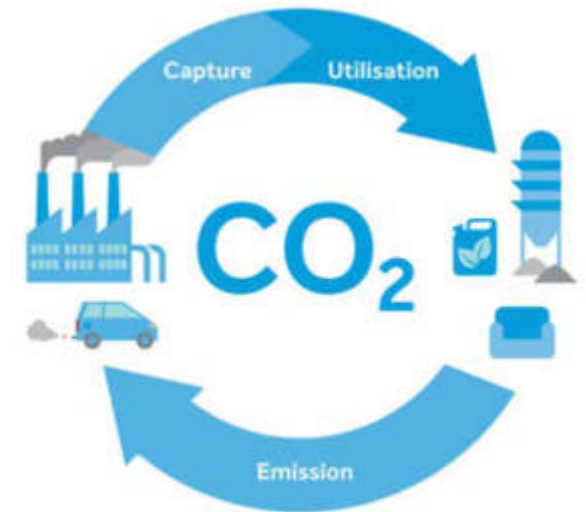


# Carbon Capture and Utilization (CCU) Potentiale und Herausforderungen



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

WO AUS FORSCHUNG ZUKUNFT WIRD

Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes

# Begriffsbestimmung und Grundlagen

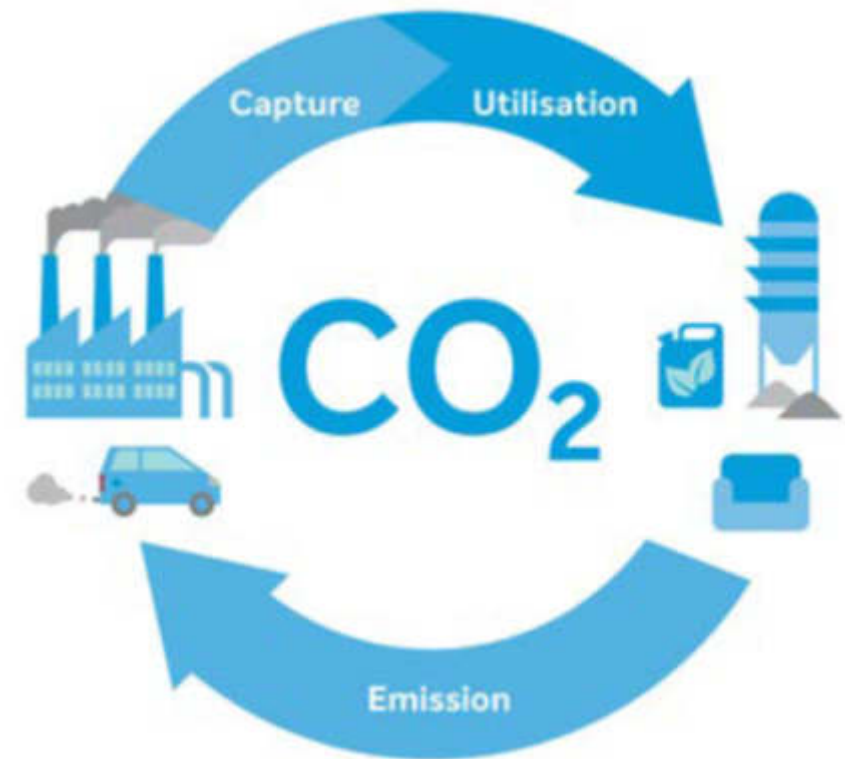
# Begriffsbestimmung

## Carbon Capture and Utilization (CCU)

- CCU ist die Nutzung von CO<sub>2</sub> 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

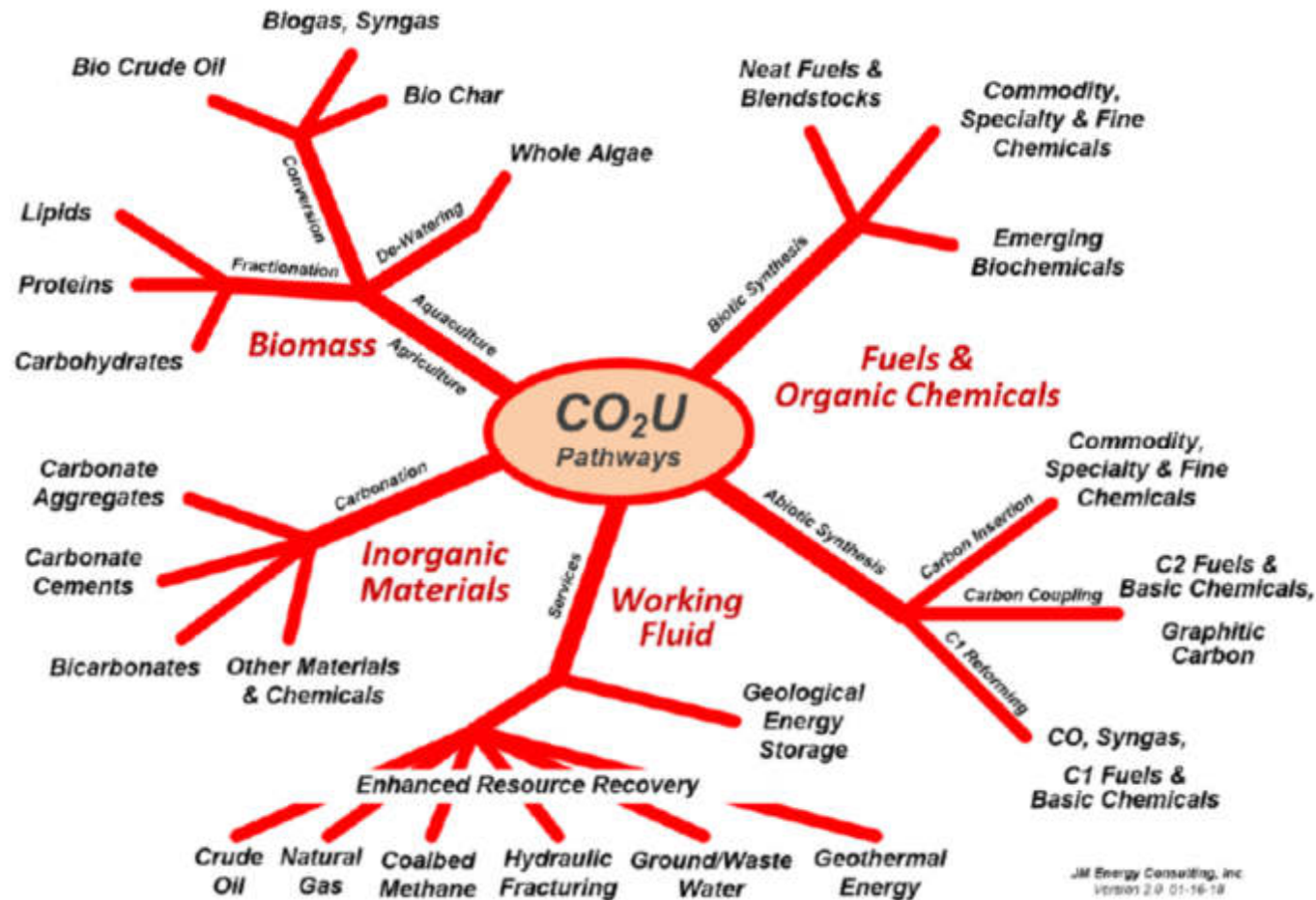
- Carbon Capture, also CO<sub>2</sub> Abscheidung bzw. Gewinnung, ist der erste Schritt in der Prozesskette der CO<sub>2</sub> Nutzung.
- Das CO<sub>2</sub> kann aus Punktquellen (z.B. Zement- oder Stahlwerksabgase) gewonnen werden.
- Alternativ kann CO<sub>2</sub> direkt aus der Luft abgeschieden werden („Direct Air Capture“)



