

# Erneuerbare Energie



## Solare Treibstoffe für die Luftfahrt

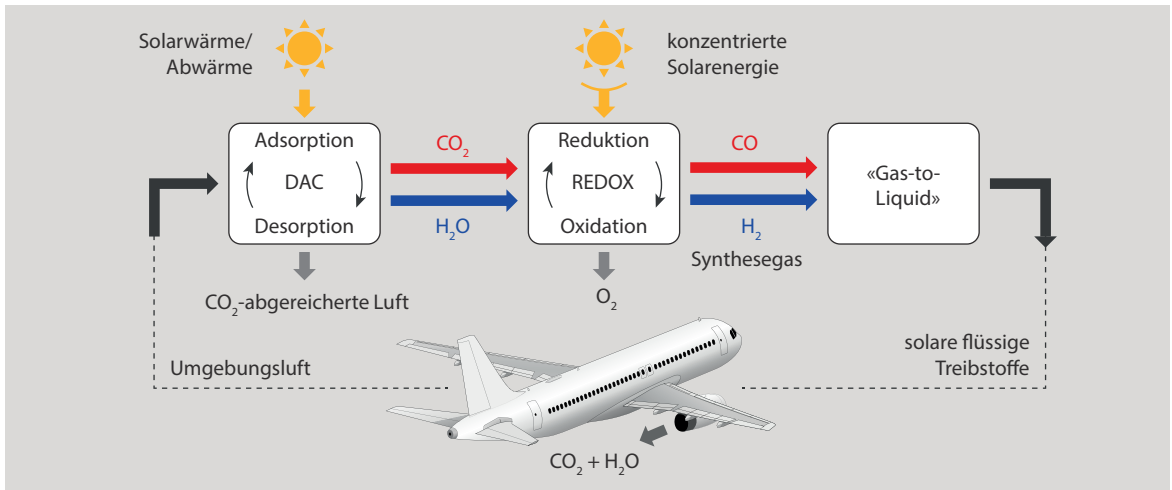
Zusammen mit dem internationalen Luftverkehr trägt der Verkehrssektor mit rund 40 % zu den Treibhausgasemissionen der Schweiz bei. Auch wenn heutige Flieger mindestens 50 % effizienter sind als noch vor 30 Jahren, stellt dieser Sektor auf Grund des grossen Wachstums die Energie- und Klimapolitik vor grosse Herausforderungen. Im Bereich der Entwicklung erneuerbarer flüssiger Treibstoffe mit konzentrierter Solarenergie sind Schweizer Akteure weltweit führend und werden dabei vom BFE in ihren Arbeiten unterstützt. Die Luftfahrtindustrie zeigt hier grosses Interesse, wie gemeinsame Absichtserklärungen mit der Lufthansa-Gruppe unterstreichen.

Forschende der Professur für erneuerbare Energieträger der ETH Zürich (Prof. Aldo Steinfeld) konnten 2019 erstmals die Herstellung von flüssigen Kohlenwasserstoffen – aus denen alle gängigen Treibstoffe bestehen – aus konzentriertem Sonnenlicht und Umgebungsluft unter realen Feldbedingungen demonstrieren. In einer solaren Mini-Raffinerieanlage auf dem Dach der ETH Zürich spaltet ein Hochtemperatur-Solarreaktor direkt aus der Luft gewonnenes Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) auf und erzeugt Synthesegas – ein Gemisch aus Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) und Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ). Dieses kann über etablierte «Gas-to-Liquid»-Verfahren zu flüssigen Kohlenwasserstoffen wie Methanol oder Kerosin verarbeitet werden. Die solarbetriebene Prozesskette (siehe Abbildung auf der Folgeseite) nutzt das gesamte Sonnenspektrum und bietet einen thermodynamischen günstigen Weg zur Herstellung von solaren Treibstoffen.

