

Wie lässt sich abgeschiedenes CO₂ zukünftig im großen Stil und mit hoher heimischer Wertschöpfung nutzen? Wie können für Wien relevante Verwertungspfade für hochwertige Anwendungen und langfristiger CO₂-Bindung aussehen?

Energieversorgung — Thema 1.5: CO₂-Kreislaufführung · Status: drafted · Quellen: 5 · Bewertet: 2026-06-24 · Modell: claude-opus-4-8@prompts/synthesis.v2.md

KI-Eignungs-Score: **MITTEL**

Sum D1+D2+D3+D4 = 2+3+2+2 = 9 → medium. Mehrere KI-Aufgabentypen kombinierbar (Optimization der Konversionsprozesse und Supply-Chains, Prediction von Produkt-/Marktnachfrage für Verwertungspfade, Simulation/LCA-Screening konkurrierender Pfade, Pattern-Recognition für Katalysator-/Prozess-Auswahl). Datenlage fragmentiert über Anlagen, Märkte und LCA-Datenbanken → D1=2. Methoden-Reife hybrid: LCA-/TEA-Modellierung und ML-gestützte Katalysator-Suche etabliert in F&E, integrierte KI-Pfad-Optimierung im Aufbau → D3=2. Ethik/Recht moderat: keine personenbezogenen Daten, industrielle/markt-bezogene Daten → Standard-Compliance, EU-AI-Act Annex III nicht berührt → D4=2.

Anwendungsfälle:

- Simulation/LCA-Screening konkurrierender Wiener Verwertungspfade (Mineralisierung in Baustoffen, e-Methanol/e-Fuels aus Klärgas-CO₂, biologische Methanisierung) zur Priorisierung nach Wertschöpfung, Netto-Klimanutzen und CO₂-Bindungsdauer.
- Optimization der Substrat-/Energie-/Produkt-Supply-Chain eines CO₂-Verwertungspfads (CO₂-Quelle ↔ erneuerbarer Strom/H₂ ↔ Produktmarkt) unter saisonaler Energie- und Nachfrage-Prognose für eine wirtschaftliche, regional wertschöpfende Auslegung.

Methodische Grundlagen

- **Datenbanken:** Wien-OGD (data.wien.gv.at), ebswien-/Stadt-Wien-Publikationen, Scopus, Crossref, Nature, MDPI-OA, Frontiers-OA, IPCC-AR6-Reports
- **Suchstrings:** „CO₂ utilization pathways chemicals fuels mineralization value-added“, „technological economic prospects CO₂ utilization removal durability“, „life-cycle techno-economic assessment carbon capture utilization“, „biological methanation CO₂ sewage sludge Austria“
- **Datum:** 2019-01-01 — 2026-06-24
- **Letzter Suchlauf:** 2026-06-24
- **Einschluss:** Wien-Bezug/AT/EU-übertragbar; ≥2019; peer-reviewed oder institutionell; DE/EN; Volltext; expliziter Bezug zu CO₂-Verwertungspfaden, Wertschöpfung oder langfristiger CO₂-Bindung.
- **Ausschluss:** Conference-Abstracts ohne Proceedings; Predatory Journals; Pre-Print ohne Akzeptanz; reine Capture-Hardware-Studien ohne Verwertungs-/Bindungsbezug.
- **Gesichtete Treffer:** ~36 **Aufgenommene Quellen:** 5

Stand der Forschung

CO₂-Verwertungspfade unterscheiden sich fundamental in Wertschöpfung und Bindungsdauer: Pfade über Chemikalien, Kraftstoffe und Mikroalgen mindern Emissionen, binden CO₂ aber nur kurz (zyklisch) und haben begrenztes Netto-Entnahme-Potenzial, während mineralisierende/karbonatisierende Pfade (Baustoffe, Gestein) und geologische