# Prozesspfade zur CO<sub>2</sub> Nutzung

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

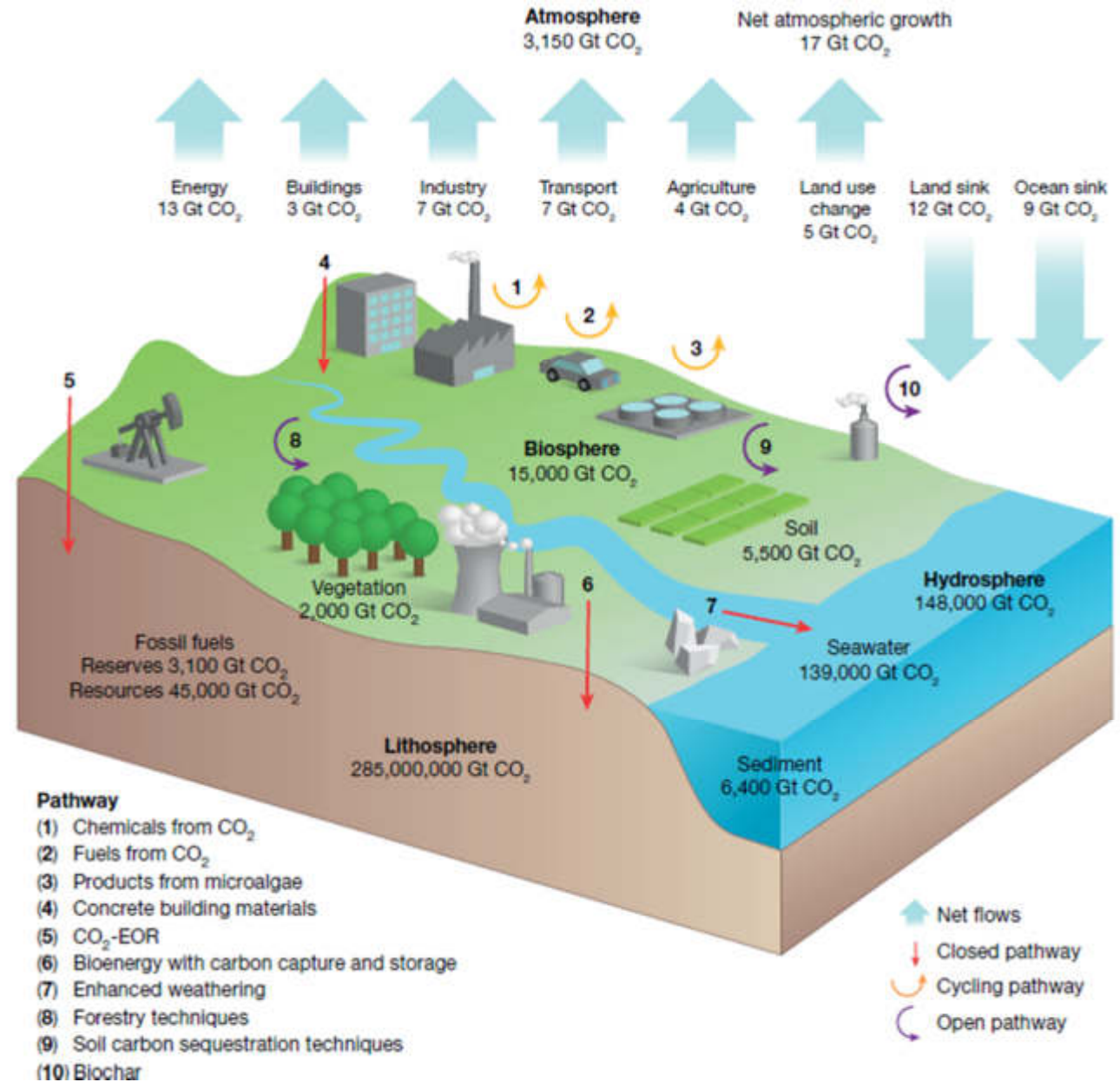
# Prozesspfade zur CO<sub>2</sub> Nutzung



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

# Offene, zyklische und geschlossene CO<sub>2</sub> Nutzung

Die Bindungsdauer ist abhängig vom Produkt bzw. vom Technologiepfad.

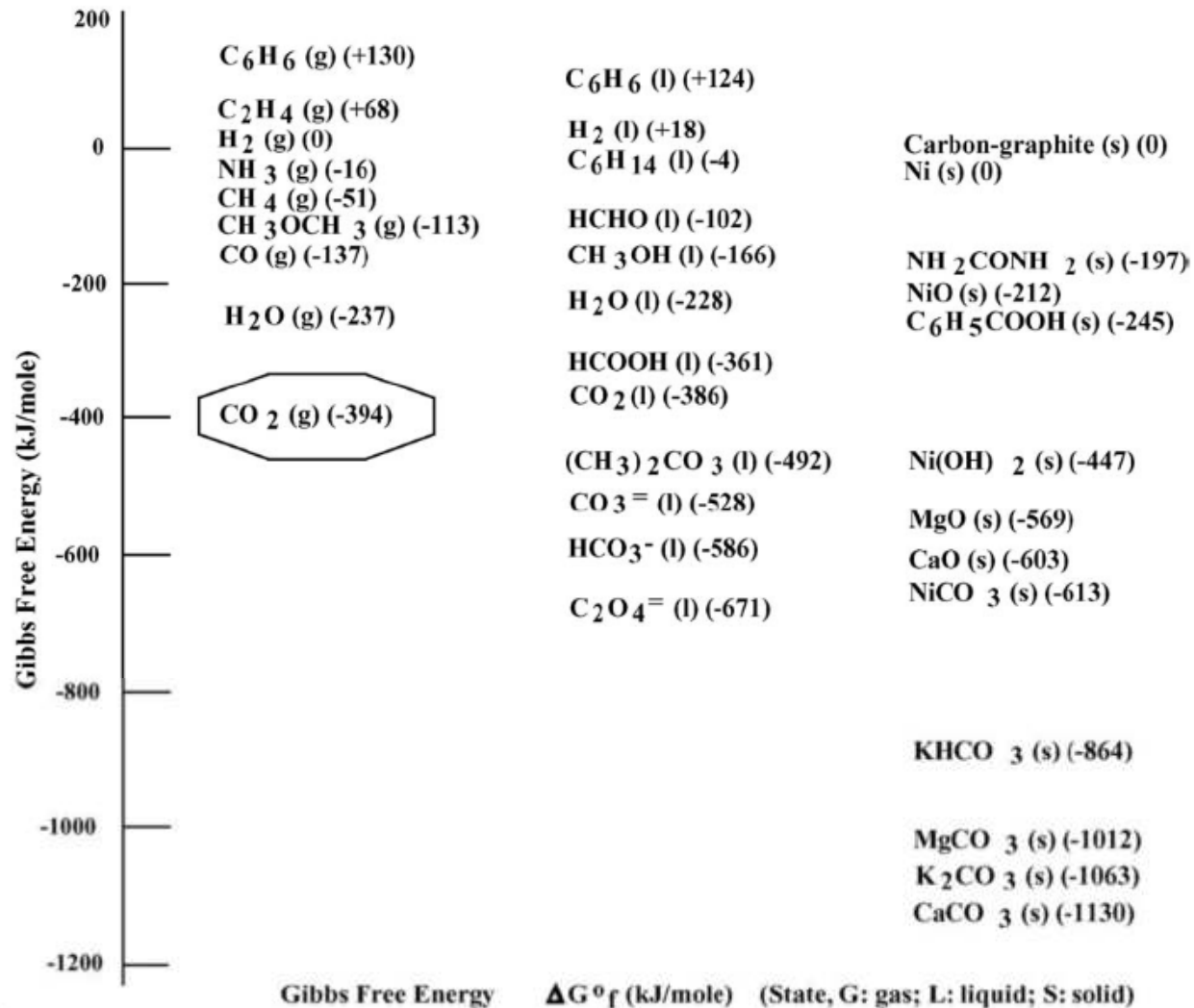


Nature | Vol 575 | 7 November 2019 |  
<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1681-6>

# CCU Technologiepfade und Bindungsdauer

Technologiepfad	CO <sub>2</sub> Quelle und Konvertierung	Nutzung, Produkt	Speicherdauer – Freisetzungswahrscheinlichkeit (hoch/niedrig)
(1) Chemikalien	Katalytische Konvertierung von CO <sub>2</sub> aus Abgasen oder anderen Quellen in Chemikalien	Plattformchemikalien wie Methanol, Harnstoff, Kunststoffe	Tage bis Jahrzehnte – hoch
(2) Treibstoffe	Katalytische Hydrierung von CO <sub>2</sub> aus Abgasen oder anderen Quellen in Treibstoffe	Treibstoffe wie Methanol, Methan, Fischer-Tropsch Syncrude	Wochen bis Monate – hoch
(3) Produkte aus Mikroalgen	Aufnahme von CO <sub>2</sub> aus der Atmosphäre oder anderen Quellen zur Erzeugung von Algenbiomasse	Biotreibstoffe, Biomasse, Nahrungsergänzungsmittel	Wochen bis Monate – hoch
(4) Baustoffe	Karbonatisierung von CO <sub>2</sub> aus Abgasen oder anderen Quellen in Baustoffe	Karbonate und Betonzuschlagstoffe	Jahrhunderte – niedrig
(5) CO <sub>2</sub> – EOR	Einpressen von CO <sub>2</sub> aus Abgasen oder anderen Quellen in Öllagerstätten	Rohöl	Millionenjahre – niedrig
(6) BECCS	Wachstum von Biomasse	Energie aus Biomasse	Millionenjahre – niedrig
(7) Beschleunigte Verwitterung	Mineralisierung von pulverförmigen silikatischen Gestein durch atmosphärisches CO <sub>2</sub>	Landwirtschaftliche Biomasse	Millionenjahre – niedrig
(8) Aufforstung	Wachstum von holzartiger Biomasse	Wälder, Holzprodukte	Jahrzehnte bis Jahrhunderte – hoch
(9) Speicherung in Böden	Erhöhung des Kohlenstoffs in Böden mittels verschiedener Praktiken	Landwirtschaftliche Biomasse	Jahre bis Jahrzehnte – hoch
(10) Biokohle	Wachstum von Biomasse und Pyrolyse zu Biokohle für Bodenverbesserung	Landwirtschaftliche Biomasse/Bioenergie	Jahre bis Jahrzehnte – hoch

