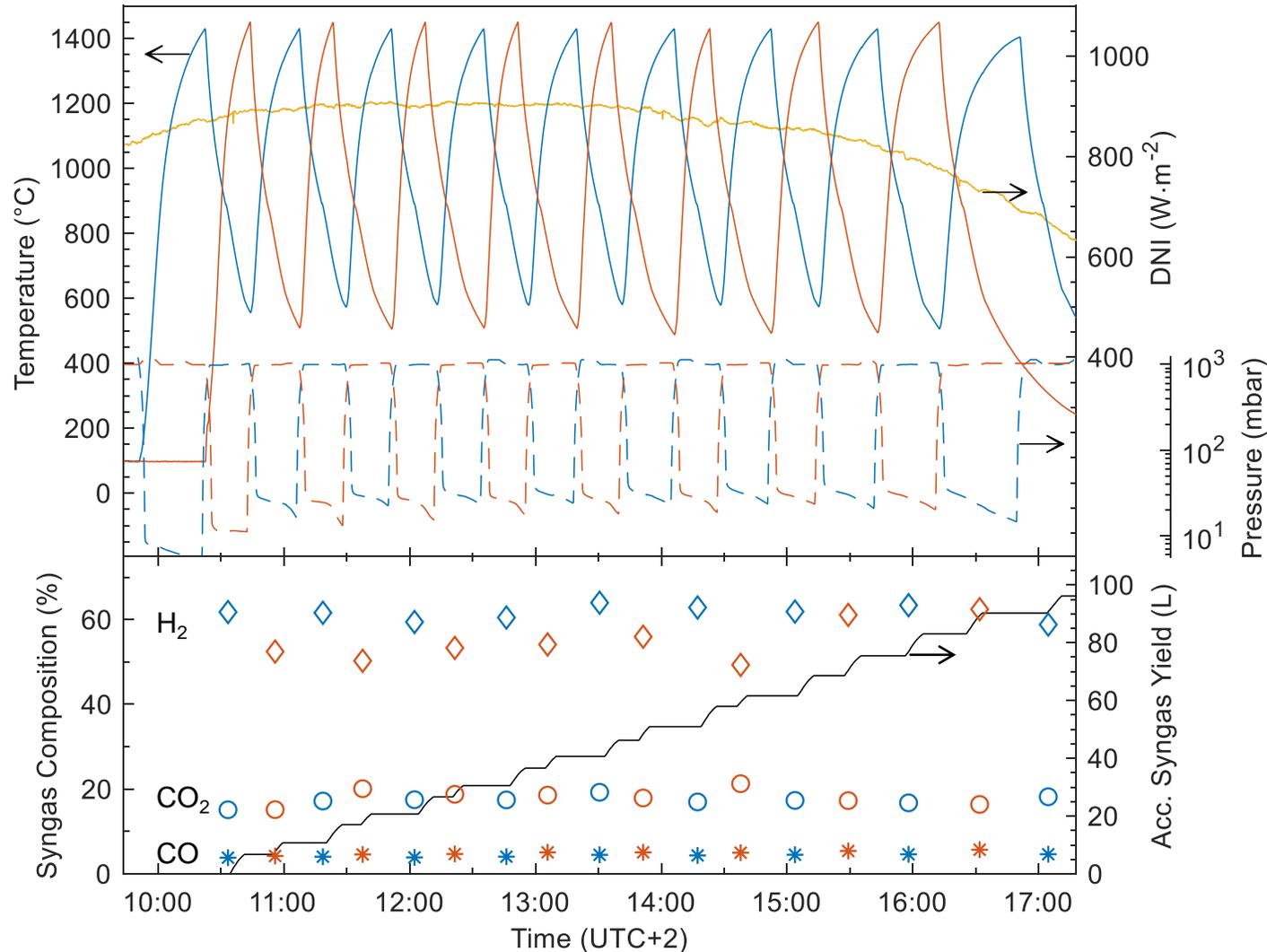
# Paralleler Betrieb zweier Reaktoren



# Paralleler Betrieb zweier Reaktoren



# Beispiel: Automatisierter Produktionstag



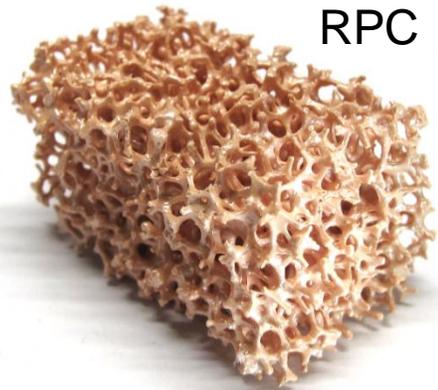
- 17 Zyklen:
  - 96.2 L Synthesegas
  - 57.2% H<sub>2</sub>, 4.4% CO, 16.8% CO<sub>2</sub>, 17.7% Ar
  - H<sub>2</sub>/CO<sub>x</sub> Verhältnis: 2.7
  - CO<sub>2</sub> Umwandlungsgrad: 21%

