



Katalytische Methanisierung im Kontext von Carbon Capture and Utilization

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

WO AUS FORSCHUNG ZUKUNFT WIRD

Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes



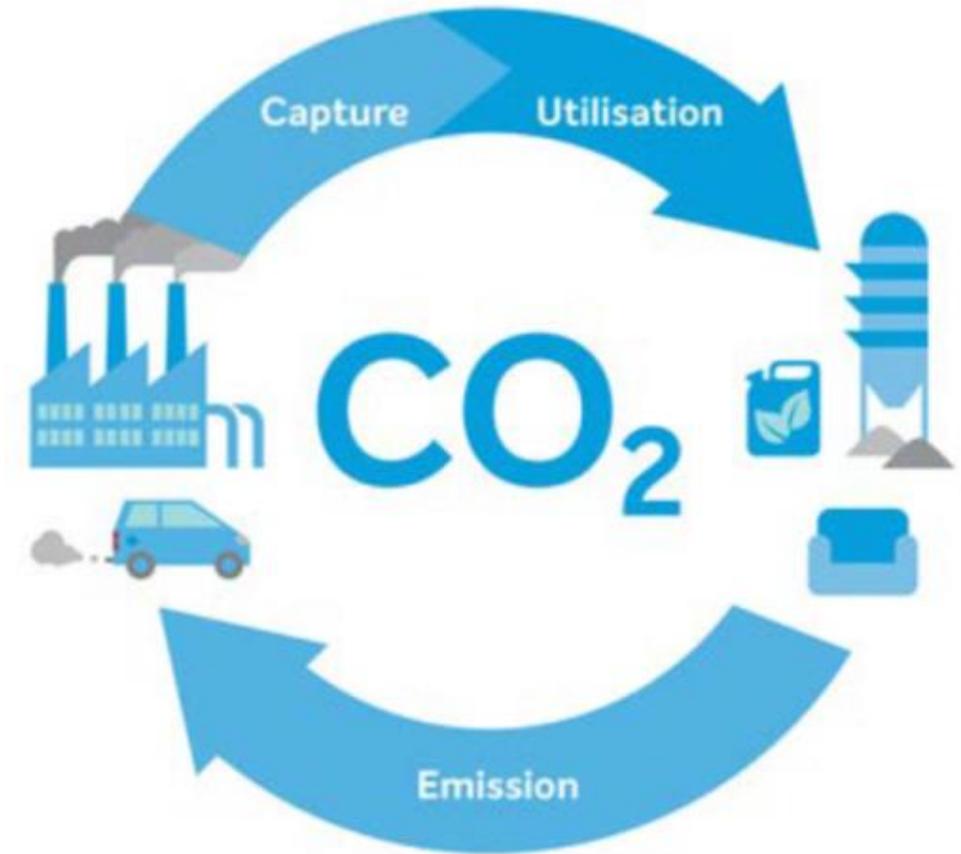
„Carbon Capture and Utilization“

Begriffe und Grundlagen

Begriffsbestimmung

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.



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).