# Thermodynamische Grundlagen



C. Song / Catalysis Today 115 (2006) 2–32



# Gesamt CO<sub>2</sub>-Bilanz

- Alleine die Nutzung von CO<sub>2</sub> bedingt noch keine negative Gesamt-CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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



# Carbon Capture

# Auswahl von CO<sub>2</sub>-Punktquellen in Österreich

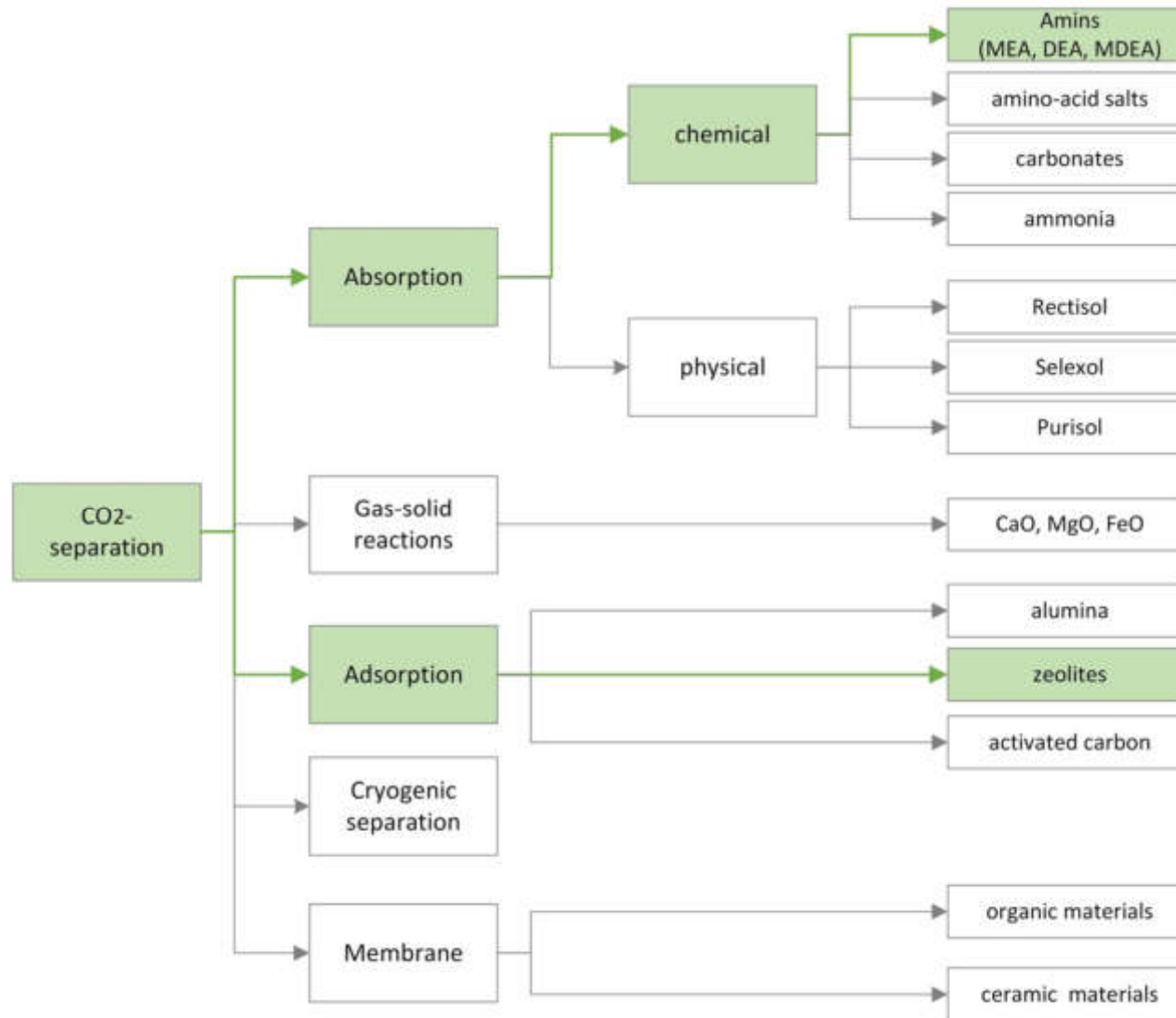
Treibhausgasausstoß in Österreich (2019): 79,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent (Quelle: UBA)

61,2 Mio. t CO<sub>2</sub> (Quelle: bp statistical review of world energy, 68<sup>th</sup> ed.)

	Nm <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> /h	t CO <sub>2</sub> /a	CO <sub>2</sub> Gehalt [Vol.%]
Magnesia (MgO) Produktion	10 000	156 000	18
Typisches Zementwerk	40 358	700 000	14
Gichtgas aus Hochofen	164 000	2 845 000	25
Konvertergas	11 000	191 000	17
Erdgasaufbereitung	5 200	90 000	92
Biogas Anlage (500 kW)	90	1 560	45
Biomasse Vergasung*	18 480	238 000	92

\*OxySER Prozess; Quelle: Hammerschmid M. et al. Biomass Conversion and Biorefinery, 2020; <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00939-z>

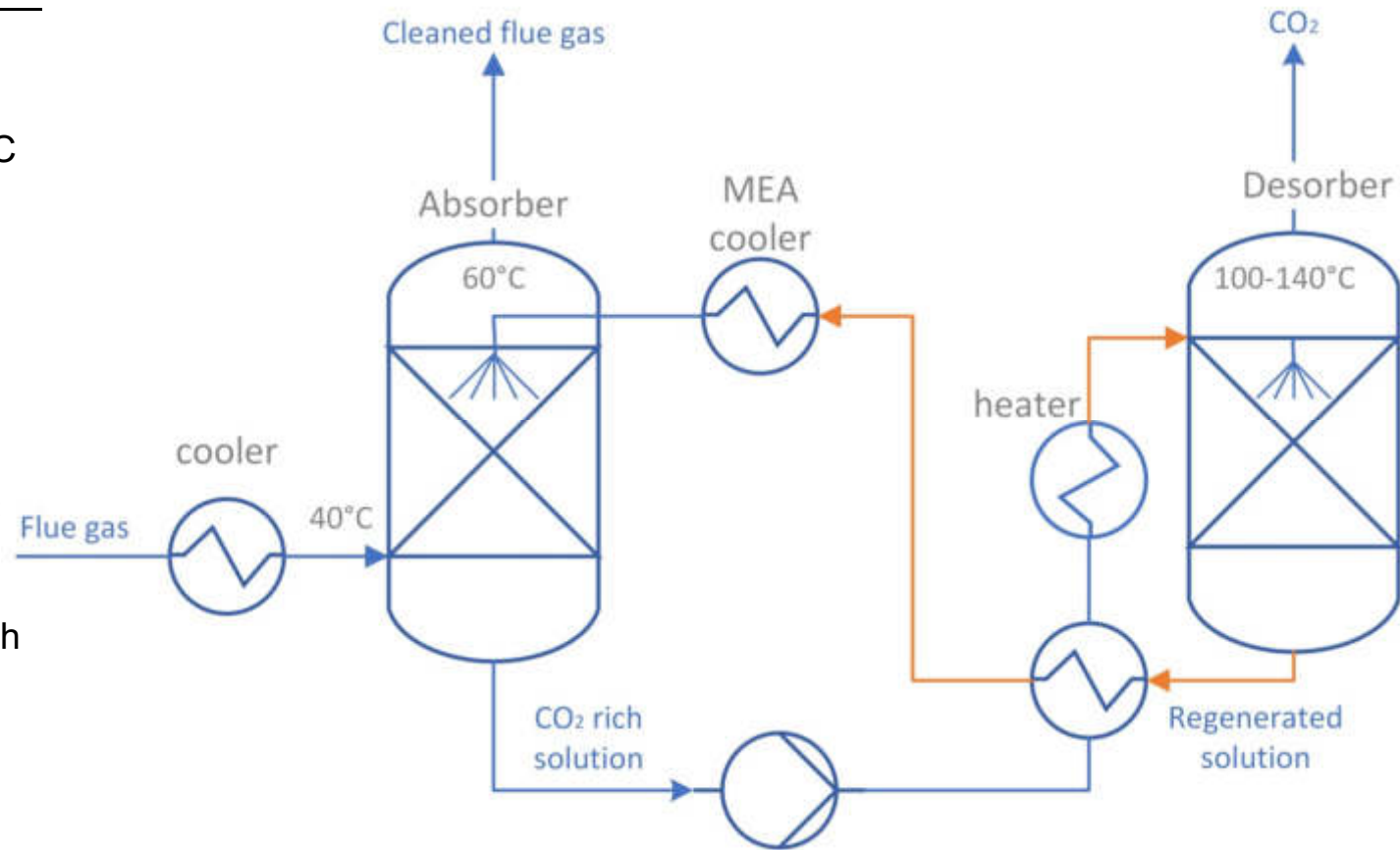
# CO<sub>2</sub> Abscheidung: Technologieübersicht