- **Effizienz:**

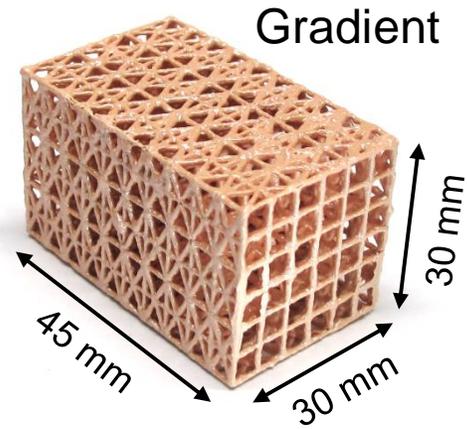
- $$\eta_{solar-to-fuel} = \frac{Q_{fuel}}{Q_{solar} + Q_{inert} + Q_{pump}} = 1.9 - 3.8\% \quad (5.6\% \text{ auf Solarturm})$$

- Optimieren der Prozessparameter
- Optimieren der keramischen Struktur
- Wärmerückgewinnung

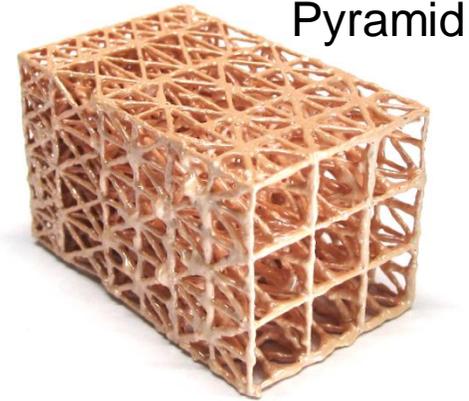
# Forschungsprojekte zur Optimierung der Keramikstruktur



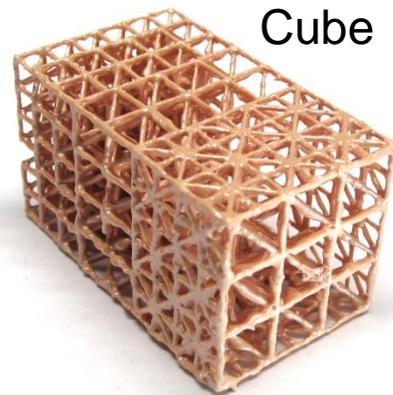
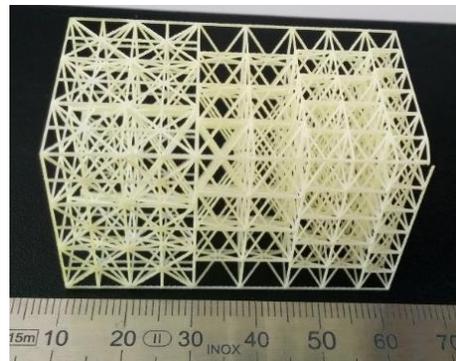
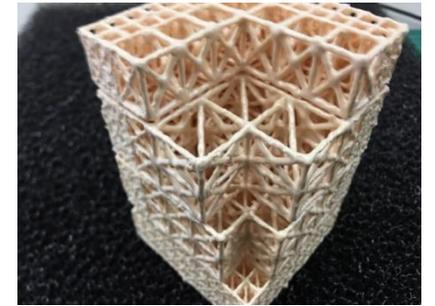
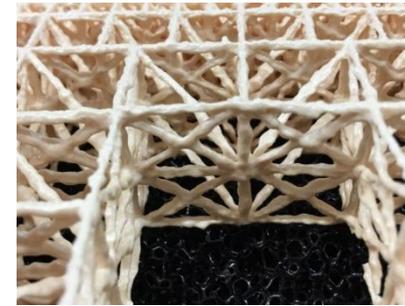
RPC