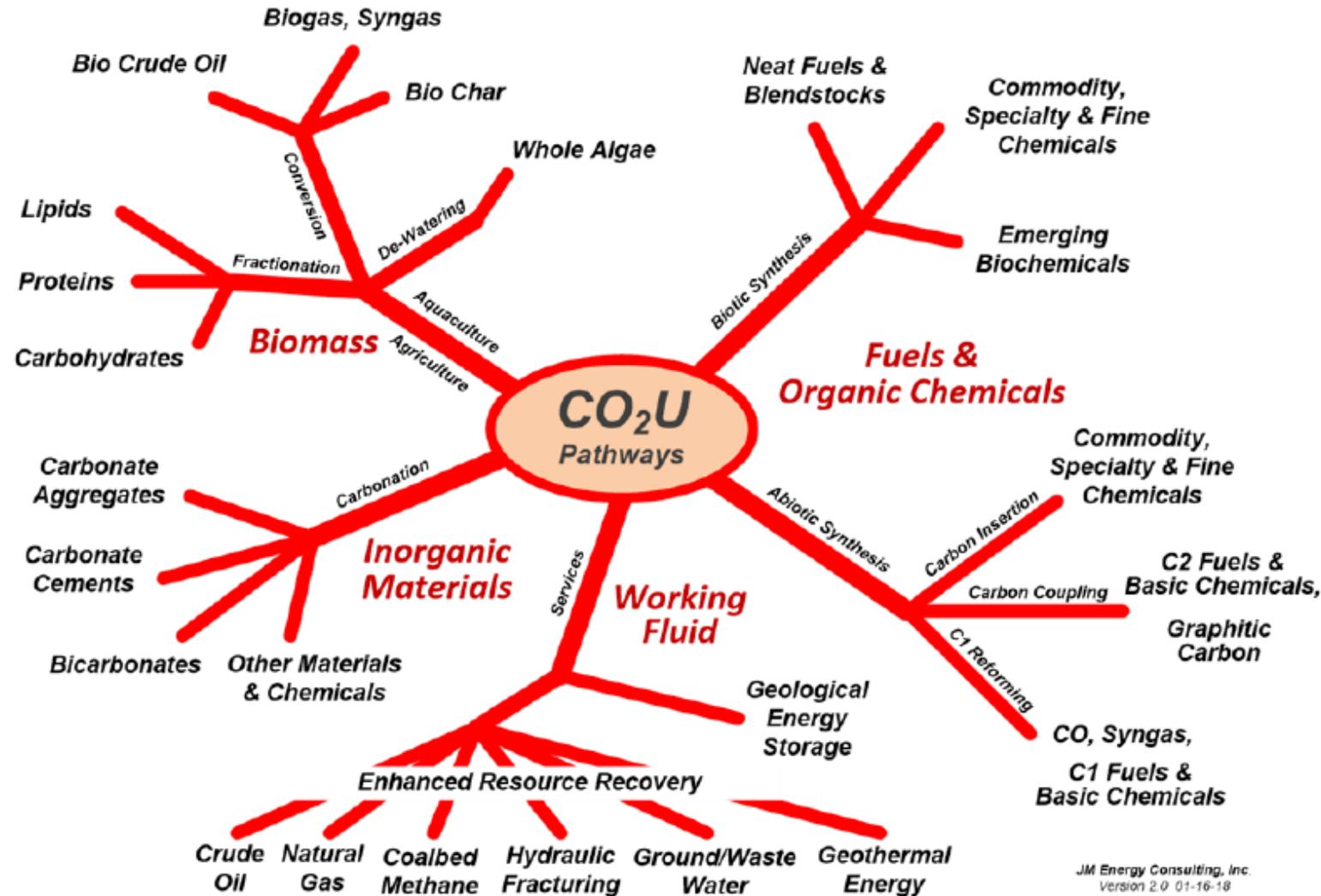
Herausforderungen von CCU-Technologien

- 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.
- Wenn eine CCU-Technologie die Umweltauswirkungen gegenüber etablierten Prozessen nicht reduzieren kann, ist eine erfolgreiche Kommerzialisierung als Maßnahme zur Emissionsminderung weder wahrscheinlich noch sonderlich sinnvoll.

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

Prozesspfade zur CO₂ Nutzung

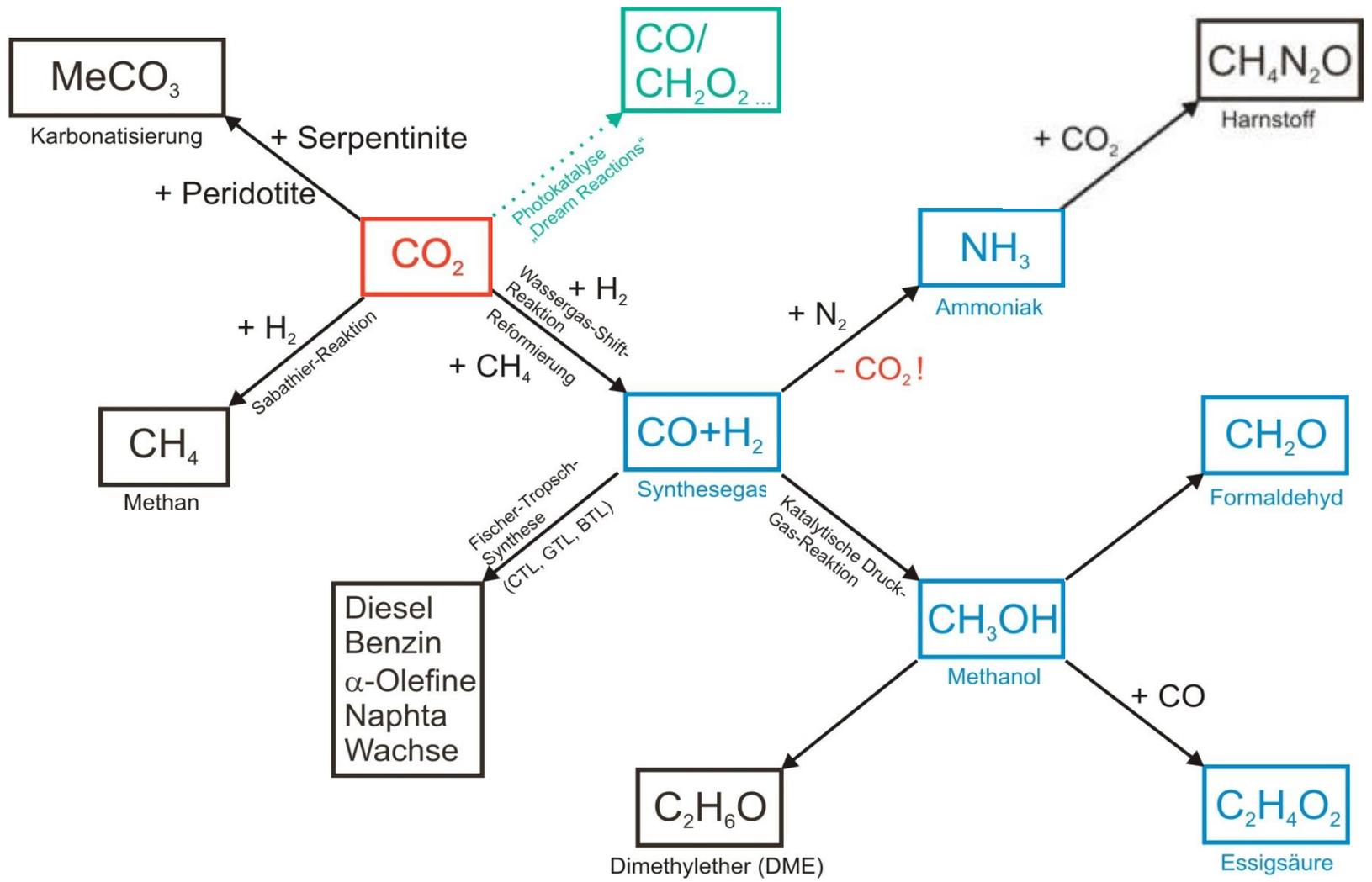


Aus: National Petroleum Council. Meeting the Dual Challenge. A Roadmap to At-Scale Deployment of Carbon Capture, Use and Storage. 2019

