



Carbon Capture and Utilization (CCU)

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Markus Lehner
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Kienberger

WO AUS FORSCHUNG ZUKUNFT WIRD

Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes
Lehrstuhl für Energieverbundtechnik



Begriffsbestimmungen

Carbon Capture and Utilization (CCU)

- CCU ist die Nutzung von CO₂ in konzentrierter Form für die Herstellung von kohlenstoffhaltigen Produkten in chemischen und technischen biologischen Prozessen
- In einem erweiterten Sinn können aber auch natürliche biologische Prozesse (z.B. Aufforstung) mit einbezogen werden.

Carbon Capture and Storage (CCS)

- CCS ist die möglichst dauerhafte, langfristige Speicherung von CO₂ in geologischen Formationen, wie (ehemaligen) Lagerstätten von Erdgas, Kohle, Erdöl, oder tiefen Aquiferen oder umgewandelt als Karbonate (CCU+S)



Chancen von CCU Technologien

- CCU kann einen wirtschaftlichen Kohlenstoffrohstoff bereitstellen, der andere, teurere, fossile teilweise oder vollständig ersetzt.
- CCU kann Türen zu neuen Synthesewegen für bestehende Produkte oder für neue Produkte öffnen und dadurch neue Märkte erschließen. CCU kann die Komplexität chemischer Reaktionswege reduzieren.
- CCU kann Lösungen bieten für nachhaltige Chemikalien, Brennstoffe, Werkstoffe, Abfallbehandlung und fördert die Eindämmung von industriellen CO₂-Emissionen.
- CCU kann erneuerbaren Strom in den Chemie- und Verkehrssektor integrieren und so industrielle Symbiose und Kreislaufwirtschaft ermöglichen.
- CCU kann die Prozesseffizienz steigern und die Inputpreisvolatilität verringern.
- CCU kann potenziell Umweltauswirkungen über den Klimawandel hinaus reduzieren, wie bereits für CO₂-basierte Kraftstoffe gezeigt wurde, welche die NO_x- und Rußemissionen reduzieren.
- CCU-Technologien können sogar CO₂-negativ sein, wenn sie mit CO₂-Sequestrierung kombiniert oder integriert werden (z.B. durch Karbonatisierung).

Herausforderungen von CCU-Technologien

- Die überwiegende Mehrheit der CCU-Prozesse hat einen hohen Energiebedarf oder erfordert „hochenergetische“ Reaktionspartner, welche die Betriebskosten und die Umweltauswirkungen erhöhen (können).
- CCU-Prozesse erfordern oft neue Anlagen, viele beinhalten Hochdruckprozesse, wodurch die Kapitalkosten (Investitionen) hoch sind.
- CCU konzentriert sich hauptsächlich auf margenschwache, großvolumige Industriemärkte, wodurch der Return of Investment von erheblichen Investitionen erschwert ist.
- CCU fokussiert sich derzeit auf die Chemie-, Kraftstoff- und Werkstoffindustrie, die durch hohe Kosten für die Anpassung bestehender Prozesse und sehr langsame Produktanpassungsraten (langsame Marktaufnahme) gekennzeichnet sind.
- Die Reduzierung von Umweltauswirkungen ist ein wichtiges Kriterium für die Kommerzialisierung von CCU. Wenn eine CCU-Technologie die Umweltauswirkungen gegenüber etablierten Prozessen nicht reduzieren kann, ist eine erfolgreiche Kommerzialisierung als Maßnahme zur Emissionsminderung unwahrscheinlich.

Prozesspfade zur CO₂ Nutzung

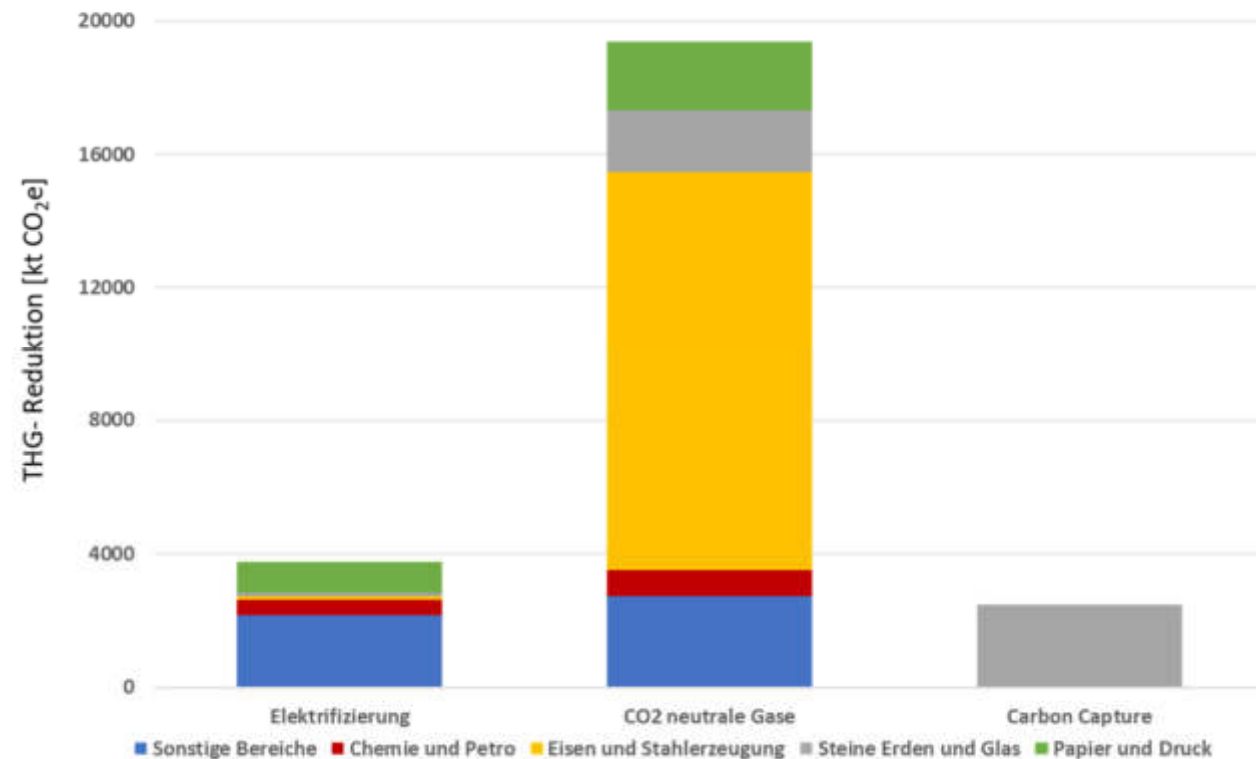
Technologiefad	Potentielle Produkte	Attribute	TRL
Chemisch	Chemikalien, Werkstoffe, Treibstoffe	Erfordert geeignete Katalysatoren	2 – 5
Elektro- und photochemisch	Chemikalien, Werkstoffe, Treibstoffe	Nutzung von erneuerbaren Strom	1 – 4
Karbonisierung	Karbonate (potentiell: Baustoffe)	Langfristige Bindung, Gesamt CO ₂ -Bilanz!	5 – 9
Biologisch	Chemikalien und Treibstoffe	Langsame Kinetik	3 – 9
Enhanced Resource Recovery (CCUS)	Öl, Gas, Wasser, Geothermie	Nutzung bei dauerhafter Speicherung	5 – 9

