

Sun2Carb

Recycling Industrial CO₂ to Carbonates via Solar-Driven Photoreactors Based on 3D-Printed Catalyst

| | | | |
|---------------------------------|--|------------------------|------------|
| Programm / Ausschreibung | Energieforschung (e!MISSION), Energieforschung, Energieforschungsprogramm 2025 (KLIEN AV 24) | Status | laufend |
| Projektstart | 01.09.2026 | Projektende | 31.08.2029 |
| Zeitraum | 2026 - 2029 | Projektlaufzeit | 36 Monate |
| Projektförderung | € 1.152.898 | | |
| Keywords | CCU, CO ₂ zu Mehrwertmolekülen, Photoreaktor, zirkuläre Kohlenstoff-Wertschöpfungskette | | |

Projektbeschreibung

Zur Erreichung der Klimaneutralität in Österreich bis 2040 sind innovative Technologien zur CO₂-Abscheidung und -Verwertung (CCU) erforderlich, die unvermeidbare Emissionen in wertvolle Produkte umwandeln und gleichzeitig den Energiebedarf minimieren. Bestehende nationale Leitprojekte wie C2PAT, CCUscale und C4CHEM basieren auf wasserstoff- oder wärmegetriebenen CO₂-Umwandlungsprozessen bei 200–800 °C und 10–30 bar. Diese Verfahren sind im großtechnischen Maßstab effizient, jedoch für dezentrale Emittenten wie Biogasanlagen oder kleinere Industriebetriebe ungeeignet. Sun2Carb schließt diese technologische Lücke durch die Entwicklung eines solargetriebenen, druckarmen CCU-Prozesses, der erfasstes CO₂ und Epoxid-Korreagenzien unter milden Bedingungen (< 60 °C, < 1,5 bar) in rezyklierbare organische Carbonate umwandelt. Diese ungiftigen, hochwertigen Produkte werden als Batterie-Elektrolyte (InoBat, Kreisel Electric), grüne Lösungsmittel (BASF, Borealis) und Polymer-Vorprodukte (Covestro) eingesetzt.

Aufbauend auf TRL 3-Ergebnissen, bei denen hybride Au/TBD-plasmonische Katalysatoren die CO₂-Aktivierung unter sichtbarem Licht ermöglichten, wird Sun2Carb auf TRL 5 weiterentwickelt – durch eine integrierte Design-to-Device-Strategie, die Simulation, additive Fertigung und Nachhaltigkeitsbewertung kombiniert:

- (1) Multiskalen-Modellierung von Photonenausbreitung, elektromagnetischen Feldern und Gastransport zur Optimierung der Reaktorgeometrie;
- (2) Additive Fertigung metallischer und transparenter keramischer Reaktorkomponenten mit hoher optischer Transparenz (> 70 %) und mechanischer Festigkeit (≥ 5 MPa);
- (3) Katalysatorbeschichtung und Superbase-(TBD)-Funktionalisierung zur CO₂-Adsorption und Aktivierung unter nahezu Umgebungsbedingungen;
- (4) Aufbau und Automatisierung eines kontinuierlichen Solar-Photoreaktors mit Gasaufbereitung und in-situ-Überwachung für reale Gasströme.

Das österreichische Konsortium vereint komplementäre Expertise entlang der gesamten CCU-Wertschöpfungskette:

- TU Wien (plasmonische Katalysatoren, Multiskalen-Simulationen);
- Redeem Solar Technologies (Reaktorauslegung, Bau von Solar-Flow-Systemen);

- Lithoz GmbH (transparente keramische 3D-Fertigung für Katalysatorträger);
- FOTEC (Automatisierung, metallische additive Fertigung);
- FH Wiener Neustadt - Campus Wieselburg (LCA/TEA, Recycling und Wiederverwendung).

Diese interdisziplinäre Zusammensetzung schafft eine geschlossene Innovationskette von der Materialentwicklung über das Reaktordesign bis zur Nachhaltigkeitsbewertung – einzigartig in der österreichischen CCU-Landschaft.