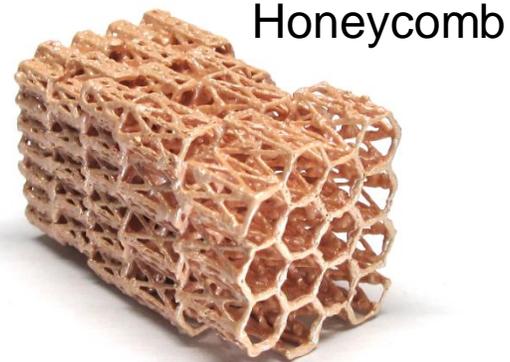
Gradient



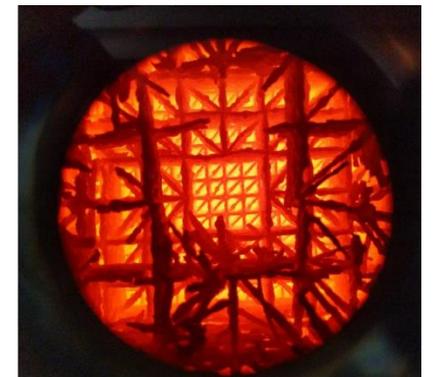
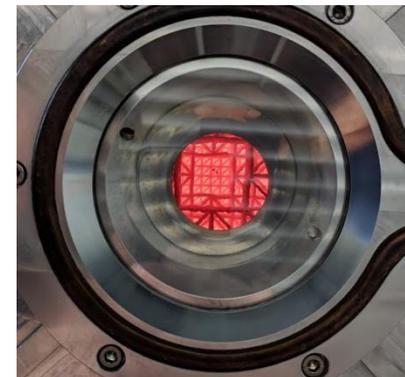
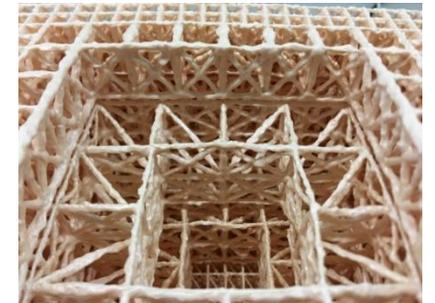
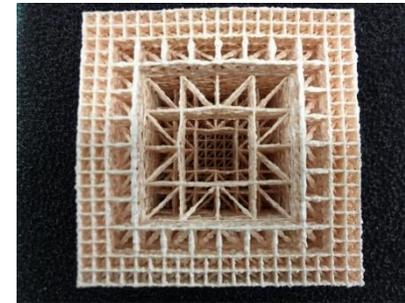
Pyramid



Cube

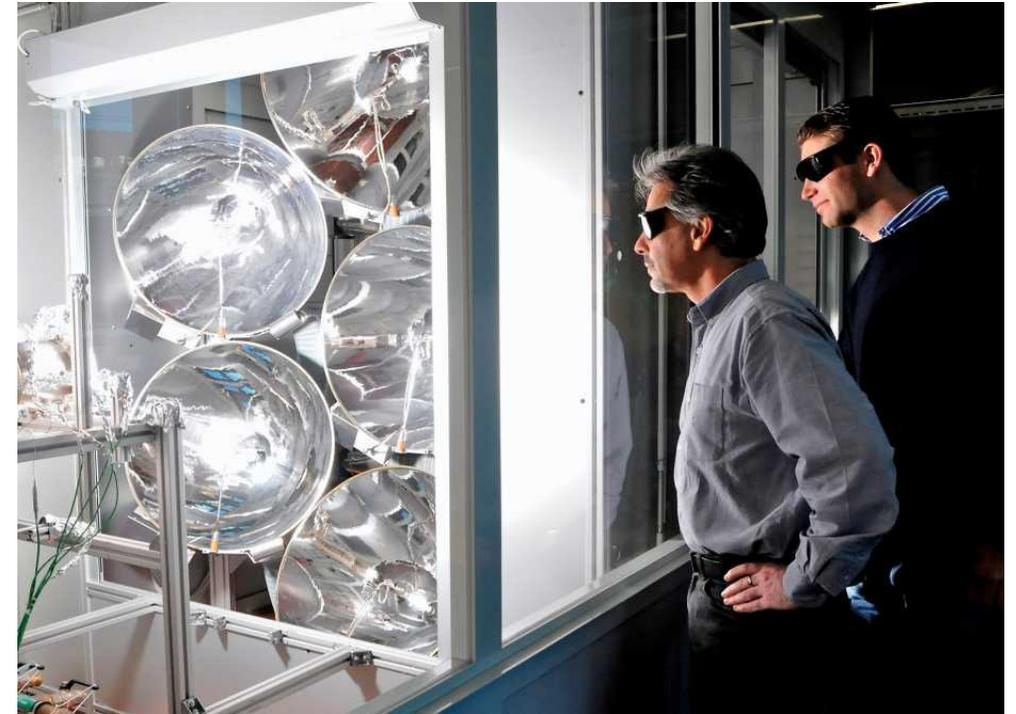
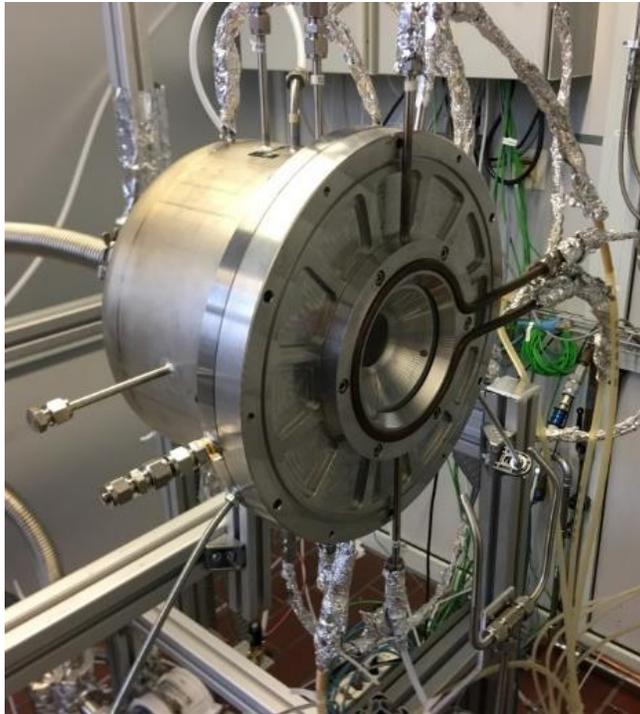