Vier Aktionsfelder hinsichtlich Klimaneutralität in der Industrie

Reduktionspotential nach Aktionsfeld

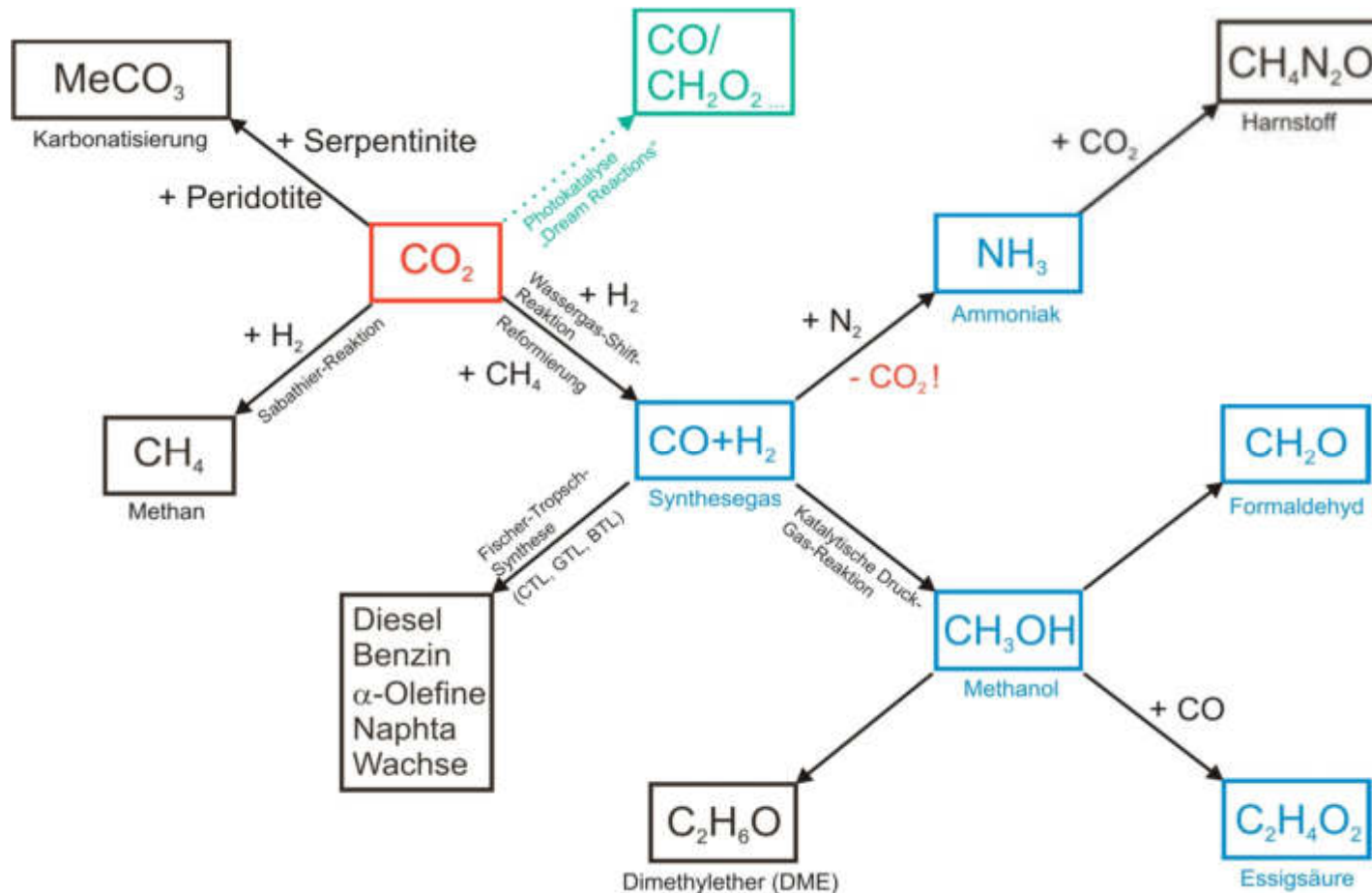
- Elektrifizierung und allgemeine Energieeffizienz
- CO₂-neutrale Gase und Biomasse
- **Carbon Capture Sequestration and Use (CCU)**
- Verstärkte Verwendung von Sekundärrohstoffen (noch nicht systematisch untersucht)