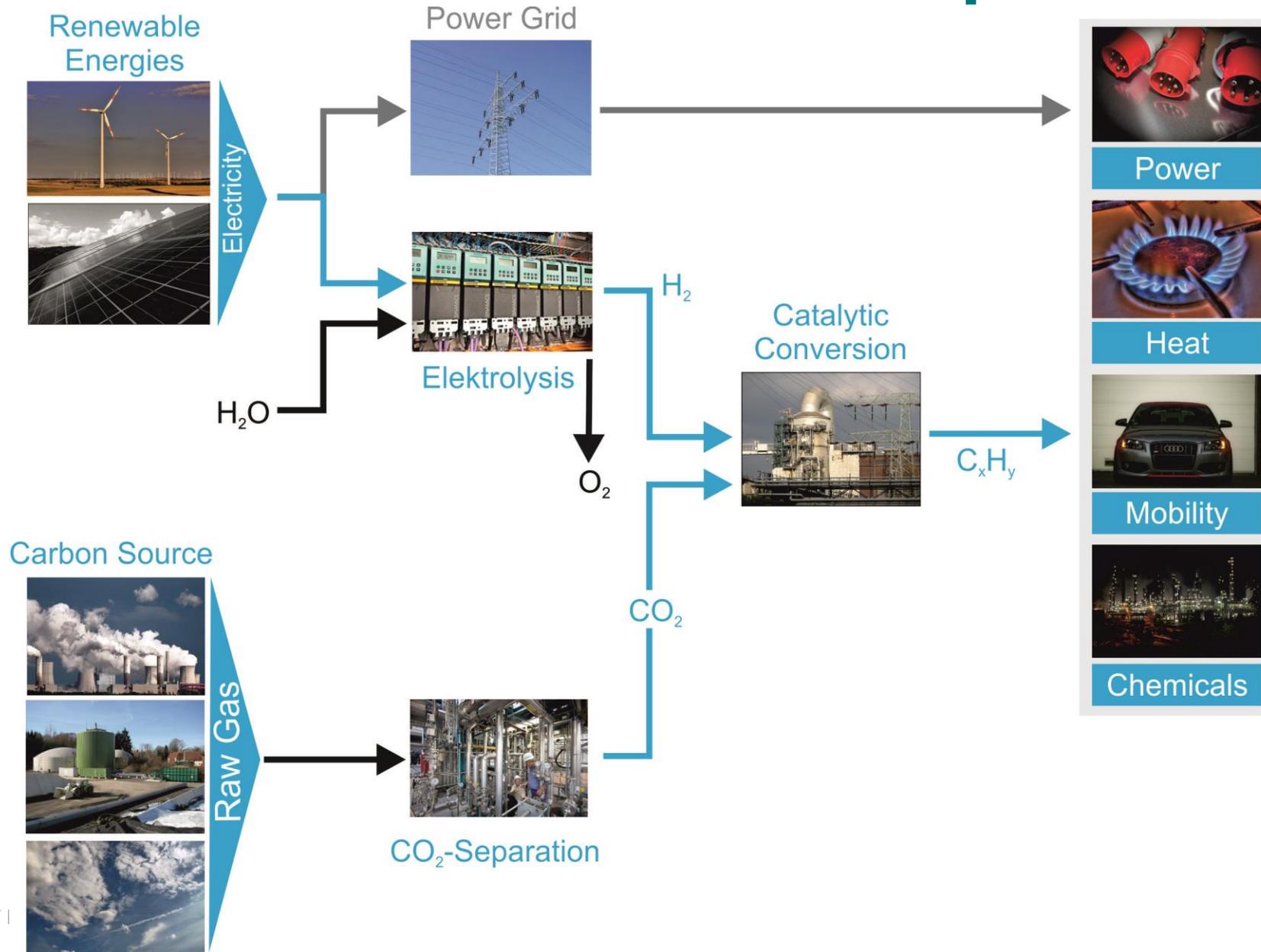
CCU Produkte: Chemikalien und Treibstoffe

Chemisch-Katalytische Verfahren

Überblick chemischer Verwertungsrouten



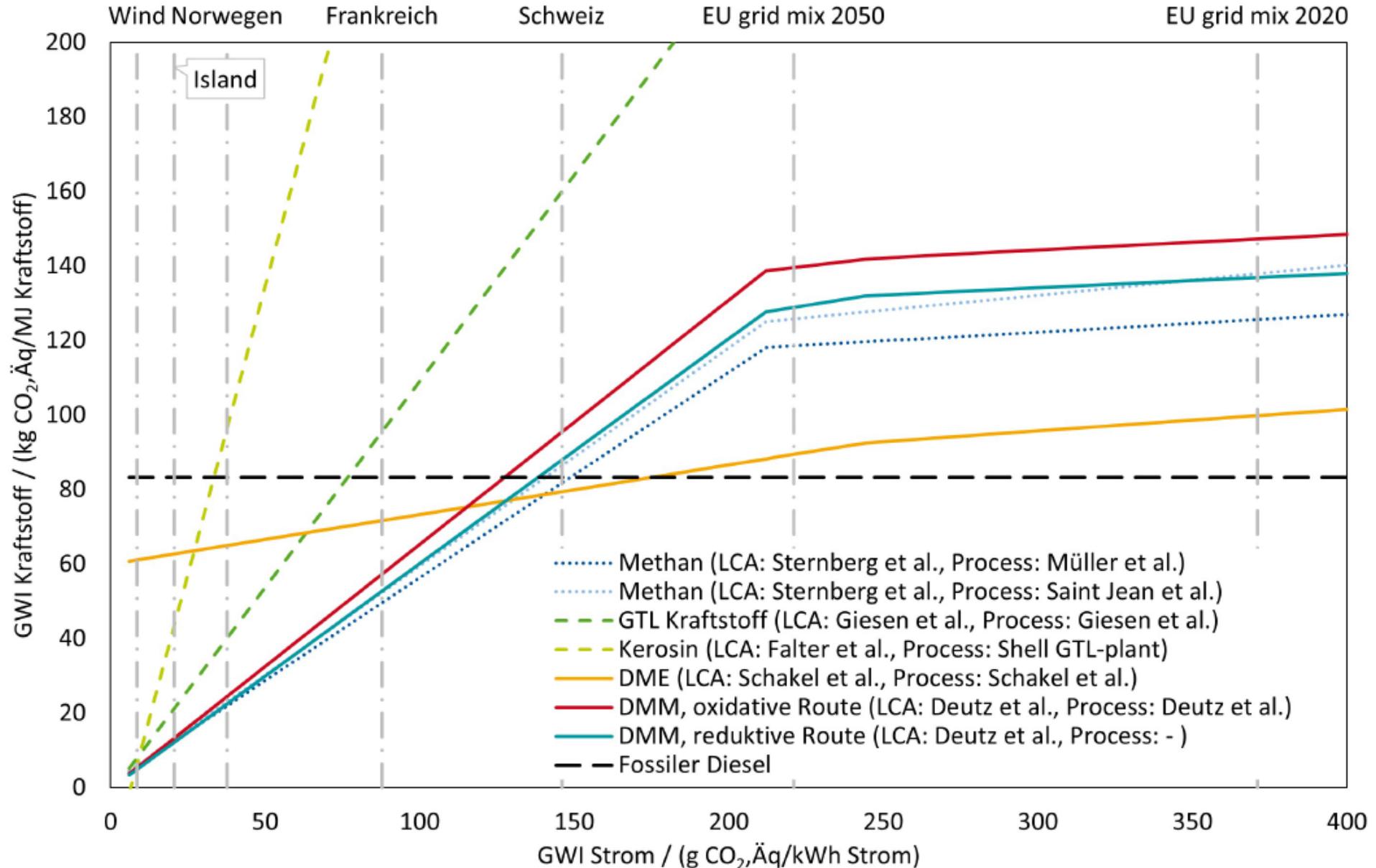
Power-to-Gas und Power-to-Liquid Prozesse