# CO<sub>2</sub> Abscheidung aus Punktquellen

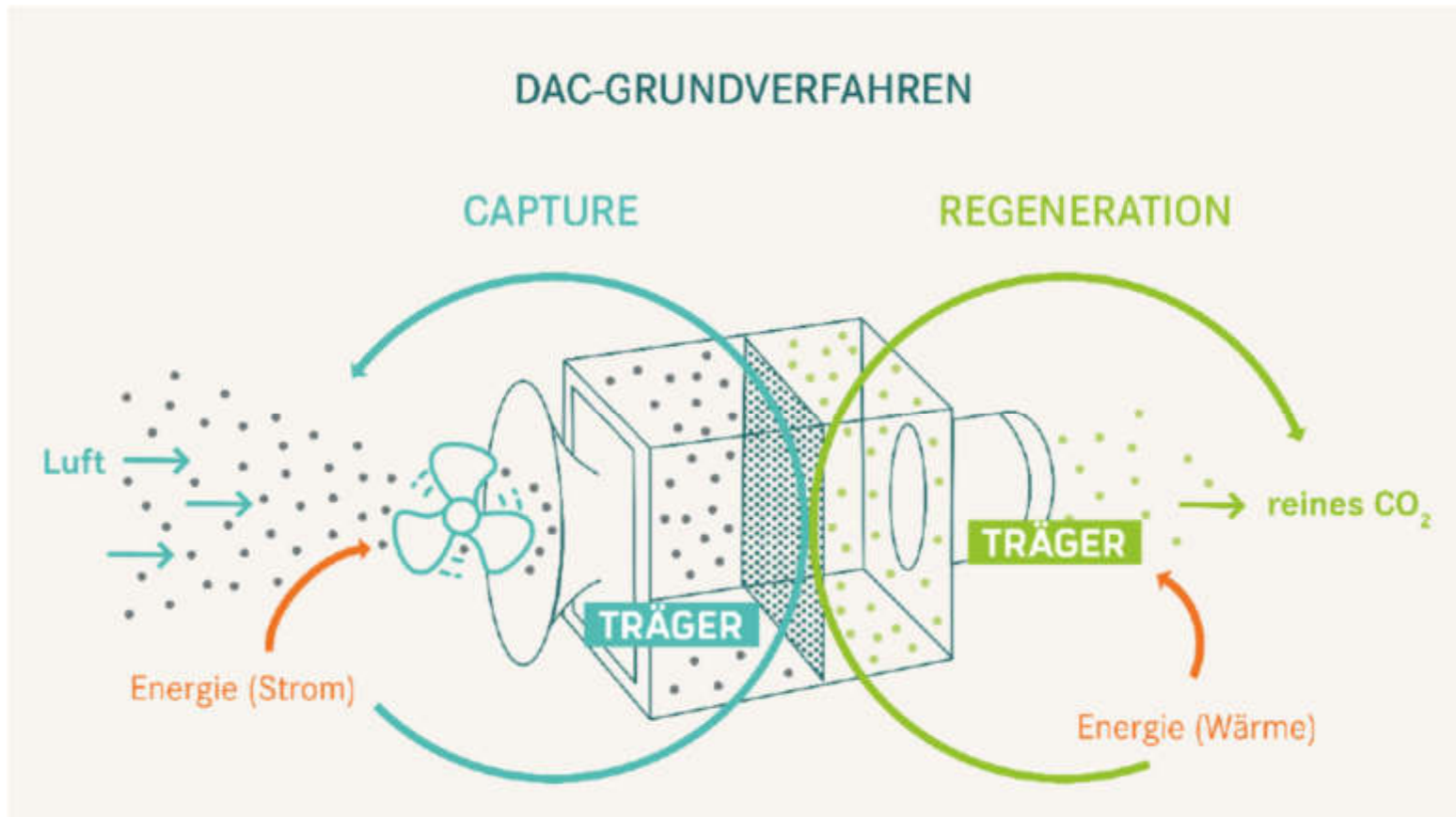
Allgemeines Schema einer Gaswäsche (Absorption), hier mit Aminlösung (MEA)

	MEA
<b>Temperatur</b>	Absorption 40 – 60 °C Desorption 100 – 200 °C
<b>Druck</b>	1 – 2,5 bar
<b>CO<sub>2</sub> in Aufgabe</b>	< 20 %
<b>CO<sub>2</sub> Reinheit</b>	90- 99,9 %
<b>CO<sub>2</sub> Ausbringung</b>	90 – 98 %
<b>TRL</b>	9
<b>Vorteil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Reinheit des CO<sub>2</sub></li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher Energieverbrauch für Regeneration MEA</li> <li>• Degradation von MEA durch Staub, O<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub></li> </ul>

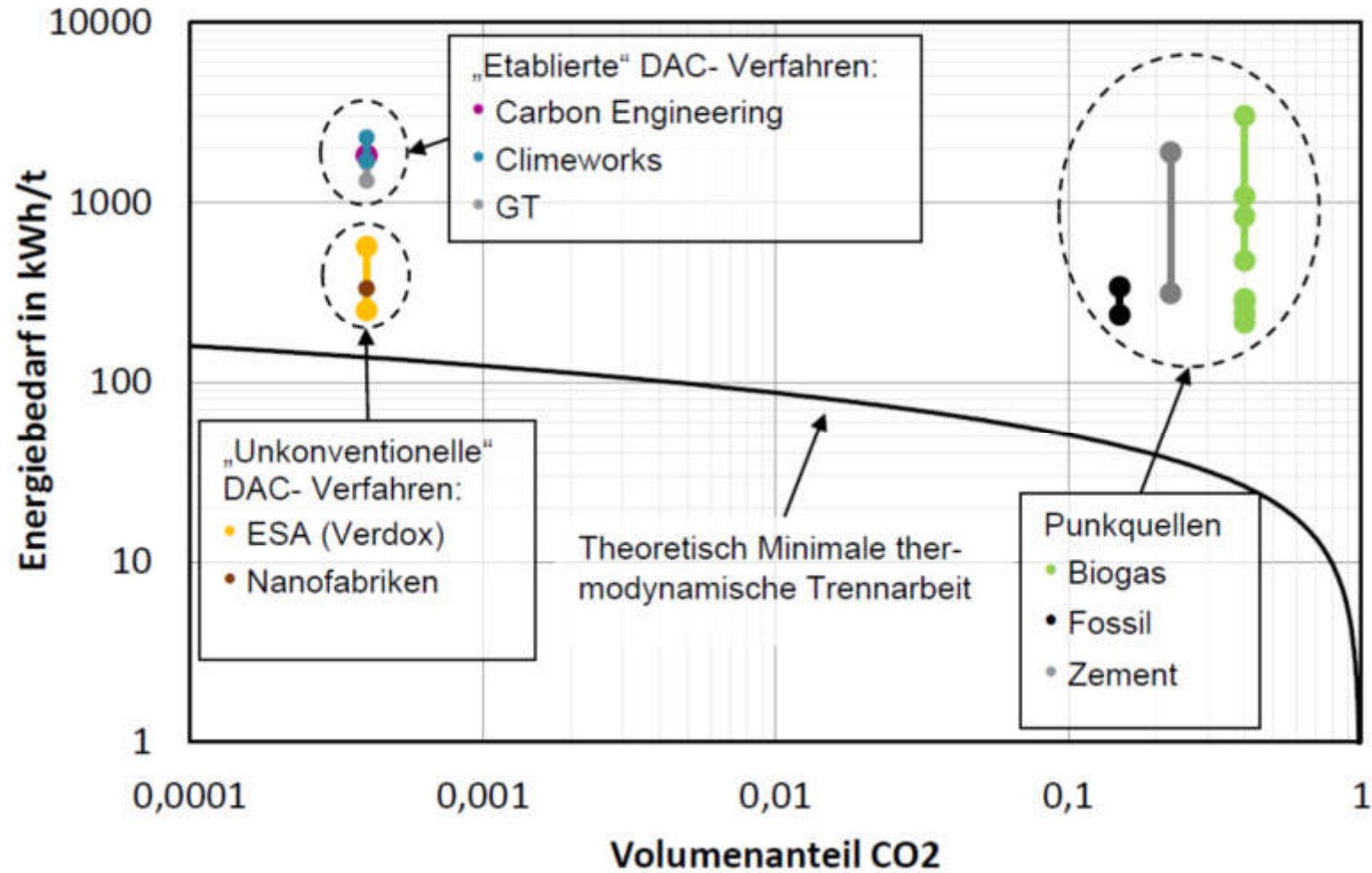


# CO<sub>2</sub> Abscheidung aus Luft

Allgemeines Schema der CO<sub>2</sub> Abscheidung aus Luft: „Direct Air Capture“ (DAC)