THG-Reduktion in kt CO₂e nach Sektoren



CCU Produkte am Beispiel Chemikalien und Treibstoffe

Überblick chemischer Verwertungsrouten



CCU in Österreich

Sektorübergreifende Synergien notwendig

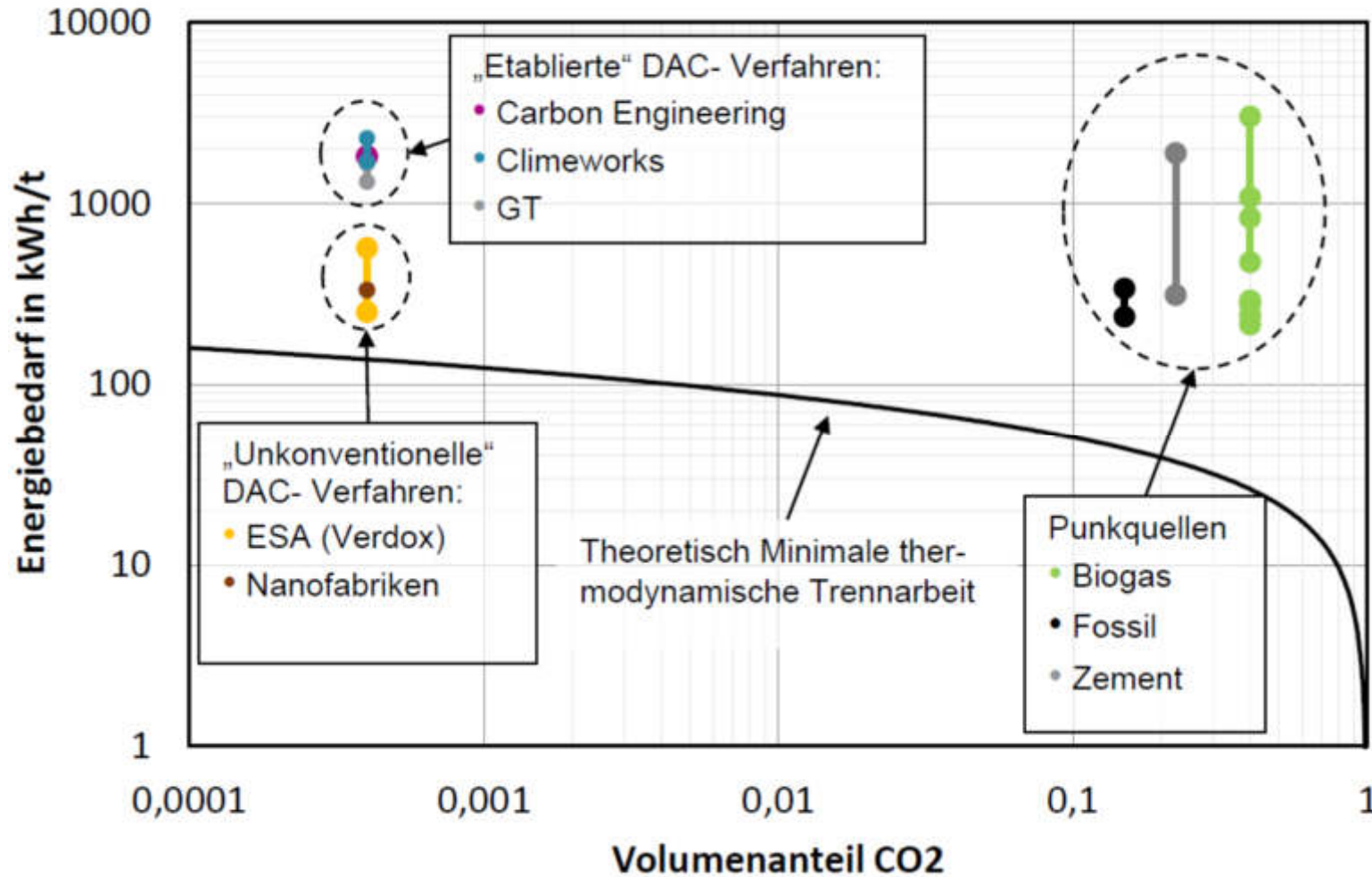
- Besonders lohnenswert für die Abscheidung von CO_2 sind Punktquellen → besonders industrielle Standorte mit unvermeidbaren, geogenen Emissionen ohne technische Alternativen
- Summe geogener Emissionen in Österreich aus dem Industriesektor Steine und Erden, Glas $\sim 4 \text{ Mt CO}_2$
 - Zement, Magnesia, Glas, u.ä.



Beispiel:

- Synthese von 4 Mt CO_2 mit H_2 zu Methanol
 - $2,9 \text{ Mt}$ Methanol könnten über MtO die derzeitige Olefinproduktion Österreichs bereitstellen ($\sim 1,3 \text{ Mt}$)
 - 18 TWh H_2 benötigt (Produktionsvorketten müssen berücksichtigt werden!)