Beispiel Methan- und Methanolsynthese (7500 h/a)

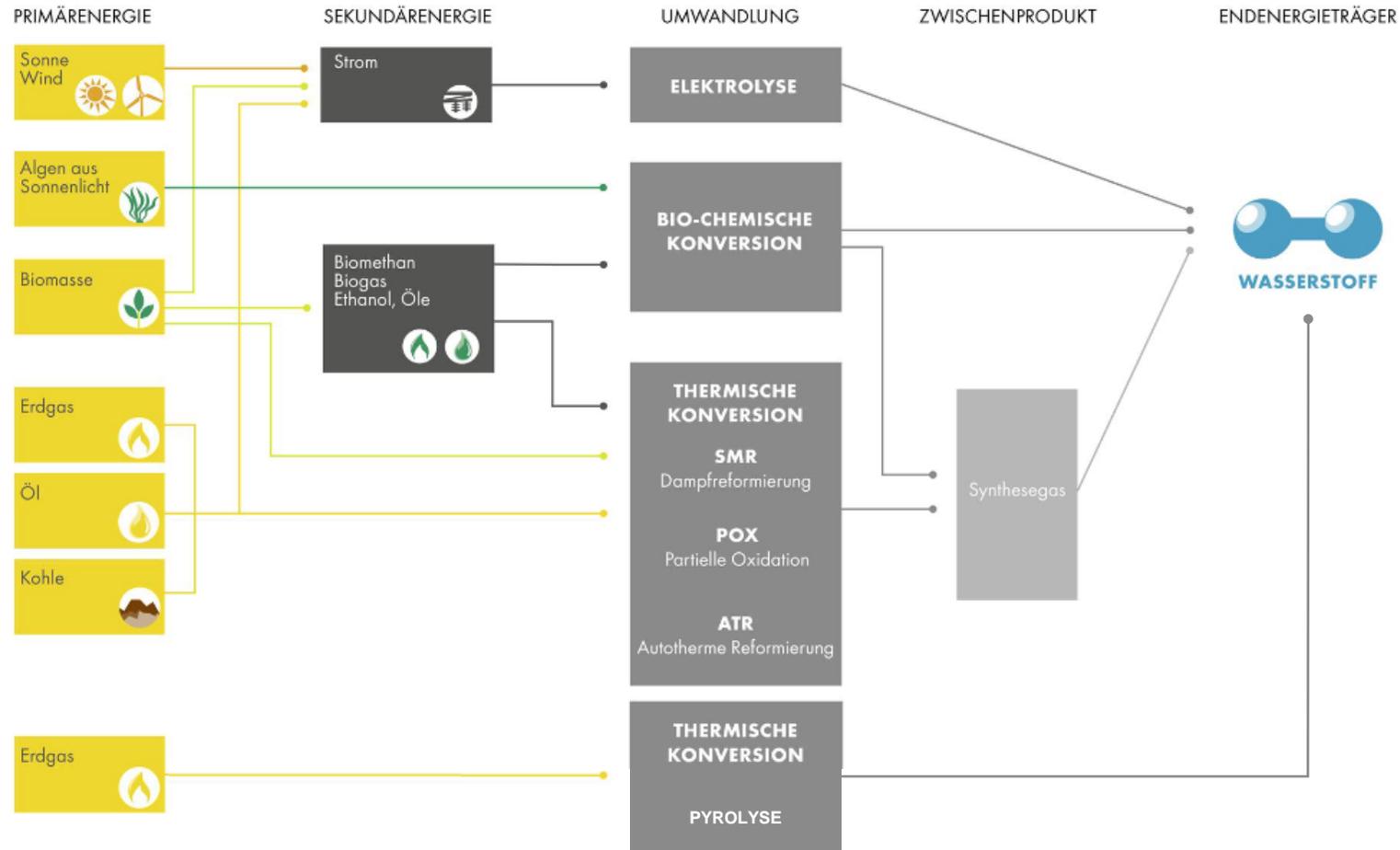
		Methanation		Methanol Synthesis	
Reaction		$CO_2 + 4H_2 \leftrightarrow CH_4 + 2H_2O$ $\Delta H_r^0 = -164 \text{ kJ mol}^{-1}$		$CO_2 + 3H_2 \leftrightarrow CH_3OH + H_2O$ $\Delta H_r^0 = -49.5 \text{ kJ mol}^{-1}$	
plant size		Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
CO ₂ Feed	[tons/a]	24 500	120 000	24 500	120 000
H ₂ demand	[tons/a]	4 500	22 000	3 350	16 500
electrolysis power	[MW]	33	164	25	122
heat recovery	[MW]	- 3.7 (at 400°C)	- 18.3 (at 400°C)	- 1.03 (at 230 °C)	- 5.08 (at 230 °C)
product (LHV)	[MW]	16.6	81.4	13.1	64.4
product	[tons/a]	8 930	43 930	17 850	87 800
revenue	million €/a	2	10	5	24