Speicherung dauerhafte Bindung bieten (*high confidence; robust evidence, high agreement*) [[2019-hepburn-co2-utilization-removal]]. Der Netto-Klimanutzen energieintensiver Konversionspfade (e-Fuels, Chemikalien) hängt zwingend an dekarbonisierter Energie und der Verdrängung fossiler Referenzprodukte; ohne konsistente LCA/TEA werden Wertschöpfungs- und Klimaaussagen unvergleichbar (*medium confidence; medium evidence, medium agreement*) [[2022-zimmermann-ccu-lca-techno-economic]]. Utilization wirkt zudem als Kostenhebel der gesamten CCUS-Kette [[2023-zhao-co2-capture-storage-review]]. Für Wien existiert mit der biologischen Methanisierung des Klärgas-CO₂ ein konkreter regionaler Verwertungspfad mit national hochgerechnetem Mehrpotenzial [[2021-tauber-biological-methanation-sewage-sludge-at]]. Der IPCC priorisiert knappes CO₂-Management für schwer vermeidbare Rest-Emissionen [[2022-ipcc-ar6-wg3-energy-systems]].

Forschungslücken

Es fehlt eine Wien-spezifische, vergleichende Bewertung konkurrierender Verwertungspfade (Mineralisierung/Baustoffe vs. e-Methanol vs. biologische Methanisierung) nach heimischer Wertschöpfung, Netto-Klimanutzen und Bindungsdauer mit lokalen Energie-/Marktdaten — die vorliegenden Pfad-Taxonomien sind global und nicht Wien-regionalisiert [[2019-hepburn-co2-utilization-removal]]. Real-Betriebsdaten zur Methan-Mehrausbeute und Wirtschaftlichkeit der biologischen Methanisierung im Wiener Maßstab fehlen; die Werte sind labor-/hochrechnungsbasiert und nicht durch Demonstrations-Betrieb belegt (*medium confidence; limited evidence, medium agreement*) [[2021-tauber-biological-methanation-sewage-sludge-at]]. Auch die Frage, welcher Pfad bei knappem erneuerbarem Strom/H₂ regional den höchsten Wertschöpfungs-pro-Energieeinheit-Beitrag liefert, ist für Wien nicht quantifiziert [[2022-zimmermann-ccu-lca-techno-economic]].

Trends & Entwicklungen

Im Horizont 2025–2040 zeichnen sich drei Trajektorien ab. Erstens: Verschiebung von kurz-zyklischen e-Fuels hin zu Pfaden mit dauerhafter Bindung und hoher Wertschöpfung (Mineralisierung in Baustoffen, langlebige Polymere) (*medium confidence; medium evidence, medium agreement*) [[2019-hepburn-co2-utilization-removal]]. Zweitens: Veredelung bestehender urbaner CO₂-Quellen — die Klärgas-Methanisierung Simmering wird vom Eigenversorger zum potenziellen Einspeiser ertüchtigt [[2021-tauber-biological-methanation-sewage-sludge-at]]. Drittens: Standardisierung von LCA/TEA als Voraussetzung für belastbare Investitions- und Förderentscheidungen sowie für die Vergleichbarkeit konkurrierender Pfade [[2022-zimmermann-ccu-lca-techno-economic]]; systemisch wandert knappes CO₂-Management zu schwer vermeidbaren Rest-Emissionen (*high confidence; robust evidence, high agreement*) [[2022-ipcc-ar6-wg3-energy-systems]].

KI-Eignungs-Bewertung

Die Frage eignet sich für **Simulation** (LCA-/TEA-Screening konkurrierender Pfade), **Optimization** (Supply-Chain CO₂-Quelle ↔ Energie ↔ Produktmarkt) und **Prediction** (Produkt-/Marktnachfrage), ergänzt um Pattern-Recognition für Katalysator-/Prozessauswahl. Wien-Use-Case: vergleichendes Simulations-Screening Wiener Verwertungspfade (Mineralisierung vs. e-Methanol aus Klärgas-CO₂ vs. biologische Methanisierung) zur Priorisierung nach Wertschöpfung und Bindungsdauer [[2022-zimmermann-ccu-lca-techno-economic]] [[2021-tauber-biological-methanation-sewage-sludge-at]]. Datengrundlage fragmentiert über Anlagen/Märkte/LCA-DBs; LCA-/TEA-Modellierung etabliert, integrierte KI-Pfad-Optimierung hybrid. Ethik/Recht moderat: keine personenbezogenen Daten, industrielle/markt-bezogene Daten (EU-AI-Act Annex III nicht berührt — kein Hochrisiko-Anwendungsfall). Aggregiert: D1=2, D2=3, D3=2, D4=2, Sum=9 → **medium**.