Energieverbrauch der CO₂ Abscheidung

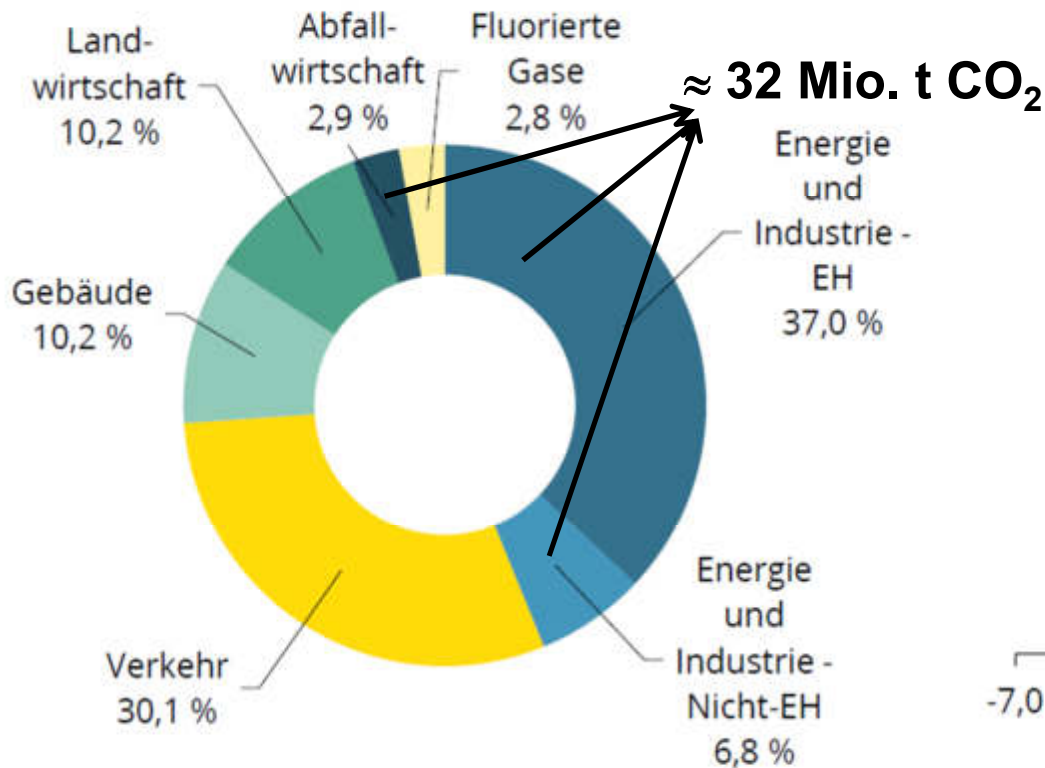


Quelle: KIT 2020

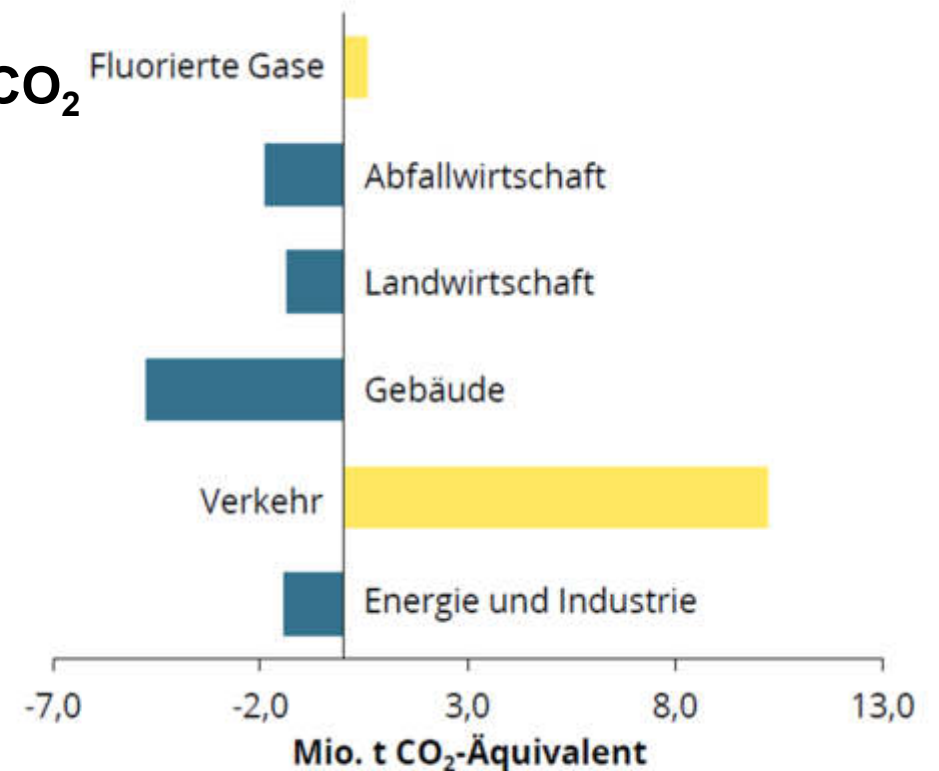
CO₂ Quellen und Mengenpotentiale

Anteil der Sektoren an THG-Emissionen in Österreich

Anteil der Sektoren an den gesamten THG-Emissionen 2019



Änderung der Emissionen zwischen 1990 und 2019



Quelle: UMWELTBUNDESAMT (2021a)