Honeycomb



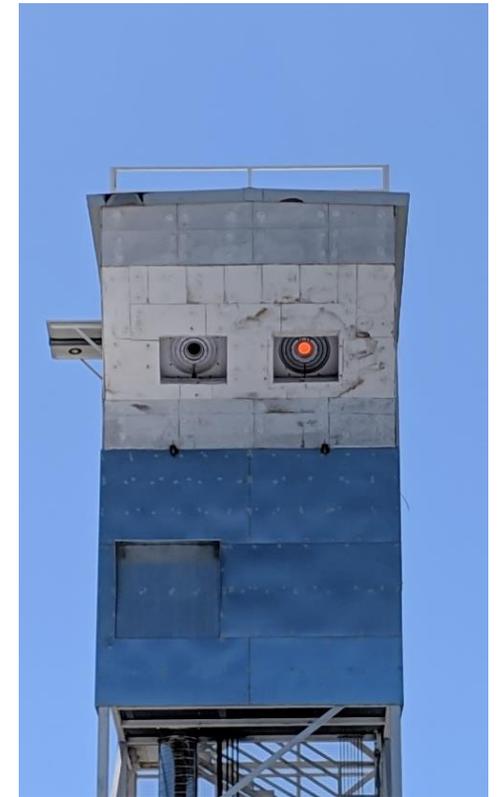
# Solarsimulator

- Indoor Testanlage für Solarreaktoren und Installationen

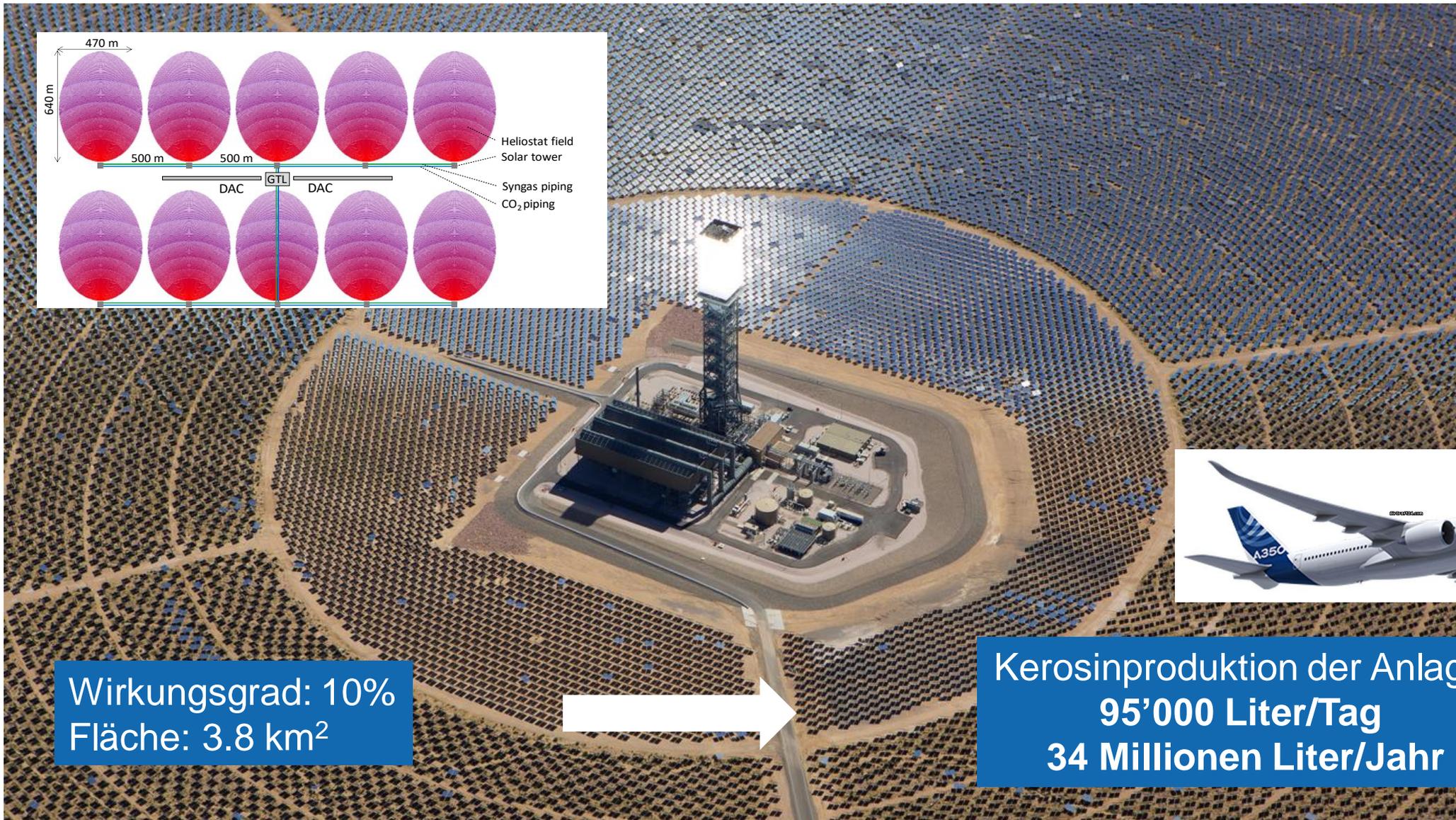