Methodische Einschränkungen

1. **Single-Screener-Recherche** durch Bernhard Götzendorfer mit KI-Assistenz (Claude Opus 4.8, 1M context); kein Dual-Screening — Mitigation über transparente §11-Suchspur. 2. **Suchsprache DE/EN** — Literatur in anderen EU-Sprachen ggf. unterrepräsentiert; CCU-Kern-Literatur überwiegend EN. 3. **Stand der Recherche: 2026-06-24** — Updates in separaten Brief-Versionen (ADR-0002/0004); bei zeitkritischer CCU-Markt-/Regulatorik-Entwicklung halbjährliches Re-Screening empfohlen. 4. **Keine formale Critical Appraisal** pro Quelle (kein GRADE/ROBINS-I); Qualität heuristisch via Whitelist-Tier + Peer-Review-Status; IPCC-Calibrated-Language-Tags markieren Confidence pro Key-Claim. 5. **Wien-spezifische Pfad-Vergleiche dünn** — die Quellenbasis stützt sich auf globale CCU-Reviews (Hepburn et al.; Zimmermann et al.; Zhao/Itakura) plus einen AT-Methanisierungs-Beleg (Tauber et al.); eine Wien-regionalisierte Pfad-Priorisierung fehlt (siehe Forschungslücken).

Quellen

2019-hepburn-co2-utilization-removal — Cameron Hepburn; Ella Adlen; John Beddington; Emily A. Carter; Sabine Fuss; Niall Mac Dowell; Jan C. Minx; Pete Smith; Charlotte K. Williams (2019). The technological and economic prospects for CO2 utilization and removal. *Nature*. [HYBRID] DOI: [10.1038/s41586-019-1681-6](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1681-6)

2022-zimmermann-ccu-lca-techno-economic — Arno W. Zimmermann; Tim Langhorst; Sheikh Moni; Joshua A. Schaidle; Farid Bensebaa; André Bardow (2022). Life-Cycle and Techno-Economic Assessment of Early-Stage Carbon Capture and Utilization Technologies—A Discussion of Current Challenges and Best Practices. *Frontiers in Climate*. [GOLD] DOI: [10.3389/fclim.2022.841907](https://doi.org/10.3389/fclim.2022.841907)

2023-zhao-co2-capture-storage-review — Yafei Zhao; Ken-ichi Itakura (2023). A State-of-the-Art Review on Technology for Carbon Utilization and Storage. *Energies (MDPI)*. [GOLD] DOI: [10.3390/en16103992](https://doi.org/10.3390/en16103992)

2021-tauber-biological-methanation-sewage-sludge-at — Joseph Tauber; Andreas Ramsbacher; Karl Svardal; Jörg Krampe (2021). Energetic Potential for Biological Methanation in Anaerobic Sewage Sludge Digesters in Austria. *Energies (MDPI)*. [GOLD] DOI: [10.3390/en14206618](https://doi.org/10.3390/en14206618)

2022-ipcc-ar6-wg3-energy-systems — IPCC Working Group III (2022). Energy Systems (IPCC AR6 WGIII Chapter 6). *Climate Change 2022 — Mitigation of Climate Change (Cambridge University Press)*. [GOLD] DOI: [10.1017/9781009157926.008](https://doi.org/10.1017/9781009157926.008)

Wiener Forschende

- **Stavros Papadokonstantakis** [Hochschule] — TU Wien
ORCID: [0000-0002-7774-0192](https://orcid.org/0000-0002-7774-0192)
Profil: <https://openalex.org/A5046686253>
- **Stefan Müller** [Hochschule] — TU Wien
ORCID: [0000-0001-8878-429X](https://orcid.org/0000-0001-8878-429X)
Profil: <https://openalex.org/A5101516778>
- **Fabian Schipfer** [Forschungseinrichtung] — IIASA (Laxenburg)
ORCID: [0000-0001-6732-6919](https://orcid.org/0000-0001-6732-6919)
Profil: <https://openalex.org/A5066240681>

Patenschaft

Wien Energie