Mengenpotentiale und Break-Even Kosten in 2050

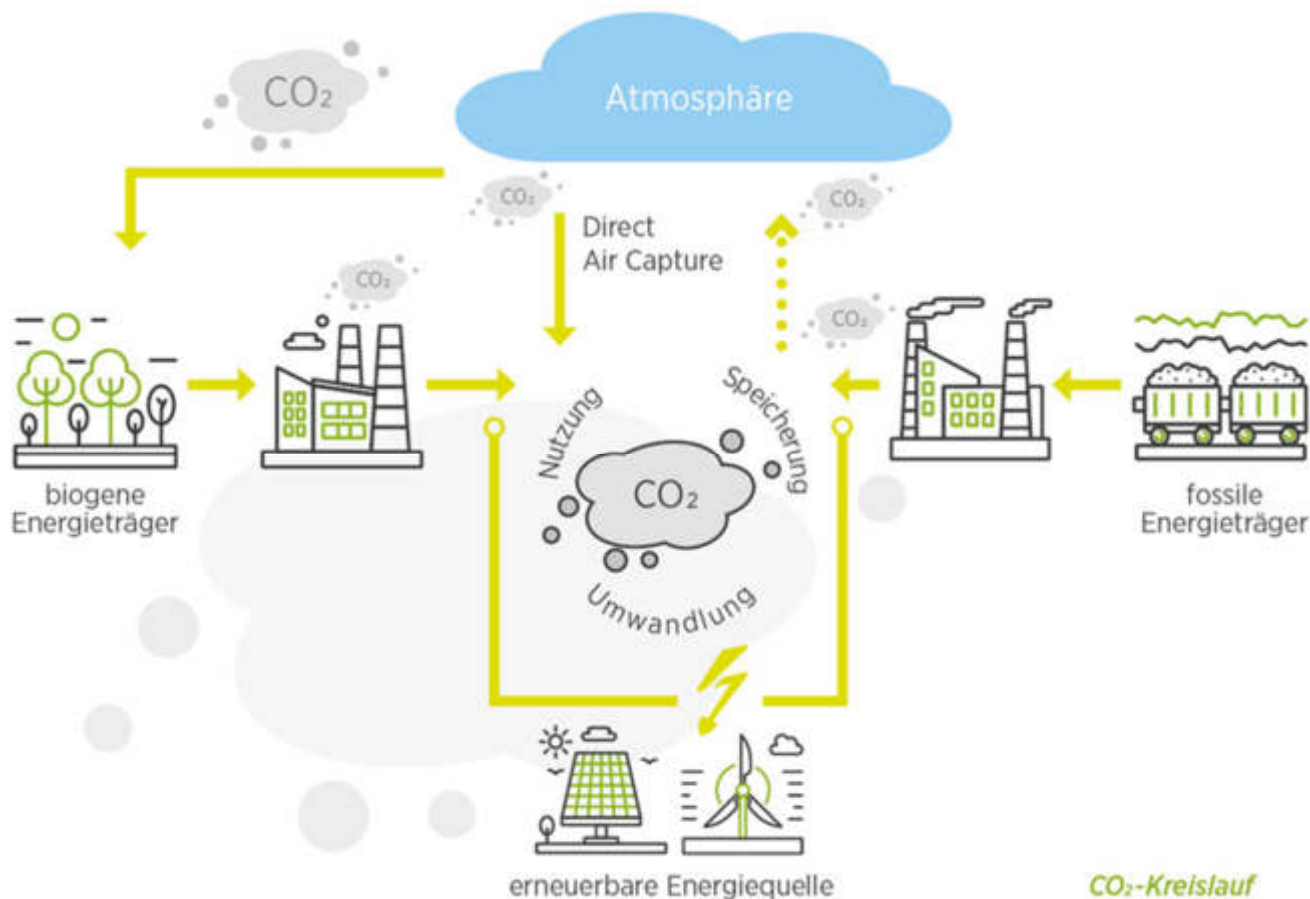
Pathway	Removal potential in 2050 (Mt CO ₂ removed per year)	Utilization potential in 2050 (Mt CO ₂ utilized per year)	Breakeven cost of CO ₂ utilization (2015 US\$ per tonne CO ₂ utilized)
Conventional utilization			
Chemicals	Around 10 to 30	300 to 600	-\$80 to \$320
Fuels	0	1,000 to 4,200	\$0 to \$670
Microalgae	0	200 to 900	\$230 to \$920
Concrete building materials	100 to 1,400	100 to 1,400	-\$30 to \$70
Enhanced oil recovery	100 to 1,800	100 to 1,800	-\$60 to -\$45
Non-conventional utilization			
BECCS	500 to 5,000	500 to 5,000	\$60 to \$160
Enhanced weathering	2,000 to 4,000	n.d.	Less than \$200*
Forestry techniques	500 to 3,600	70 to 1,100	-\$40 to \$10
Land management	2,300 to 5,300	900 to 1,900	-\$90 to -\$20
Biochar	300 to 2,000	170 to 1,000	-\$70 to -\$60

Quelle: Nature | Vol 575 | 7 November 2019 |
<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1681-6>

Aspekte zum Beitrag zur Klimaneutralität

Wichtige Beurteilungskriterien

1. Die CO₂ Quelle
2. Die CO₂ Emission des CCU-Prozesses
3. Die Bindungsdauer des CO₂



Gesamt CO₂-Bilanz

- Alleine die Nutzung von CO₂ bedingt noch keine negative Gesamt-CO₂-Bilanz!
- Für jeden CCU Prozess ist daher eine LCA (Life Cycle Analysis) durchzuführen, ggf. kombiniert mit einer TEA (Techno-Economic Assessment)
- Dafür existieren genaue Richtlinien:

Techno-Economic Assessment & Life Cycle Assessment Guidelines for CO₂ Utilization

Published August 2018

This work is available under DOI: 10.3998/2027.42/145436

<http://hdl.handle.net/2027.42/145436>

ISBN 978-1-9164639-0-5

SUPPORTED BY



Projektbeispiele für Österreich

Projekt CaCTUS

Carbon Capture, Transformation, Utilization & Storage

“In the scenarios for meeting the 1.5°C target, Carbon Capture and Storage (CCS) or Carbon Capture and Utilization (CCU) is de facto unavoidable”

(siehe IPCC Special Report on 1.5°C)

- In Österreich kaum verlässliche Daten zu Potenzial dieser Technologien vorhanden
- Austrian Climate Research Program (ACRP) adressiert dieses Defizit im 14. Call for Proposals