Treibhausgaspotential unterschiedlicher Treibstoffe



Quelle: VDI
 Statusreport –
 Industrielle CO₂-
 Kreisläufe, Mai 2021

Vergleich von Wasserstoffproduktionsrouten



Elektrolyse

$180\ 000\ \text{kJ} / \text{kg}_{\text{H}_2}$
 $3 - 30\ \text{kg}_{\text{CO}_2} / \text{kg}_{\text{H}_2}$

Dampfreformierung

$30\ 000\ \text{kJ} / \text{kg}_{\text{H}_2}$
 $12\ \text{kg}_{\text{CO}_2} / \text{kg}_{\text{H}_2}$

Methanpyrolyse

$45\ 000\ \text{kJ} / \text{kg}_{\text{H}_2}$
 $3 - 6\ \text{kg}_{\text{CO}_2} / \text{kg}_{\text{H}_2}$
 $3\ \text{kg}_C / \text{kg}_{\text{H}_2}$

Mengenpotentiale, Bindungsdauer, Kosten

Mengenpotentiale von CCU Produkten der chemischen Route

Derzeitig verwertete CO₂-Mengen

- Harnstoffproduktion: $2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow [\text{H}_2\text{NCOO}]\text{NH}_4$; $[\text{H}_2\text{NCOO}]\text{NH}_4 \leftrightarrow \text{H}_2\text{NCONH}_2 + \text{H}_2\text{O}$
ca. 107 Mio.t CO₂/a (EU)
- Methanolproduktion: $\text{CO}_2 + 3 \text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ (üblicher Syntheseweg $\text{CO} + 2 \text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH}$)
ca. 2 Mio.t CO₂/a (EU)
- Salizylsäure (Aspirin): 25000 t CO₂/a

Potentielle Entwicklung der CO₂-Mengen (EU)*

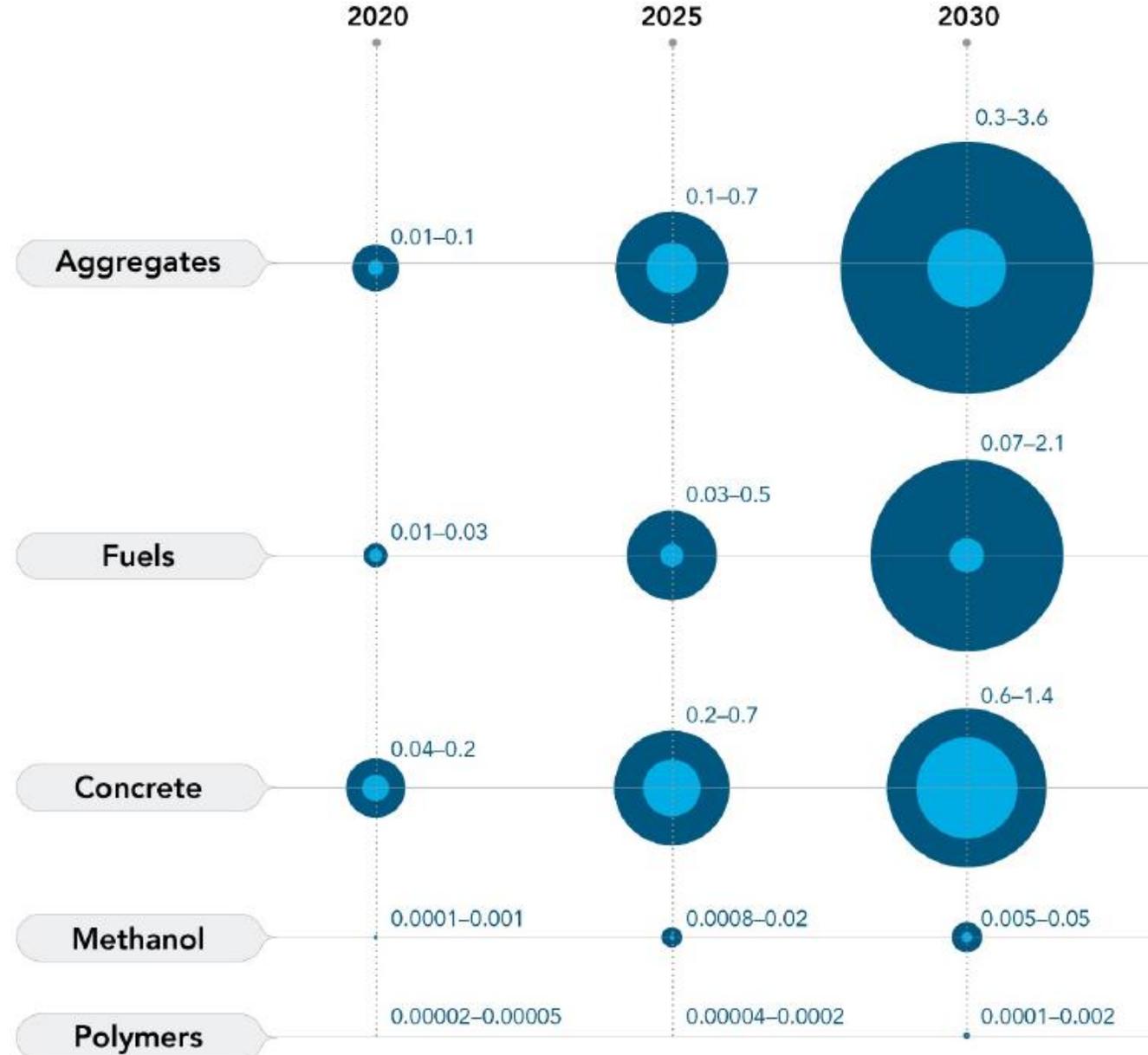
- Derzeitiger Einsatz: ca. 110 Mio.t CO₂/a
- Potential bis 2030: 600 Mio.t CO₂/a
- Theoretisches Potential ca. 2000 Mio.t CO₂/a