# Sun-to-liquid Projekt (Móstoles, Spanien)

- Upscaling: 50 kW Reaktor
- Turm mit 169 Heliostaten



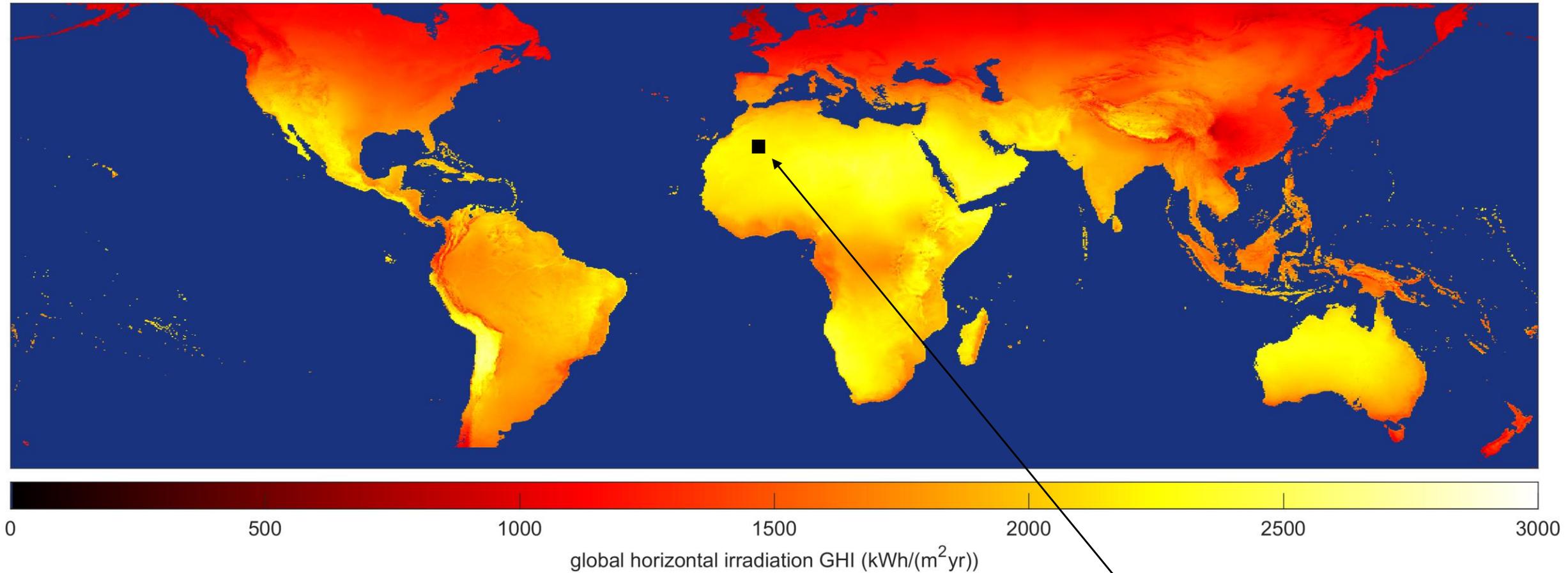
# Industrielle Produktion Beispiel: 10 x 100MW