Die Technologie zur direkten Gewinnung von  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  aus der Umgebungsluft basiert auf ei-

ner thermisch getriebenen zyklischen Adsorption und Desorption, wo ein mit Aminen funktionalisiertes Sorptionsmittel angewendet wird. Die Produktion des Synthesegases erfolgt dann in einer solaren Redox-Einheit, die  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  thermochemisch über einen Reduktions-Oxidation-Zyklusprozess (Redox) unter Verwendung von Cerium als Redoxmaterial spaltet. Dabei wird in einem ersten (solaren) Schritt oxidiertes Cerium mit konzentrierter Solarenergie thermisch reduziert, wobei Sauerstoff frei wird. In einem zweiten (nicht solaren) Schritt reagiert das reduzierte Cerioxid dann mit  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$ , um Synthesegas zu erzeugen. Das Cerium wird dabei zurück oxidiert und steht für weitere Zyklen zur Verfügung. Bei der solaren Mini-Raffinerieanlage der ETH Zürich erfolgen die Absorption der Solarenergie (Receiver) und die thermochemischen Reaktion jeweils im selben Reaktor. Zwei identische Solarreaktoren kommen zum Einsatz, um beide Reaktionen – die solare Reduktion und die nicht-solare Oxidation – wechselseitig parallel durchzuführen.

**Solare Mini-Raffinerie auf dem Dach der ETH Zürich zur Produktion solarer Treibstoffe aus Luft und Solarenergie (Quelle: ETH Zürich).**



Die ETH Zürich konnte 2019 erstmals die Herstellung von solaren flüssigen Treibstoffen auf Basis von der Luft gewonnenem Wasser und Kohlendioxid und mit Einsatz von konzentrierter Solarenergie demonstrieren. Die an der ETH entwickelte Technologie wurde sowohl in einer Mini-Raffinerie direkt auf dem Dach der ETH als auch auf grösserer Skala an einer solaren Turmanlage in Madrid im Rahmen eines EU-Projektes demonstriert. Erneuerbare flüssige Treibstoffe sind insbesondere für den Flugverkehr wichtig, da es dort wenige bis keine technischen Alternativen gibt (Grafik nach ETHZ-PREC).

Aus der Forschungsgruppe von Aldo Steinfeld sind zwei ETH-Spin-offs hervorgegangen: Climeworks und Synhelion. Die Firma Climeworks hat in den letzten Jahren erfolgreich das oben beschriebene Verfahren zur Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus der Luft in ein Produkt entwickelt. Die Firma Synhelion arbeitet daran, die Technologie zur Herstellung von Solartreibstoffen auf den Markt zu bringen. Um dieses Verfahren technologisch umzusetzen, verfolgt Synhelion den Ansatz, die Absorption der Solarenergie, die Speicherung der Hochtemperaturwärme und die thermochemische Reaktion voneinander zu trennen,

um damit die Gesamteffizienz zu optimieren. In einem neu entwickelten Hochtemperatur-Solarreceiver wird das Prinzip des «Treibhauseffekts» ausgenutzt: das Gasvolumen in einer Kavität absorbiert die thermische Rückstrahlung der durch konzentrierte Solarstrahlung aufgeheizten schwarzen Rückplatte und wird dadurch stark erhitzt. Das Gas selbst (z.B. Dampf oder CO<sub>2</sub>) dient als Wärmeträger und kann gekoppelt mit einem thermischen Speicher kontinuierlich die notwendige thermische Energie für die thermochemische Spaltung von CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O in einem nicht solaren Reaktor liefern.

Nachdem dieses neuartige Receiver-Konzept zusammen mit Forschenden der Fachhochschule Tessin (SUPSI) eingehend theoretisch untersucht worden ist, wurde 2019 ein erster Pilotreaktor auf der Skala von 200 kW am 300 kW-Solarsimulator des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) äusserst erfolgreich getestet. Mit Dampf als Absorbergas werden Dampftemperaturen von über 1550 °C erreicht.



Neuartiges Solar-Receiver-Konzept der Firma Synhelion AG mit Strahlungsübertragung an Gas als Wärmeträger (Grafik nach Synhelion). Ein 200 kW-Pilotreaktor (Quelle: Synhelion) wurde 2019 am Solarsimulator des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (rechts, Quelle: DLR/M. Hauschild) erfolgreich getestet und es werden Temperaturen von über 1550 °C erreicht.