# Energieverbrauch der CO<sub>2</sub> Abscheidung



Quelle: KIT 2020

# Energieverbrauch und Kosten der CO<sub>2</sub> Abscheidung

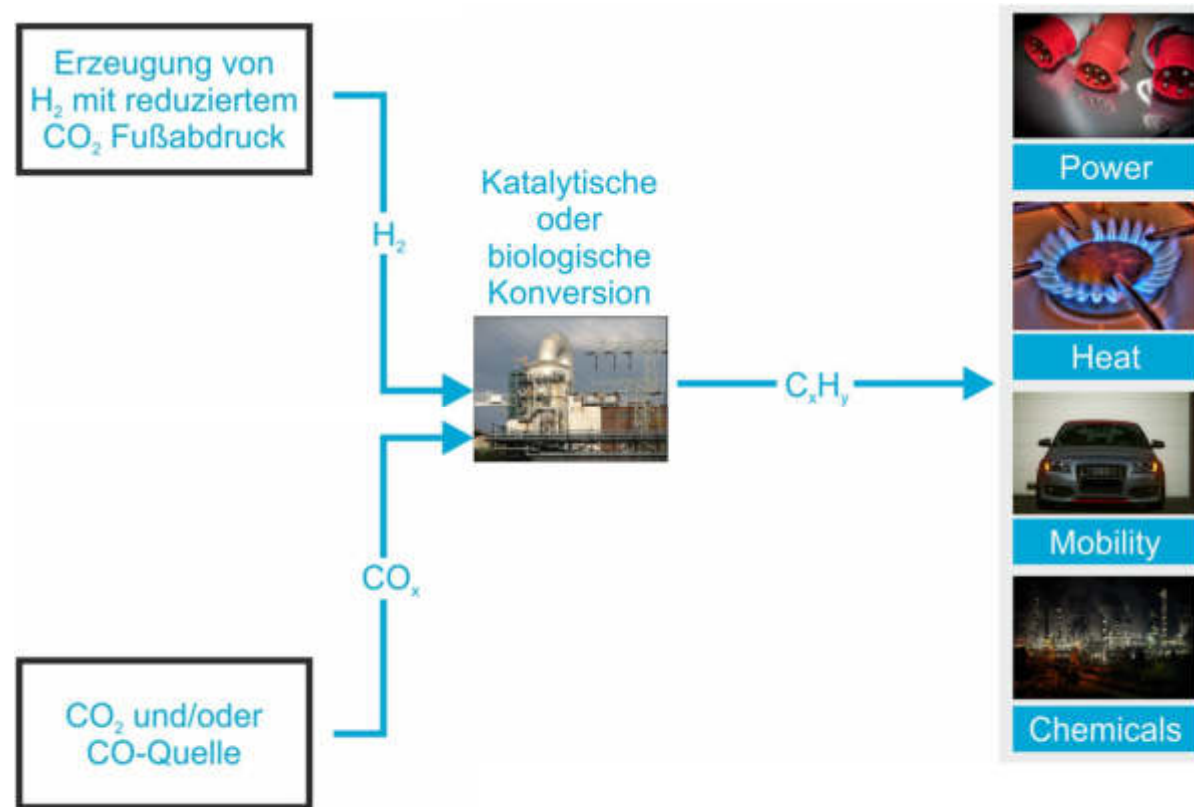
		Punktquelle				DAC	
		Zement		Abgas		2020	2050
		2020	2050	2020	2050	2020	2050
Konz.	%	14-33		7-45		0,04	
Kosten	€/t	15-140		30-130		125-800	41-82
Energiebe- darf	kWh/t	>600		>330		k.A.	1400-2500

Quelle: KIT 2020

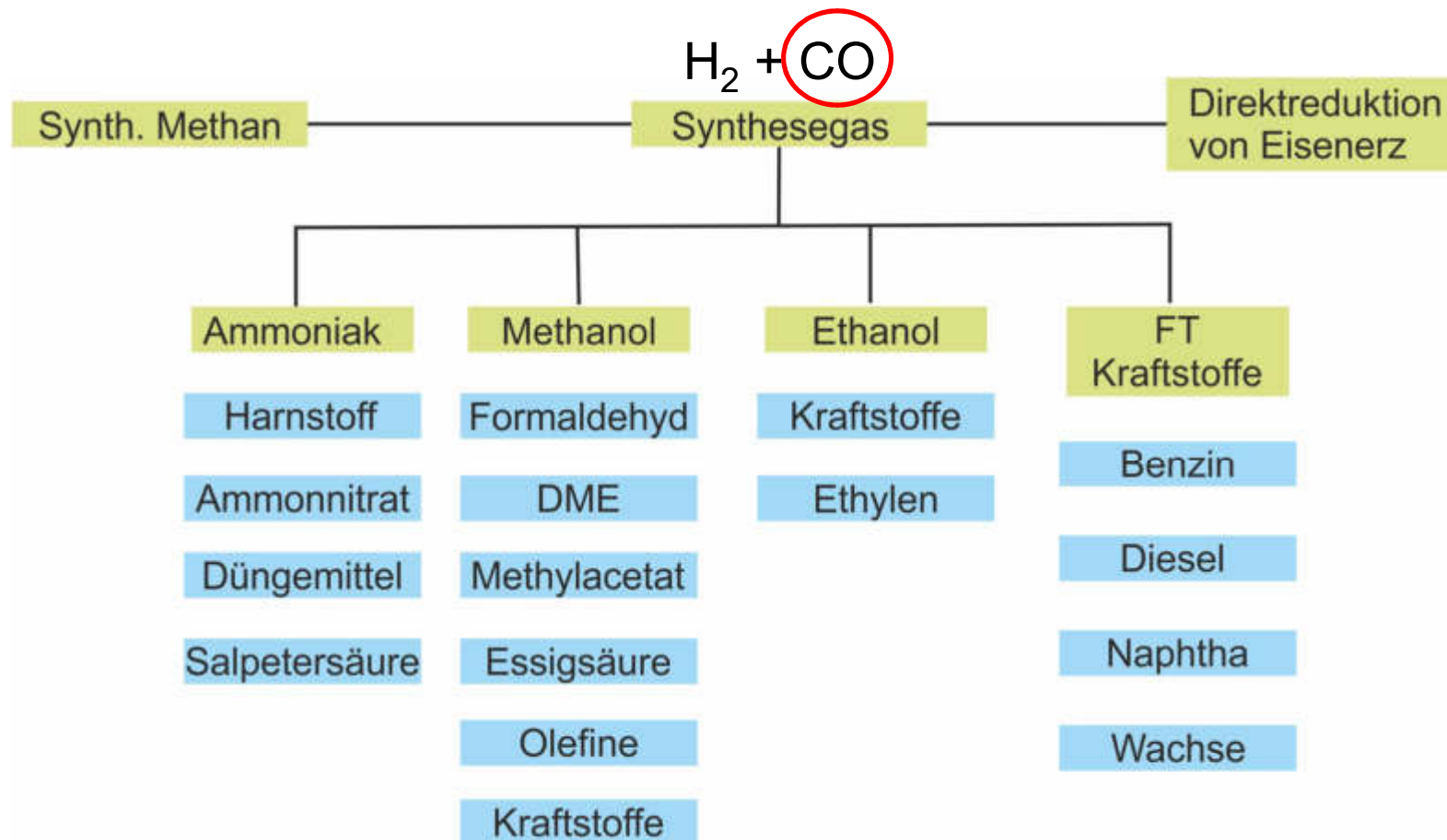


# CCU Produkte: Chemikalien und Treibstoffe

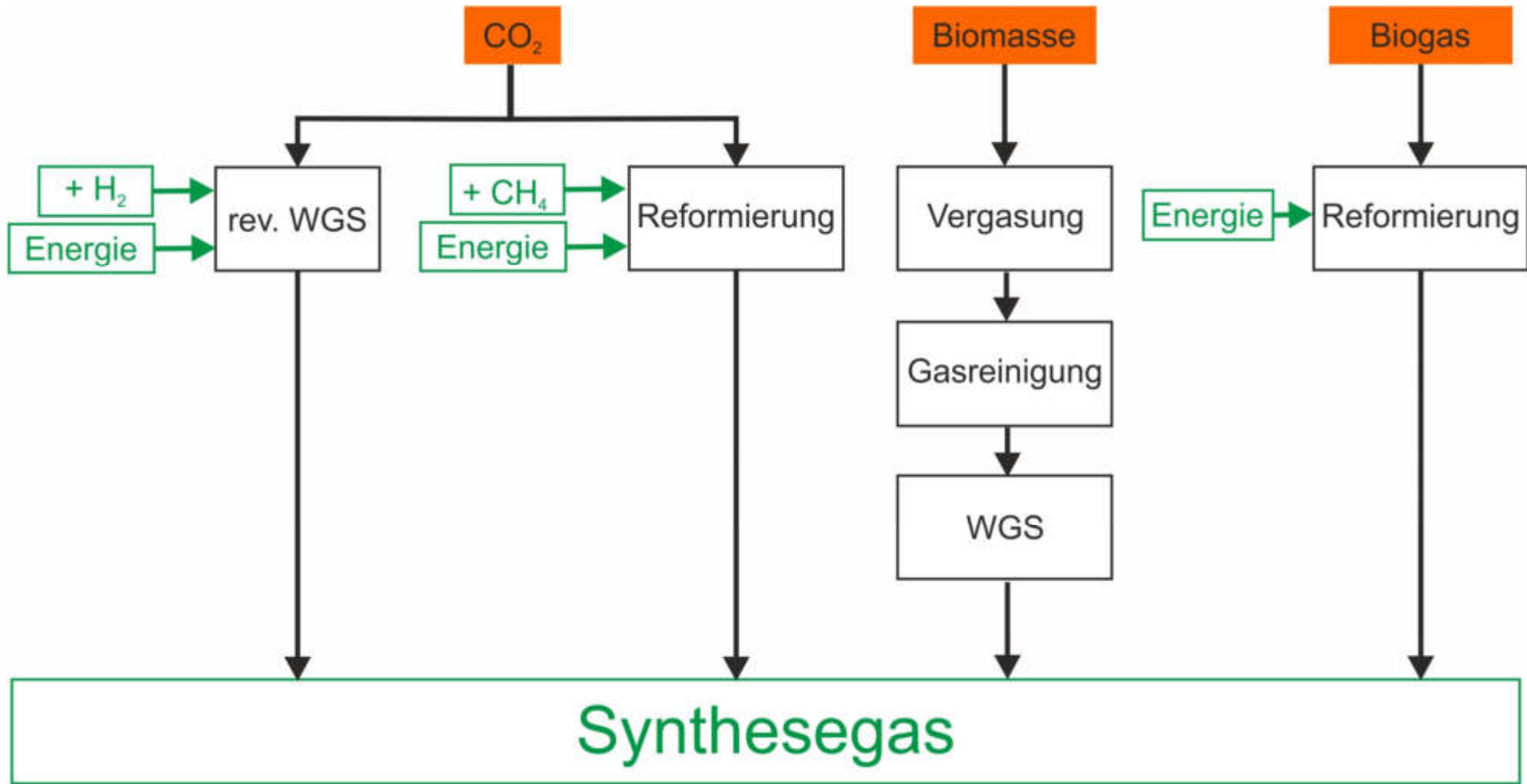
# CO<sub>2</sub> als Synthesebaustein für Chemikalien und Treibstoffe