Wirkungsgrad: 10%  
Fläche: 3.8 km<sup>2</sup>

Kerosinproduktion der Anlage:  
95'000 Liter/Tag  
34 Millionen Liter/Jahr

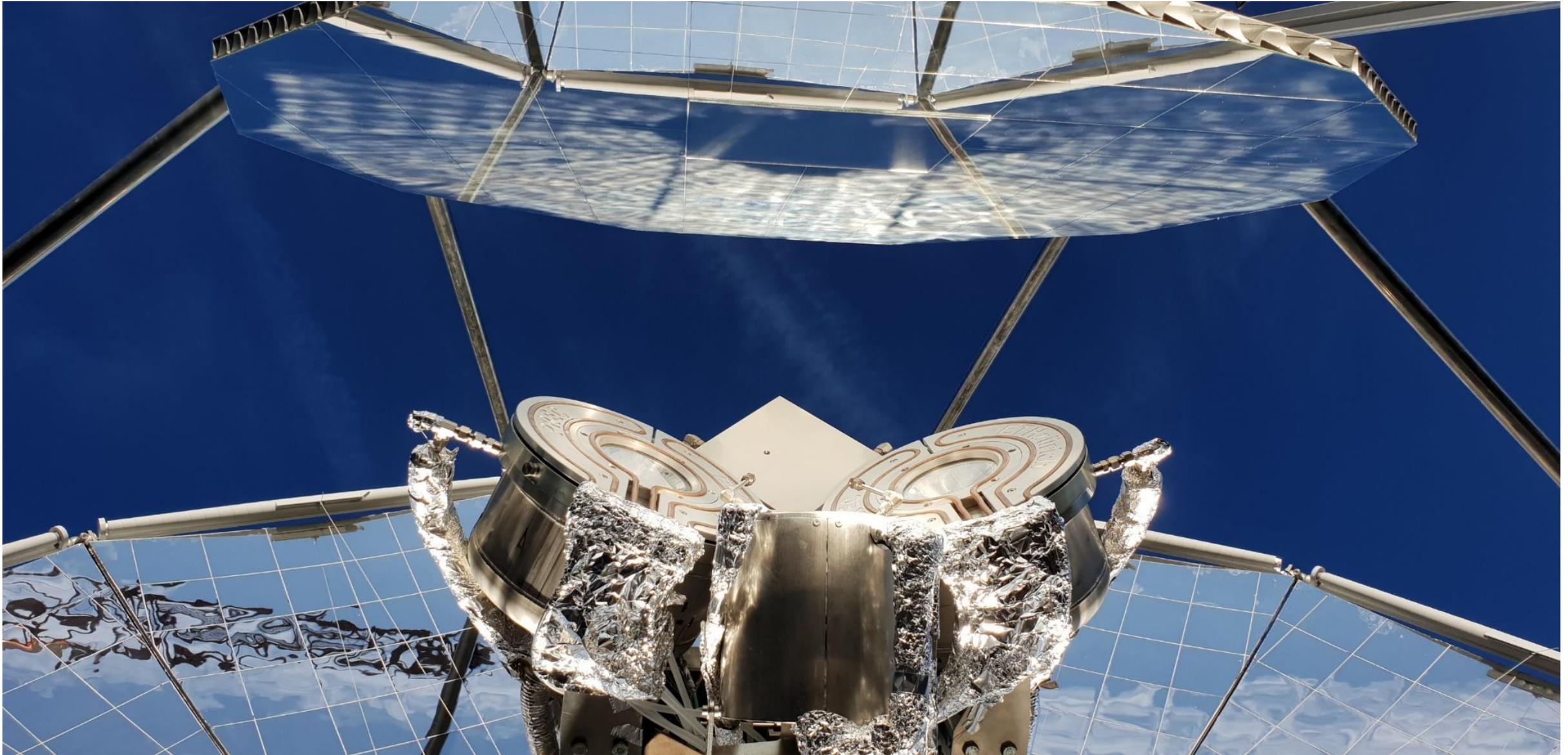
# Gibt es genügend erneuerbare Sonnenenergie?