Quantifizierung
Technische Potenziale
CCU/ CCS gemäß NECP

techno-ökonomische
Bewertung d.
identifizierten
Kohlenstoffrouten

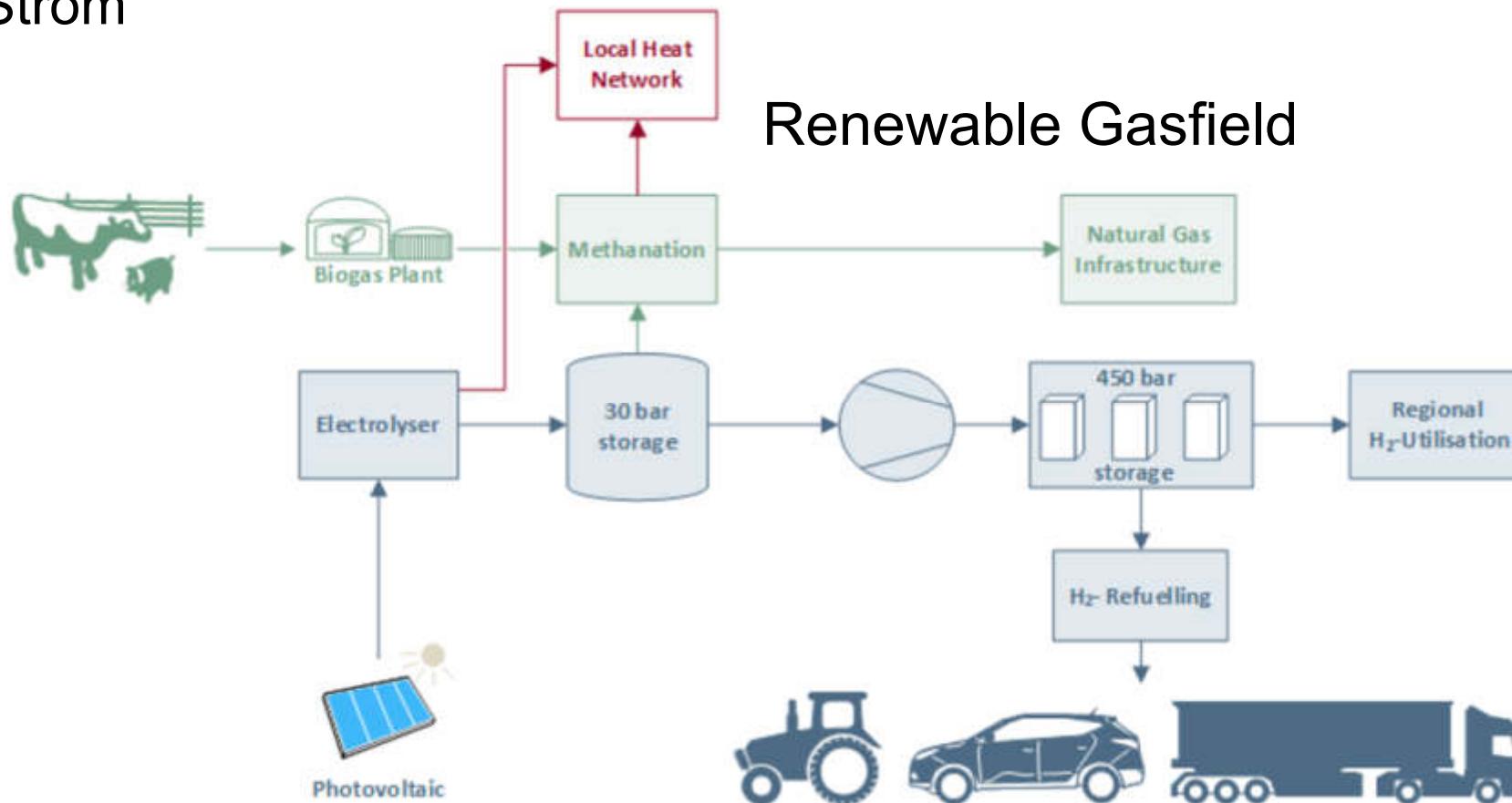
Identifikation
quellenspezifische
Klimawirkung &
senkenbezogene
Nettominderungs-
potenziale

Bewertung derzeitige
Hindernisse u.
Unzulänglichkeiten



Power-to-Gas Demonstrationsanlage in der Südsteiermark

Grüner Wasserstoff und synthetisches Methan als Speicher für erneuerbaren Strom



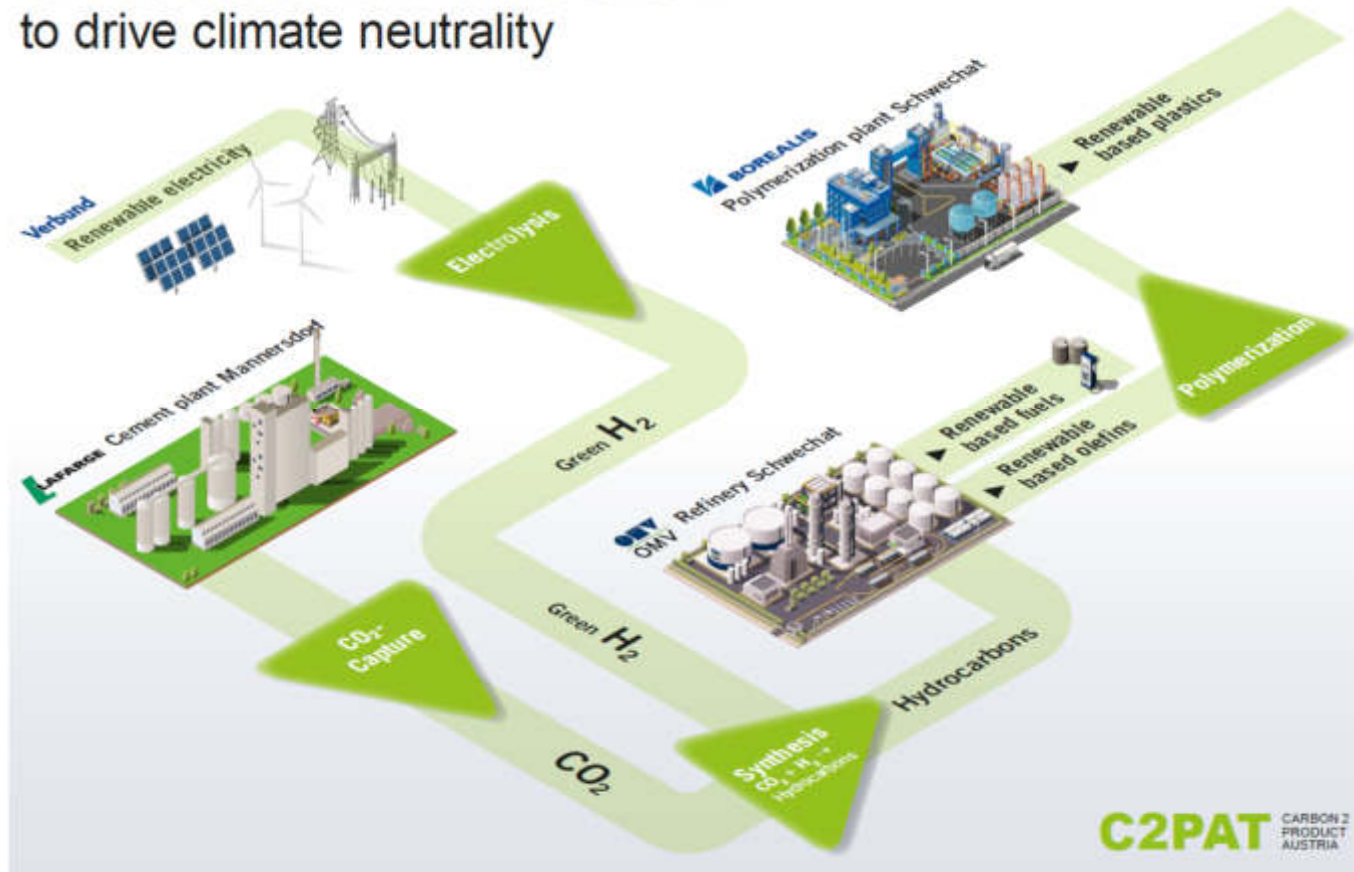
Partner:



Carbon 2 Product Austria – C2PAT

Erzeugung von Polyolefinen (PP, PE) aus CO₂ und grünem Wasserstoff

Cross sectoral value chain
to drive climate neutrality



Partner:

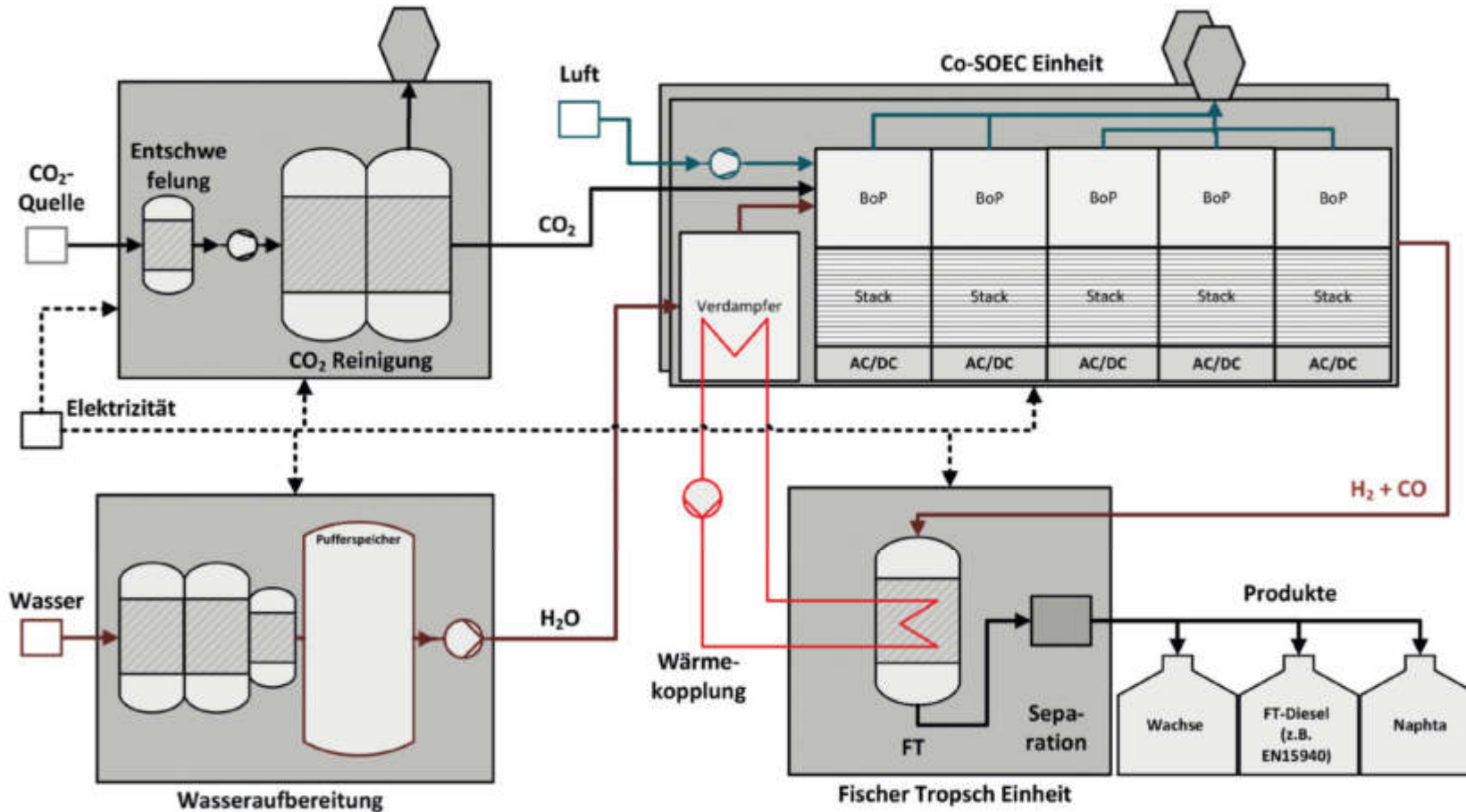


LafargeHolcim



„Innovation Flüssige Energie“

Production of SAF from CO₂ and green hydrogen utilizing a Co-SOEC

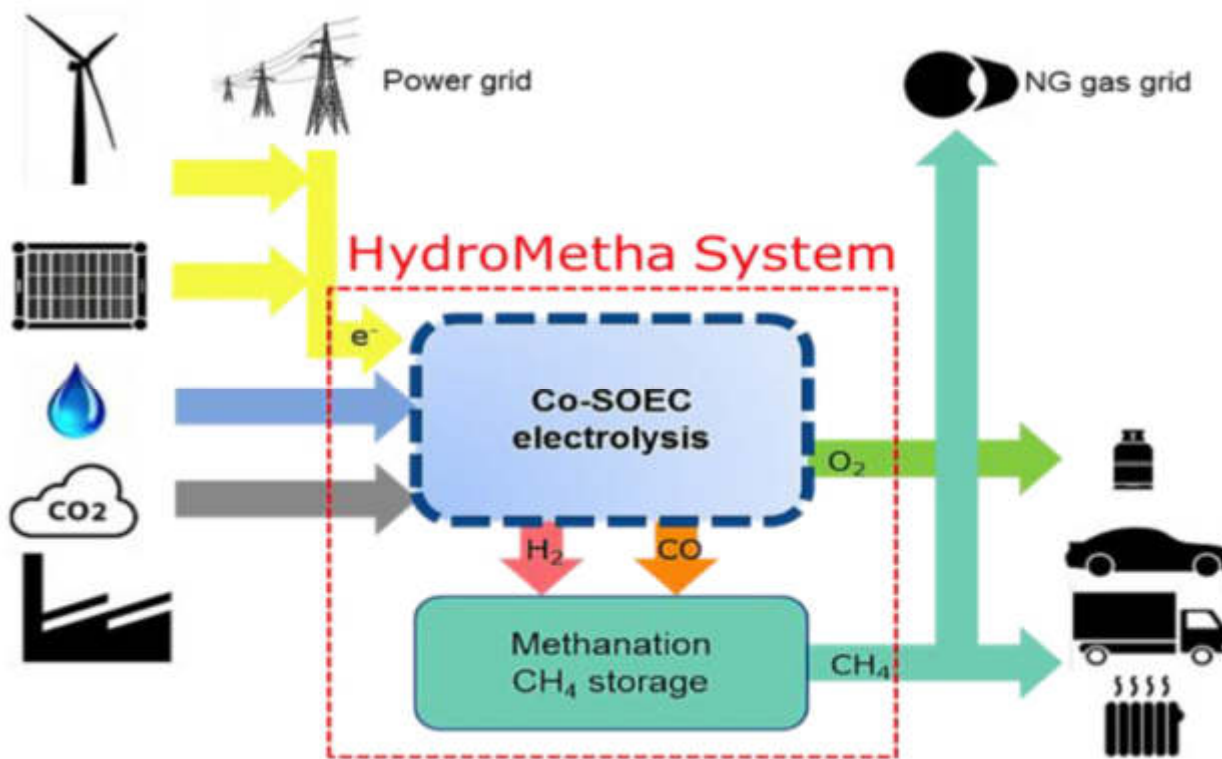


Partner:



„Hydrometha“

10 kW Demonstrator for Co-SOEC coupled with catalytic methanation

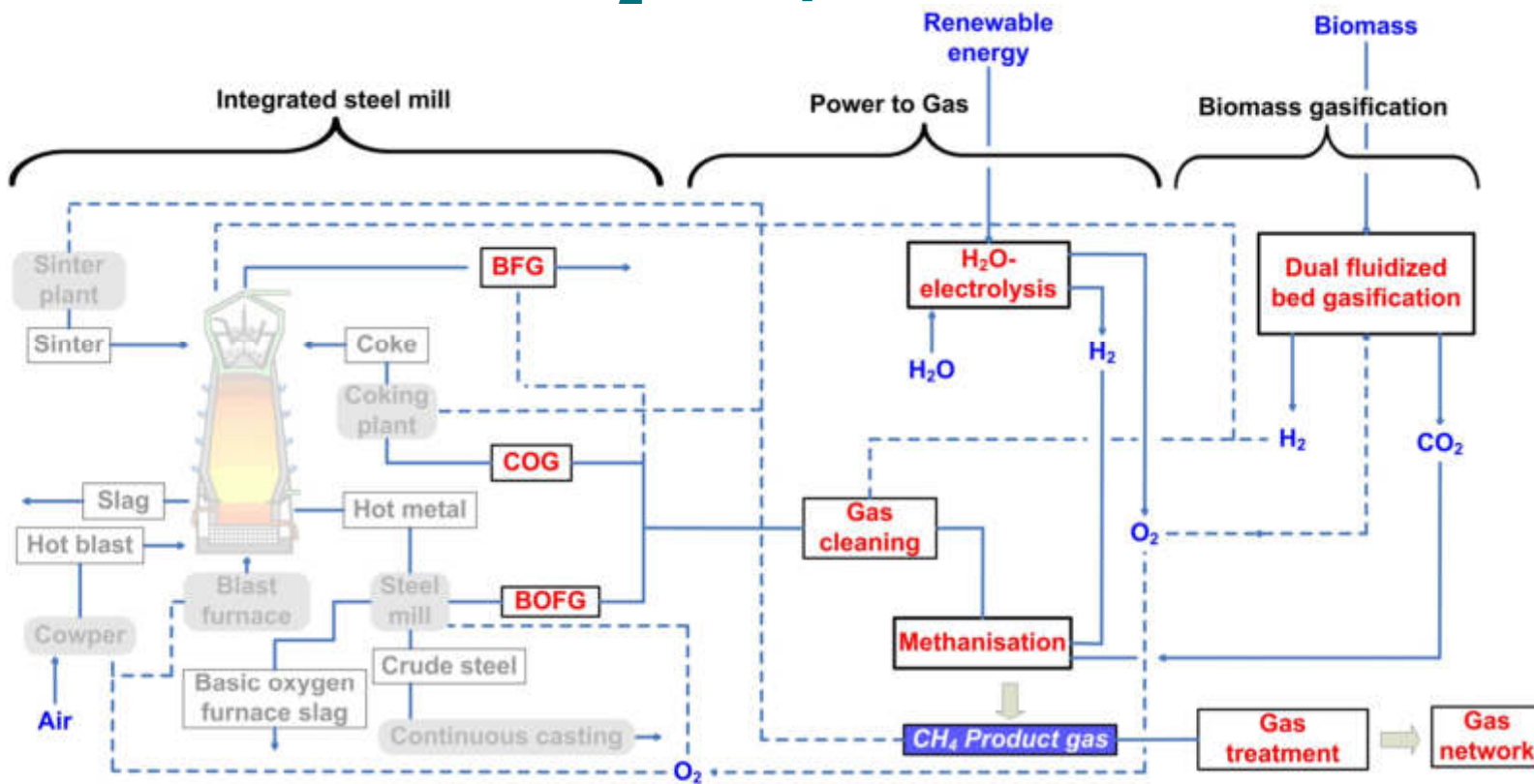


Partner:



Renewable Steel Gases: Closed CO₂ Loop in Steel Production

- Conversion of blast furnace gas in synthetic methane
- Green hydrogen and biomass as energy source
- 0,8 Mio. t CO₂/a Reduction at voestalpine Linz



Legend
 BFG...Blast Furnace Gas
 BOFG...Basic Oxygen Furnace Gas (Converter Gas)
 COG...Coke Oven Gas



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Lehner

Lehrstuhl für Verfahrenstechnik
des industriellen Umweltschutzes

Montanuniversität Leoben

E-mail: markus.lehner@unileoben.ac.at