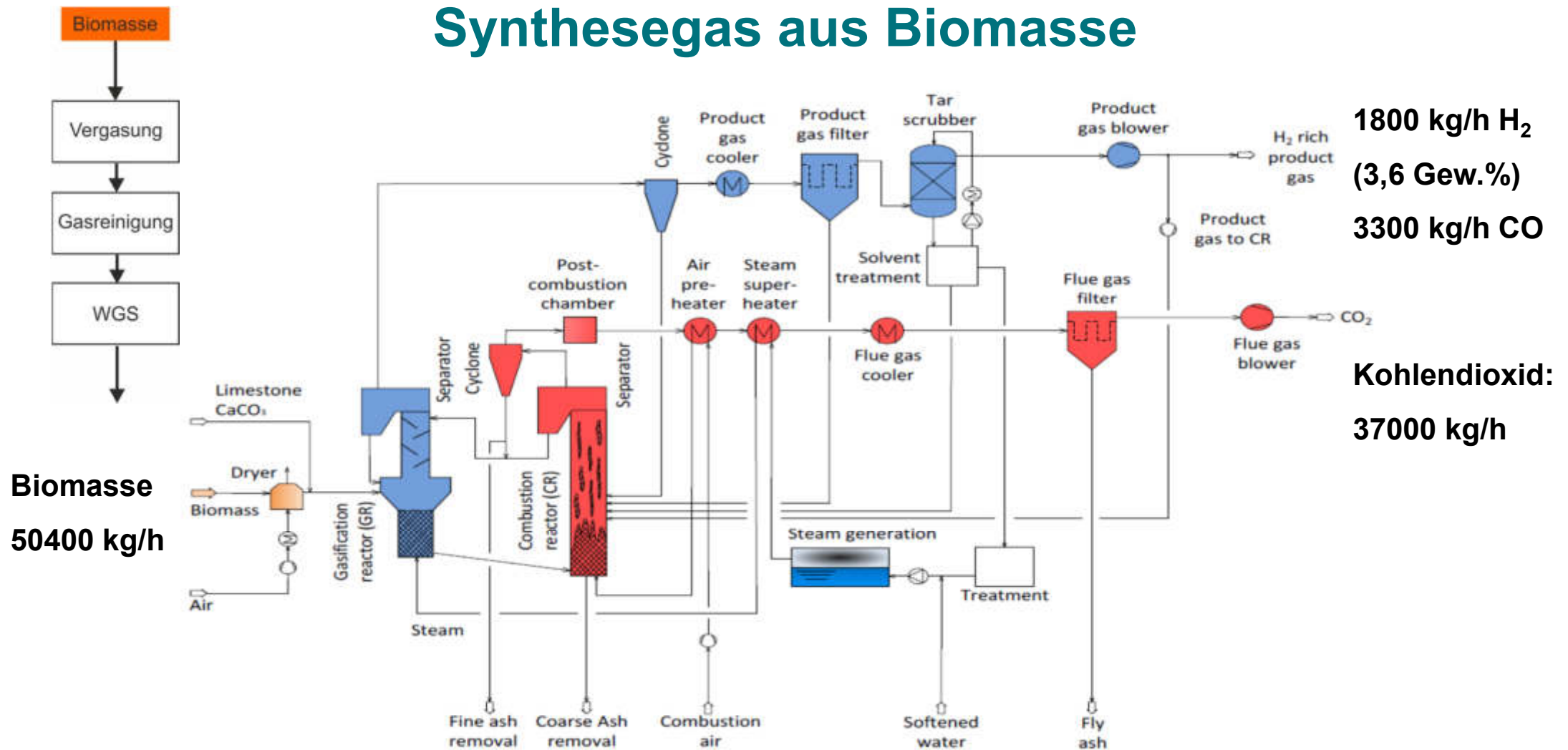
# Synthesegaschemie



# „Grüne“ Synthesegaserzeugung

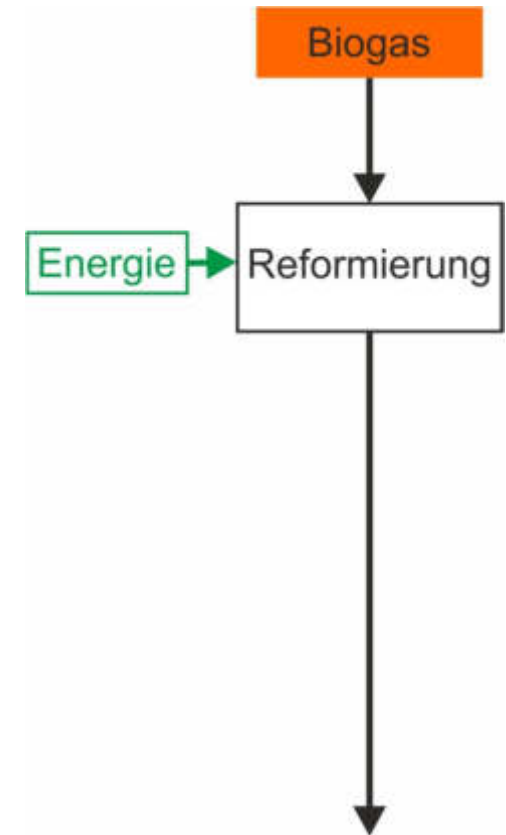
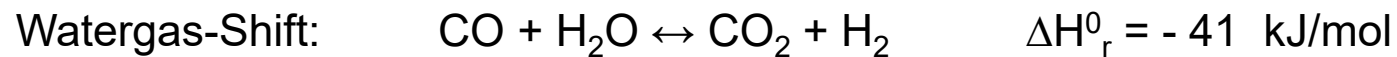
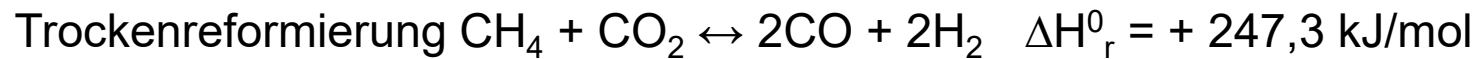
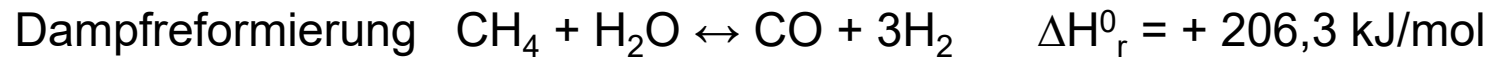