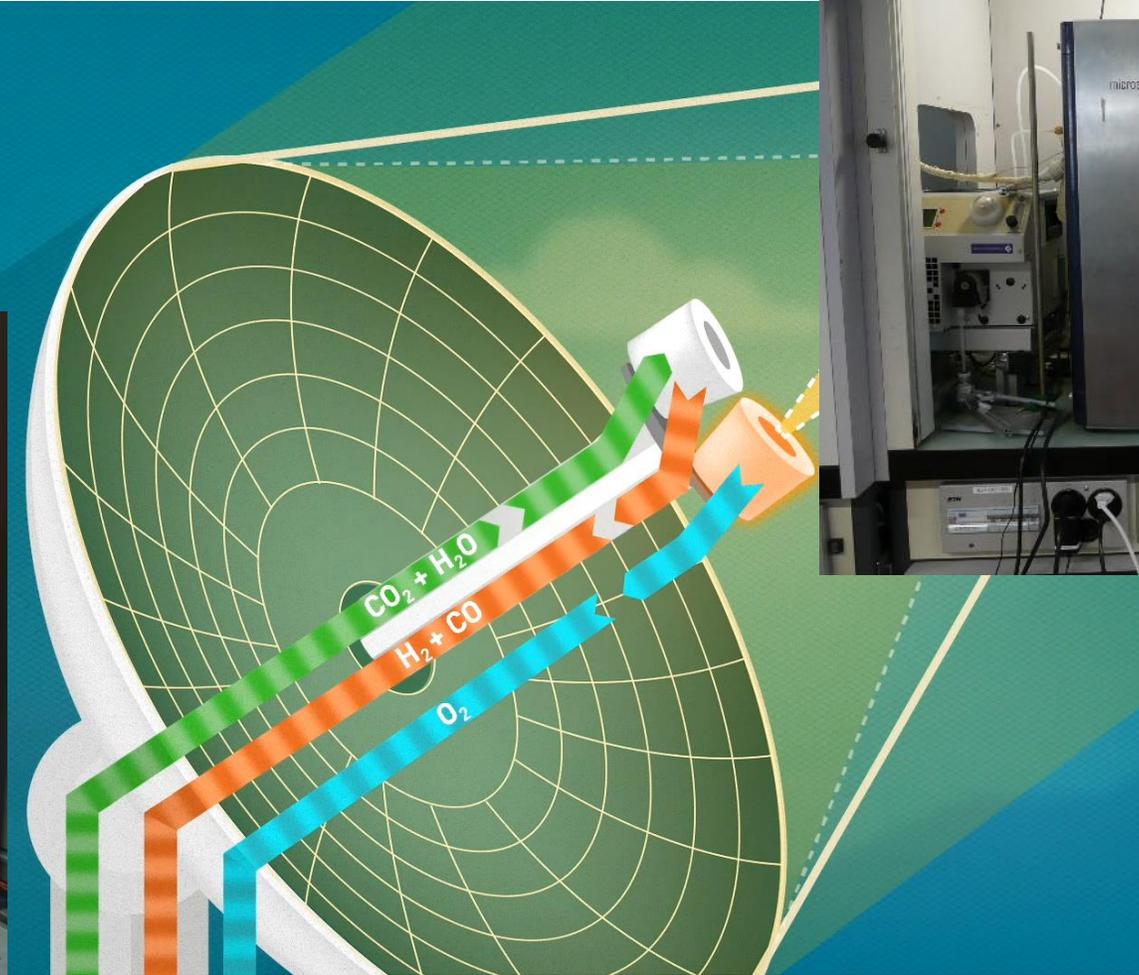
Globaler Energieverbrauch Verkehr (2018): 2.890 Gtoe =  $3.3611 \cdot 10^{13}$  kWh  
Jährliche Sonneneinstrahlung: 2000 kWh/m<sup>2</sup>  
Umwandlungswirkungsgrad: 15%