Das Projekt liefert einen validierten Solar-Photoreaktor-Prototyp, der eine stabile CO₂-Umwandlung in verschiedene organische Carbonate mit quantitativen Ausbeuten und ohne Katalysatordeaktivierung über ≥ 100 h Dauerbetrieb demonstriert. Ökobilanz- (LCA) und techno-ökonomische Analysen (TEA) belegen mindestens 30 % geringeren Energiebedarf und eine vergleichbare CO₂-Fußabdruck-Reduktion gegenüber thermischen oder H₂-basierten Verfahren. Sun2Carb etabliert damit eine energieeffiziente, dezentrale, lichtgetriebene CCU-Plattform, ergänzt bestehende Großinitiativen wie C2PAT und CCUscale und positioniert Österreich als europäischen Vorreiter in der solar-basierten Kohlenstoff-Valorisierung. Zudem eröffnet das Projekt neue industrielle Chancen für österreichische KMU in den Bereichen Photonik, Katalyse und nachhaltige Fertigung und stärkt langfristig Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit.

Abstract

Achieving climate neutrality in Austria by 2040 requires innovative carbon-capture-and-utilisation (CCU) technologies that can transform unavoidable CO₂ emissions into valuable products while minimising energy demand. Current Austrian flagship projects such as C2PAT, CCUscale, and C4CHEM rely on hydrogen- or heat-driven CO₂ conversion at 200–800 °C and 10–30 bar, which is efficient at scale but unsuitable for decentralised emitters such as biogas plants or small industries. Sun2Carb addresses this technological gap by developing the solar-driven, low-pressure CCU process capable of converting captured CO₂ and epoxide co-reactants into recyclable organic carbonates under mild conditions ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1.5 bar). These non-toxic, high-value products are used as battery electrolytes (InoBat, Kreisel Electric, AVL), green solvents (BASF, Borealis) Building on TRL 3 laboratory results, where hybrid Au/TBD plasmonic catalysts achieved visible-light CO₂ activation, Sun2Carb advances to TRL 5 through a comprehensive design-to-device approach integrating simulation, additive manufacturing and sustainability analysis:

- (1) Multi-scale modelling of photon propagation, electromagnetic fields and gas transport to optimise reactor geometry;
- (2) Additive manufacturing of metallic and transparent-ceramic reactor components with high optical transparency (> 70 %) and mechanical strength (≥ 5 MPa);
- (3) Catalyst coating and superbase (TBD) functionalisation enabling CO₂ capture and activation at near-ambient conditions;
- (4) Construction and automation of a continuous solar photoreactor with gas-conditioning and in-situ monitoring modules.

The Austrian consortium unites unique interdisciplinary expertise across the full CCU value chain: TU Wien (plasmonic catalysts, simulations), Redeem Solar Technologies (reactor engineering and scaling), Lithoz GmbH (transparent-ceramic 3D printing), FOTEC (automation and metallic additive manufacturing) and FH Wiener Neustadt - Campus Wieselburg (LCA/TEA, recycling and reuse). This composition creates a closed innovation loop from fundamental materials research to validated device demonstration.

The project will deliver a validated solar-driven photoreactor prototype demonstrating stable CO₂ conversion into multi-carbonates with quantitative yields and no catalyst deactivation over ≥ 100 h operation. LCA and TEA will confirm at least 30 % lower energy demand and CO₂-footprint reduction versus thermal or hydrogen-based CCU routes. Sun2Carb thus pioneers a low-energy, decentralised, light-driven CCU platform complementary to existing large-scale initiatives, establishing Austria's leadership in solar-based carbon valorisation and providing new industrial opportunities for SMEs in photonics, catalysis and sustainable manufacturing

Projektkoordinator

- Technische Universität Wien

Projektpartner

- FOTEC Forschungs- und Technologietransfer GmbH
- Redeem Solar Technologies GmbH
- Lithoz GmbH