*Quelle: VDI Statusreport – Industrielle CO₂-Kreisläufe, Mai 2021

Zeitliche Entwicklung der Mengenpotentiale bestimmter CCU-Produkte

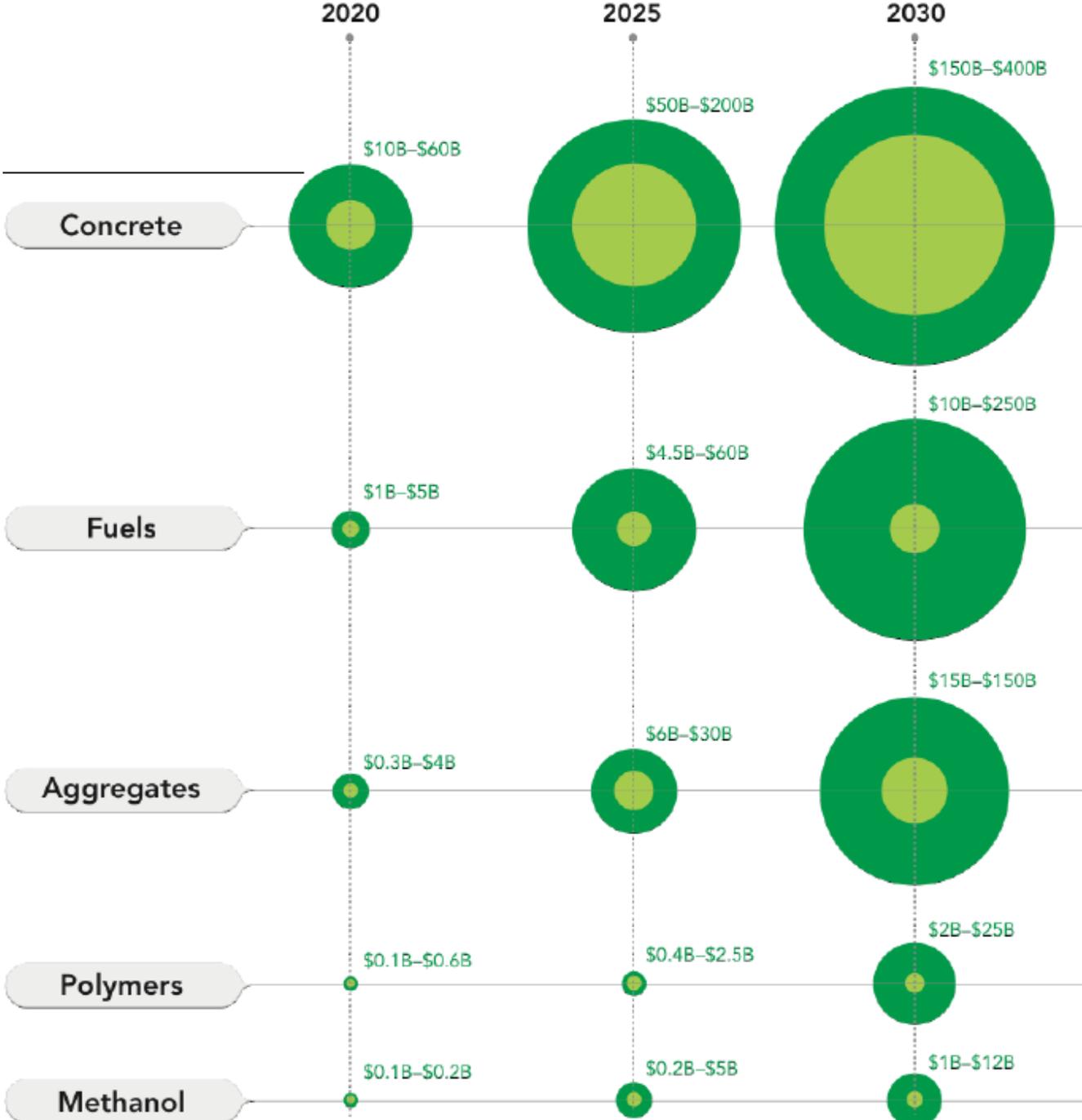
Potential CO₂ Utilization (gigatons)