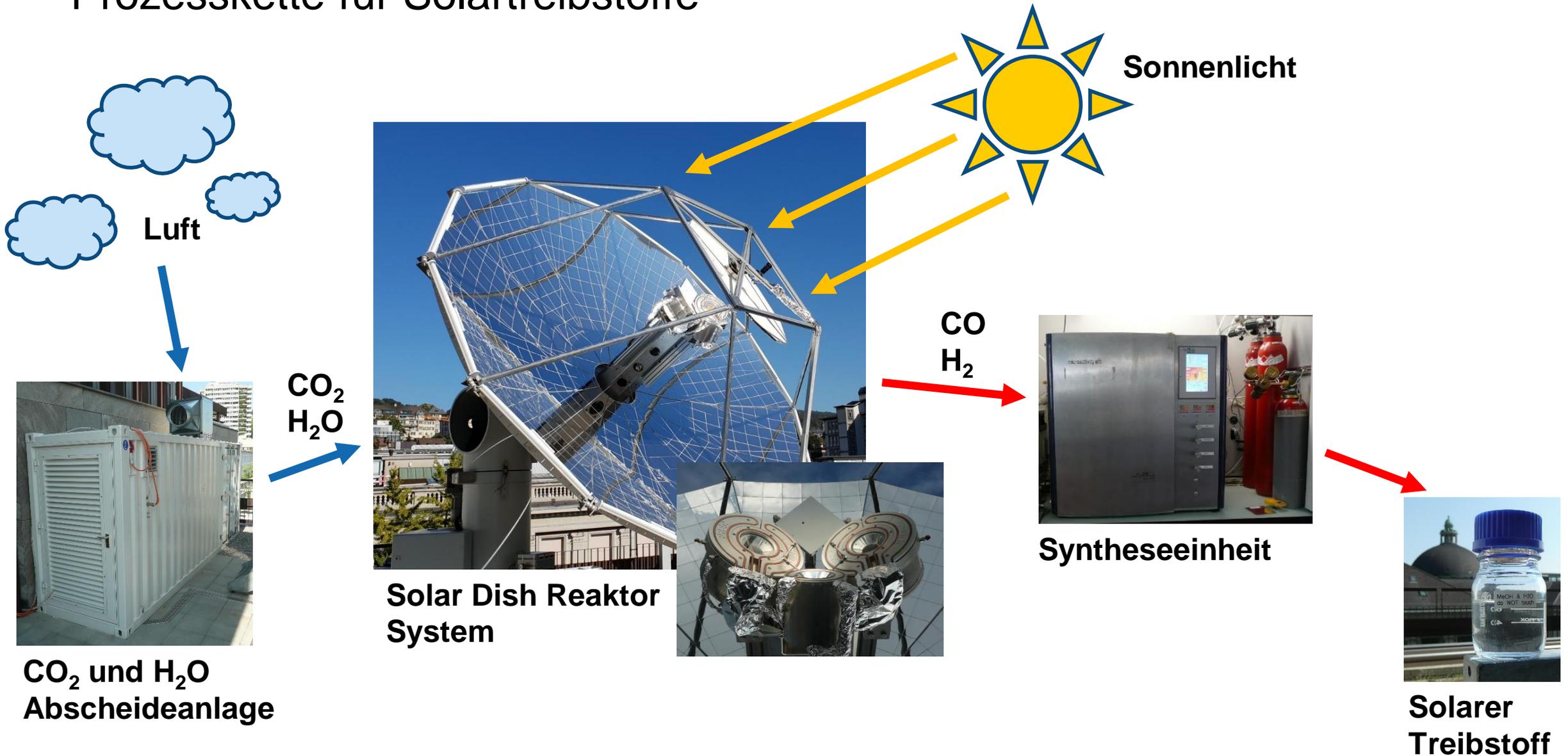
Flächenbedarf: 109'000 km<sup>2</sup>  
335 x 335 km



# Synthese zu flüssigem Treibstoff



# Prozesskette für Solartreibstoffe



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dieses Projekt wurde finanziert durch das Bundesamt für Energie (Grant No. SI/501213-01), den Schweizerischen Nationalfonds (Grant No. 206021\_170735) und den Europäischen Forschungsrat (EU ERC Advanced Grant SUNFUELS – Grant No. 320541).