# Synthesegas aus Biomasse

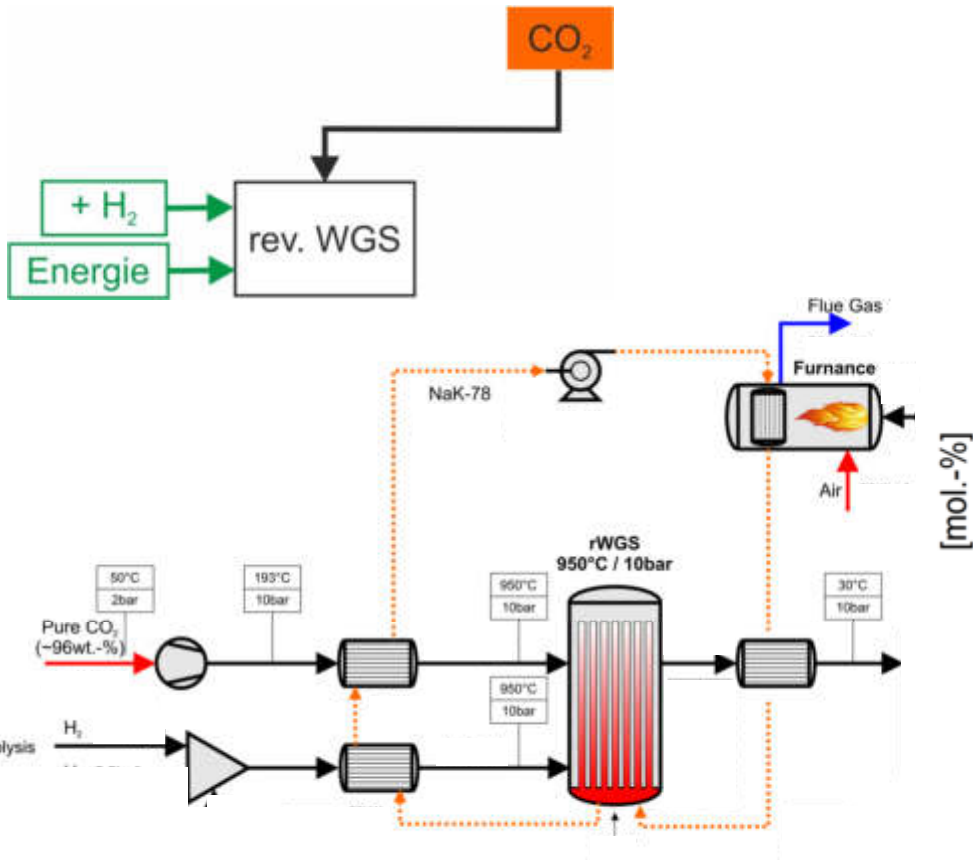


Quelle: Hammerschmid M. et al. Biomass Conversion and Biorefinery, 2020; <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00939-z>

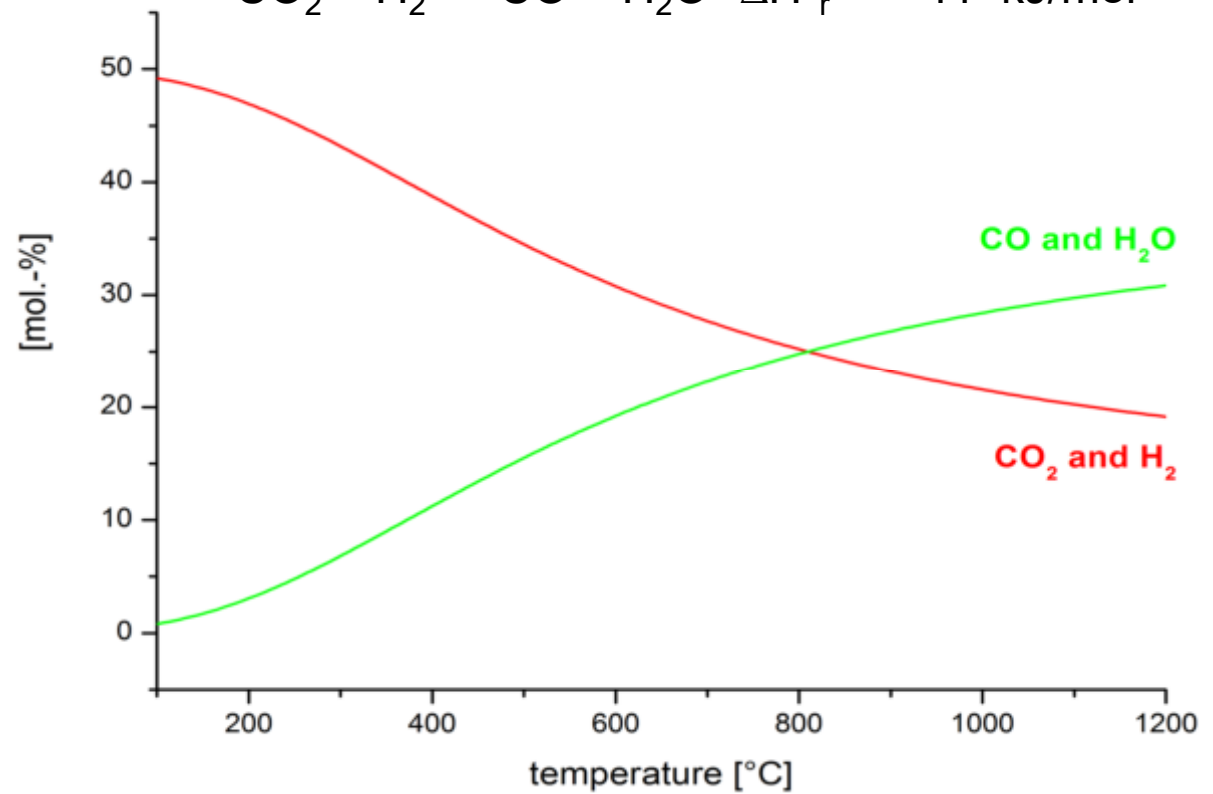
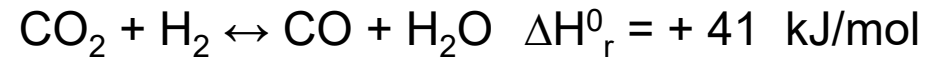
# Reformierung



# Reverse Wassergas-Shift Reaktion (rWGS)

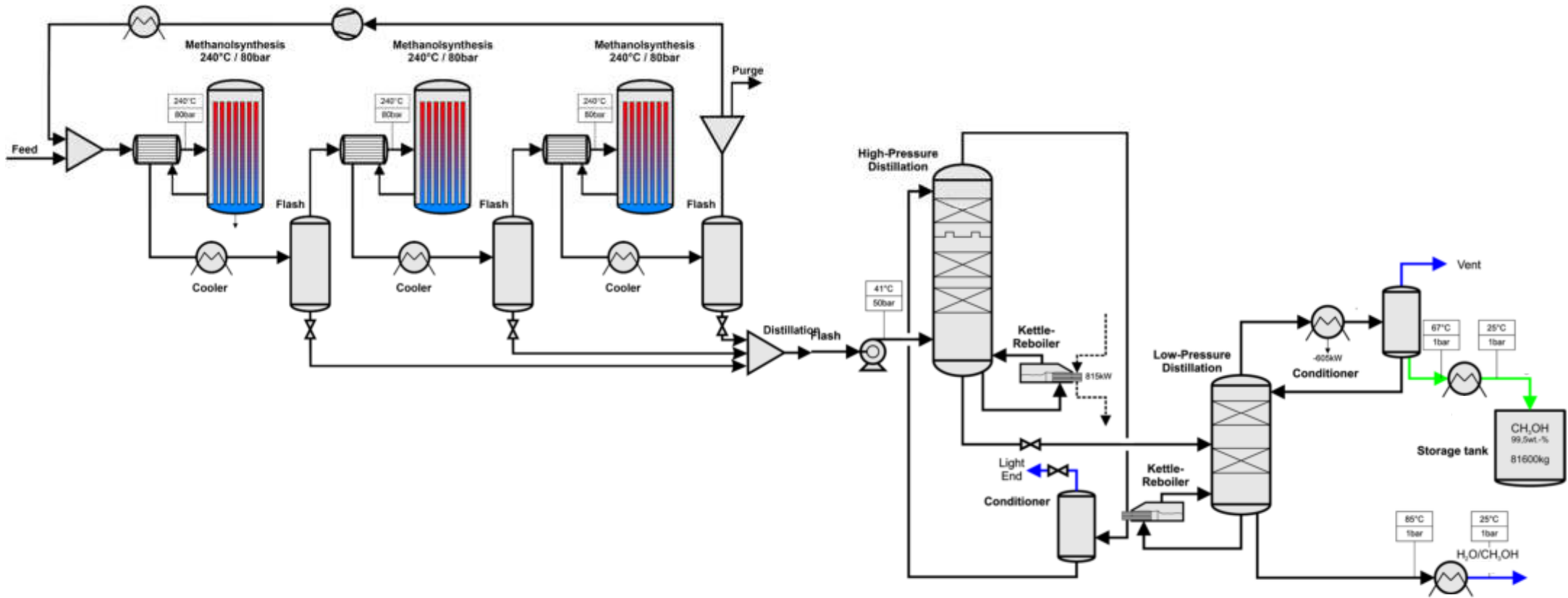


Reverse Watergas-Shift:



# Direkte Hydrierung von CO<sub>2</sub>

Beispiel Methanolsynthese:  $\text{CO}_2 + 3 \text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$       $\Delta H_r^0 = - 49,5 \text{ kJ/mol}$





# 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 <sub>2</sub> Feed	[tons/a]	24 500	120 000	24 500	120 000
H <sub>2</sub> 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

# CO<sub>2</sub>-Quellen und Wasserstoffbedarf für Methanolsynthese

	Nm <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> /h	t CO <sub>2</sub> /a	CO <sub>2</sub> Gehalt [Vol. %]	H <sub>2</sub> Bedarf [t H <sub>2</sub> /a]	Elektrolyseleistung [MW]**
Magnesia (MgO) Produktion	10 000	156 000	18	21 379	149
Zementwerk	40 358	700 000	14	95 932	667
Gichtgas aus Hochofen	164 000	2 845 000	25	389 894	2 711
Konvertergas	11 000	191 000	17	26 176	182
Erdgasaufbereitung	5 200	90 000	92	12 334	86
Biogas Anlage (500 kW)	90	1 560	45	214	1,5
Biomasse Vergasung*	18 480	238 000	92	32 617	227