■ Strategic actions implemented
■ Without strategic actions



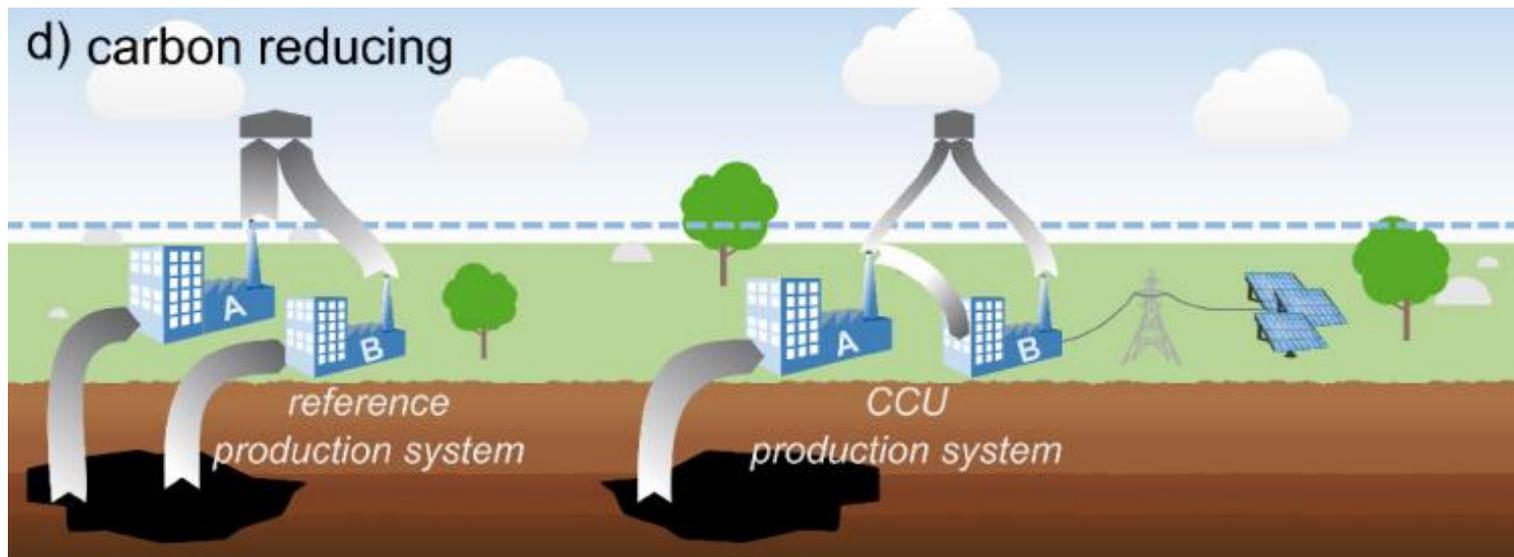
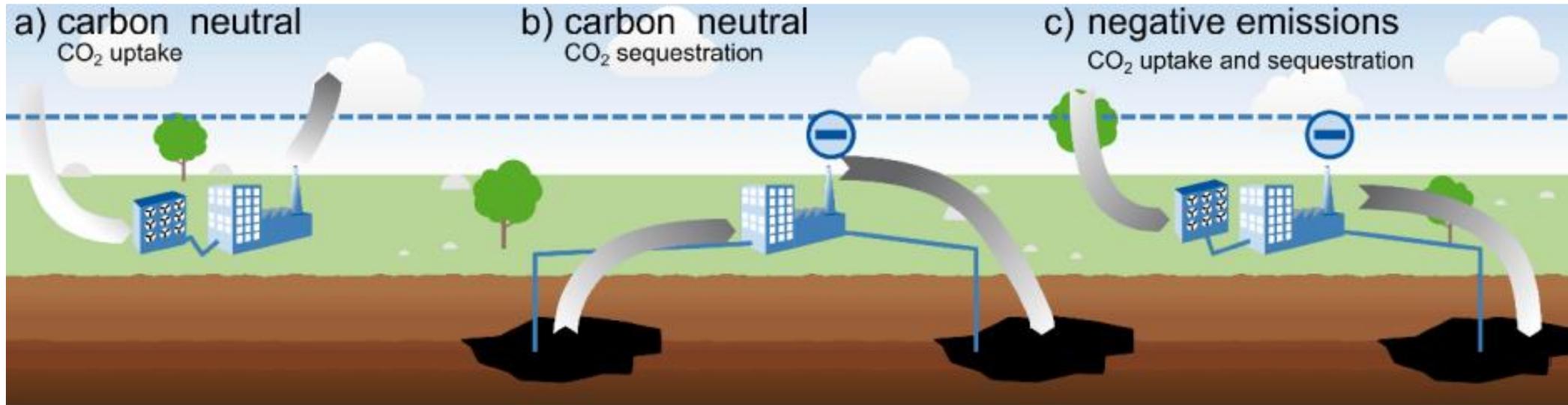
Quelle: CO₂ Sciences and The Global CO₂ Initiative: Global Roadmap for Implementing CO₂ Utilization, 2016.

Potentielle jährliche Umsätze aus bestimmten CCU-Produkten



Quelle: CO₂ Sciences and The Global CO₂ Initiative: Global Roadmap for Implementing CO₂ Utilization, 2016.

CO₂- neutrale, negative und reduzierende Prozesse



a)+ b) Nur dann CO₂ neutral, wenn Prozess keine CO₂ Emissionen hat.

c) Nur dann CO₂ negativ, wenn über gesamte Lebensdauer weniger als 1 kg CO₂-eq pro kg sequestrierten CO₂ freigesetzt wird.

d) Vergleichsprozess notwendig

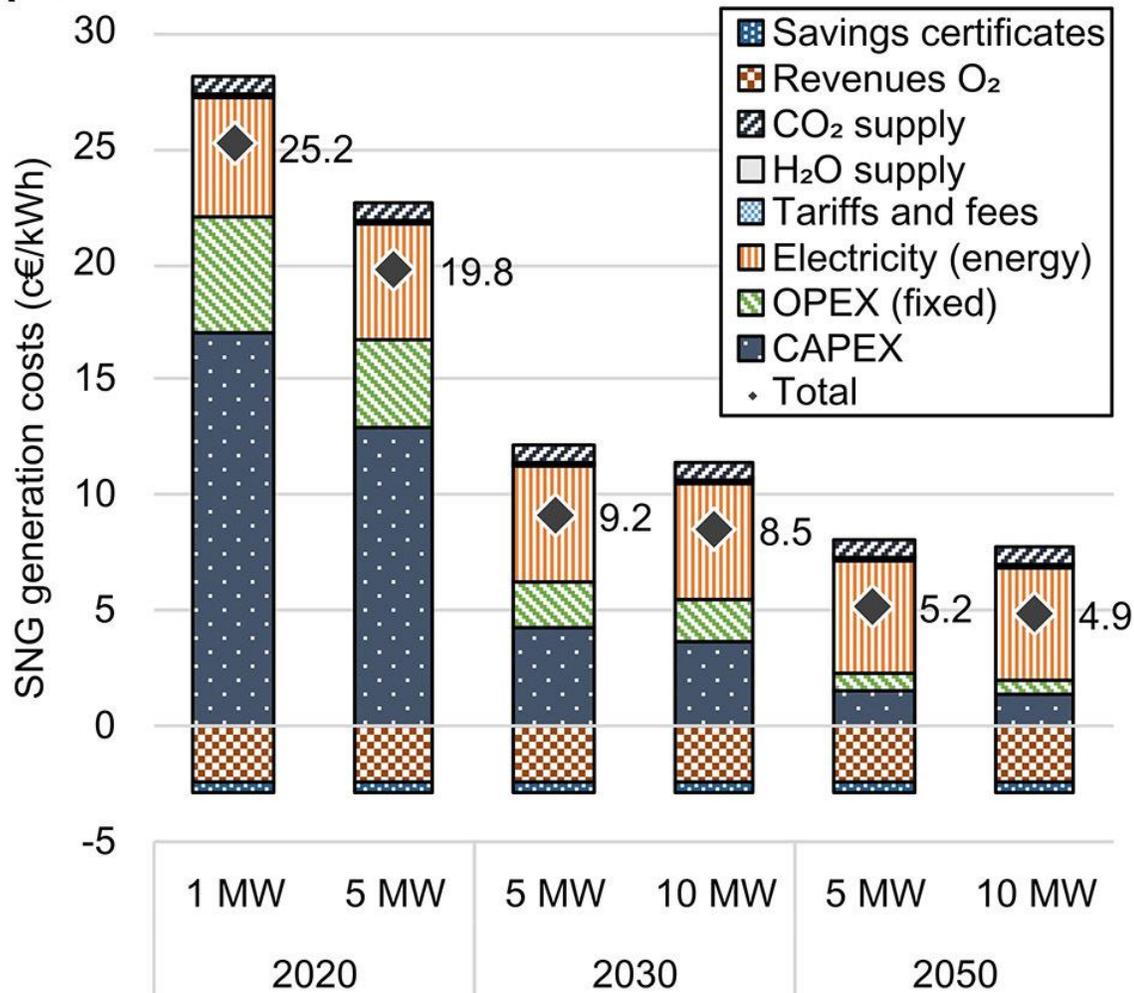
Mengenpotentiale und Break-Even Kosten in 2050

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

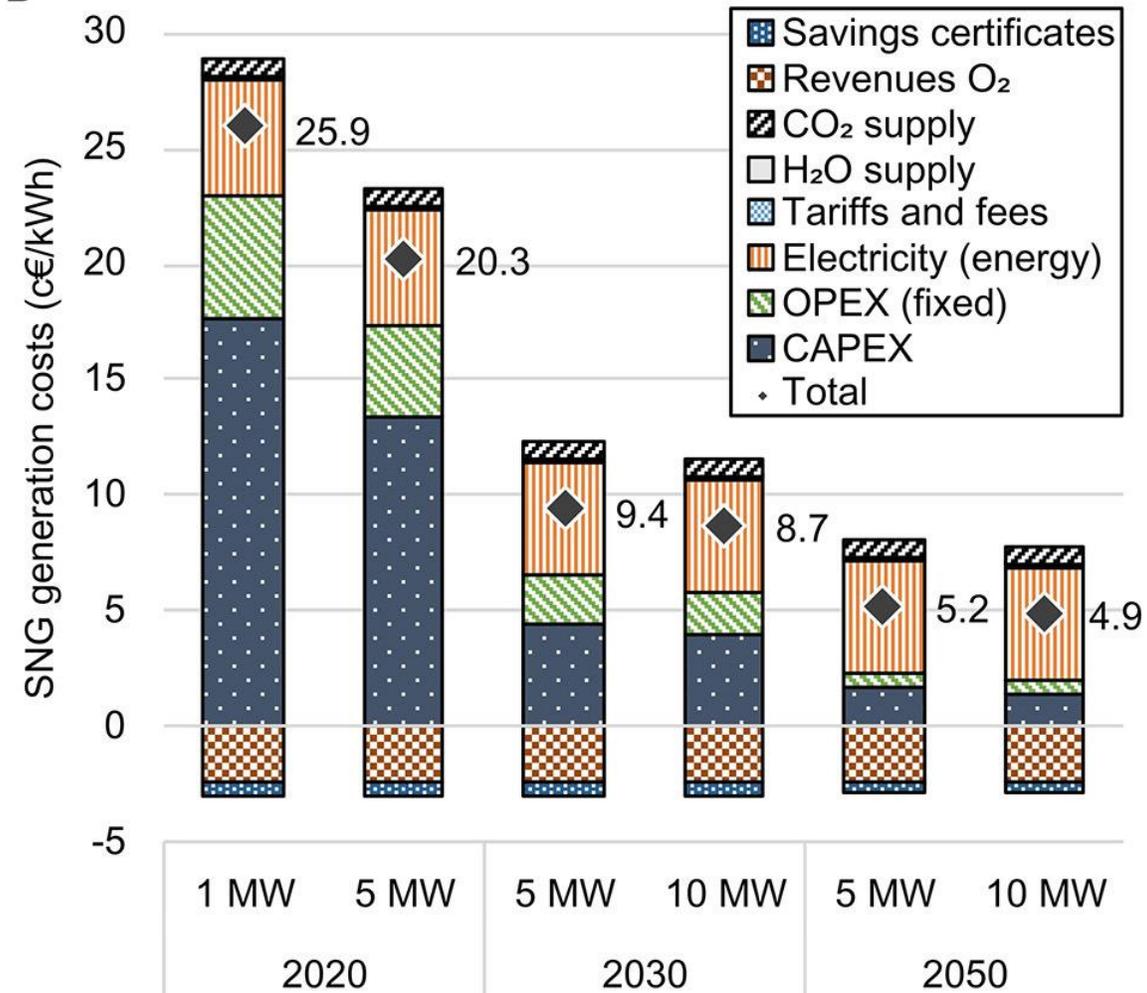
Quelle: Nature | Vol 575 | 7 November 2019 |
<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1681-6>

Entwicklung der SNG Gestehungskosten

A Stahlindustrie



B Zementindustrie



Quelle: Böhm H, Lehner M and Kienberger T: (2021) Techno-Economic Assessment of Thermally Integrated Co-Electrolysis and Methanation for Industrial Closed Carbon Cycles. Front. Sustain. 2:726332. doi: 10.3389/frsus.2021.726332

Zusammenfassung

- Das derzeitige Potential für CCU Verfahren ist vergleichsweise gering.
- Chemikalien und Treibstoffe sind derzeit noch sehr teuer.
- Die CO₂-Abscheidungskosten tragen einen wesentlichen Teil zu den Gesamtkosten der CO₂-Verwertung bei.
- Die wirtschaftliche Nutzung von CCU-Verfahren erfordert sowohl eine Senkung der Prozesskosten als auch eine weitere Verteuerung der CO₂ Emissionen.
- Es muss zwingend eine Bewertung des CCU Prozesses anhand der etablierten LCA Methoden erfolgen.

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