\*OxySER Prozess; Quelle: Hammerschmid M. et al. Biomass Conversion and Biorefinery, 2020; <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00939-z>

\*\* 8000 h/a

# CCU Kosten und Potentiale

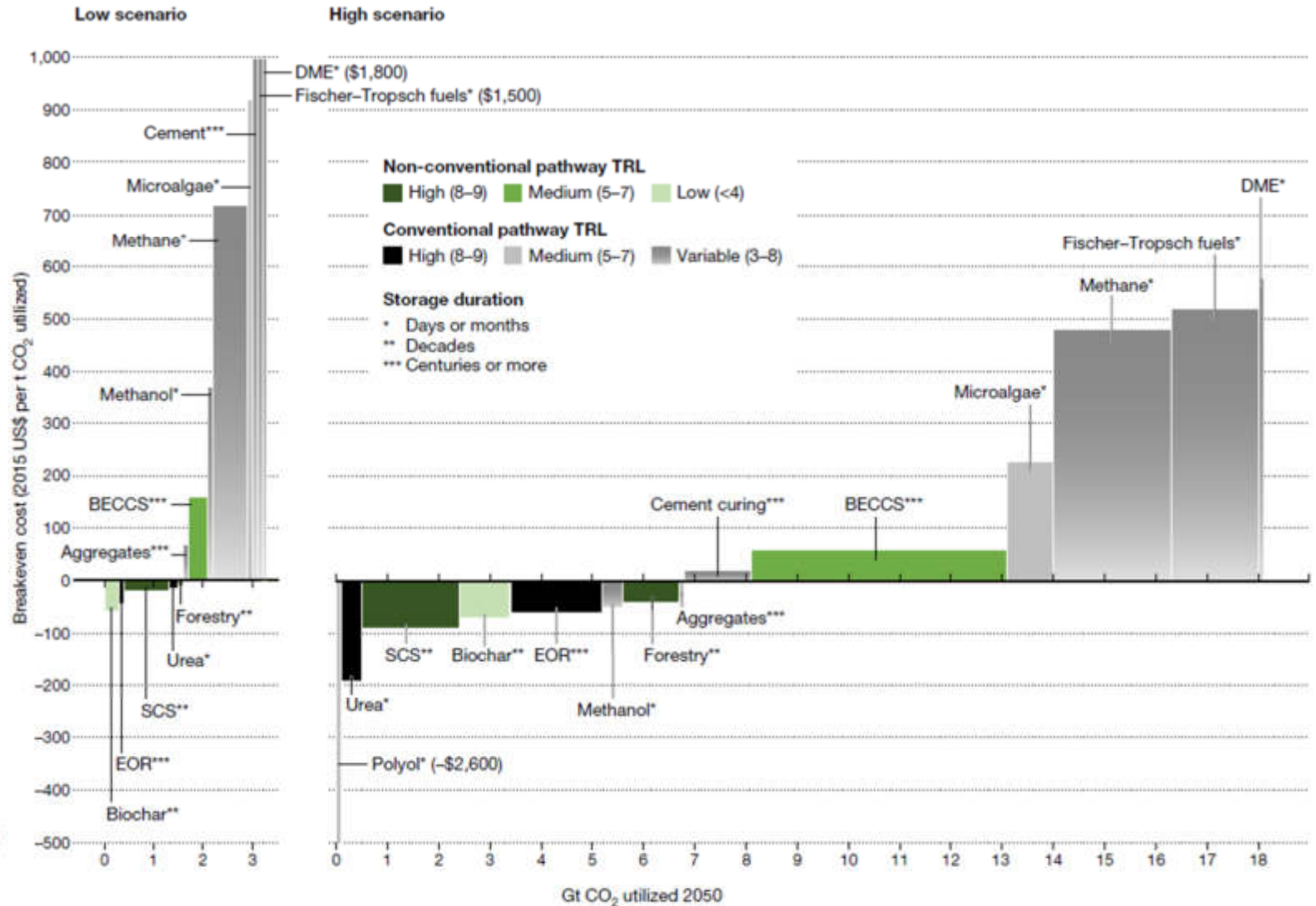
# Mengenpotentiale und Break-Even Kosten in 2050

Pathway	Removal potential in 2050 (Mt CO <sub>2</sub> removed per year)	Utilization potential in 2050 (Mt CO <sub>2</sub> utilized per year)	Breakeven cost of CO <sub>2</sub> utilization (2015 US\$ per tonne CO <sub>2</sub> utilized)
<b>Conventional utilization</b>			
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
<b>Non-conventional utilization</b>			
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>

# Mengenpotentiale und Break-Even Kosten in 2050

Globaler CO<sub>2</sub>-Ausstoß 2019: ca. 36 Gt/a

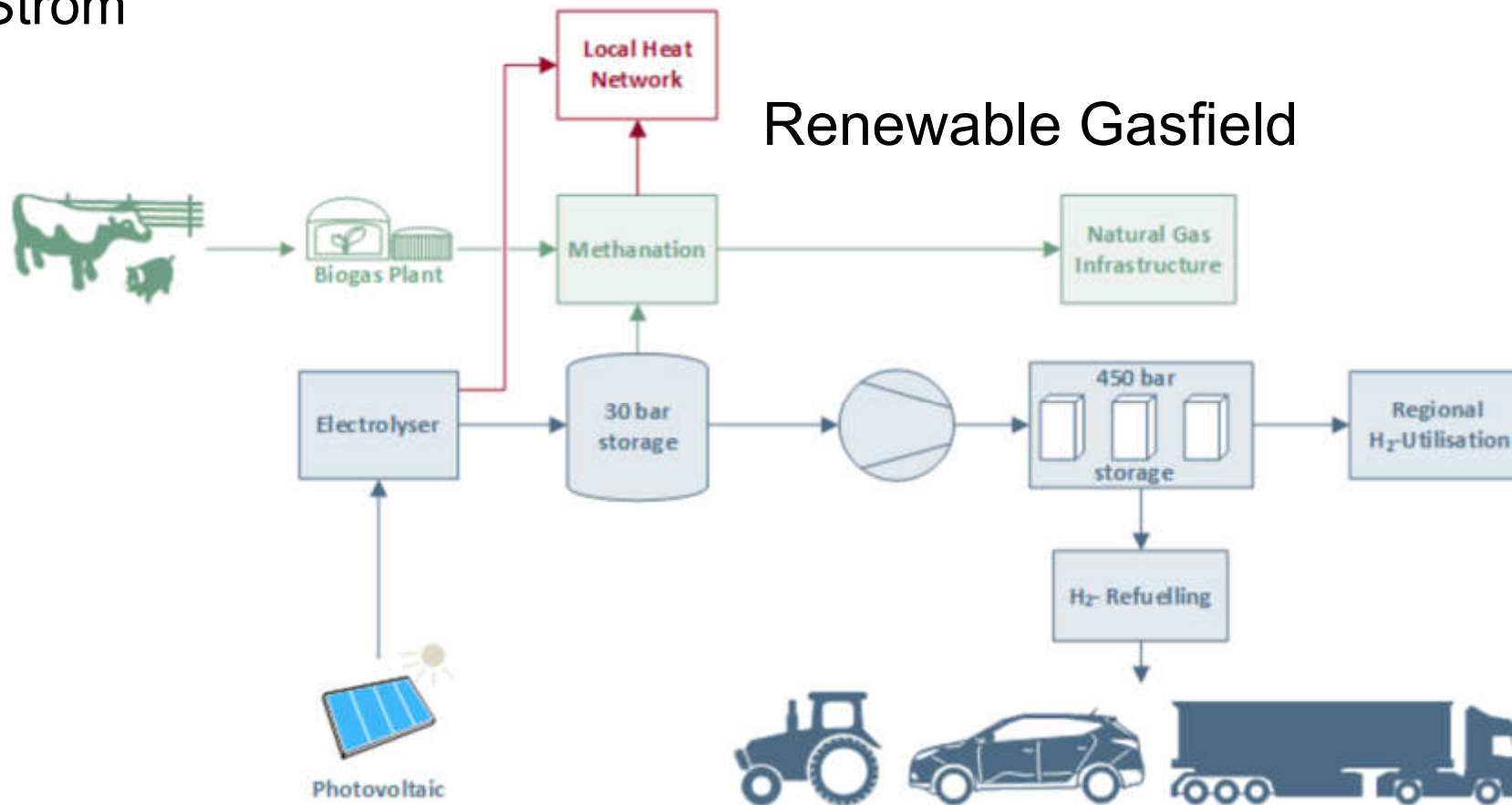


Quelle:  
Nature | Vol 575 | 7 November 2019 |  
<https://doi.org/10.1038/s41586-019-168>

# Projektbeispiele für Österreich

# Power-to-Gas Demonstrationsanlage in der Südsteiermark

Grüner Wasserstoff und synthetisches Methan als Speicher für erneuerbaren Strom



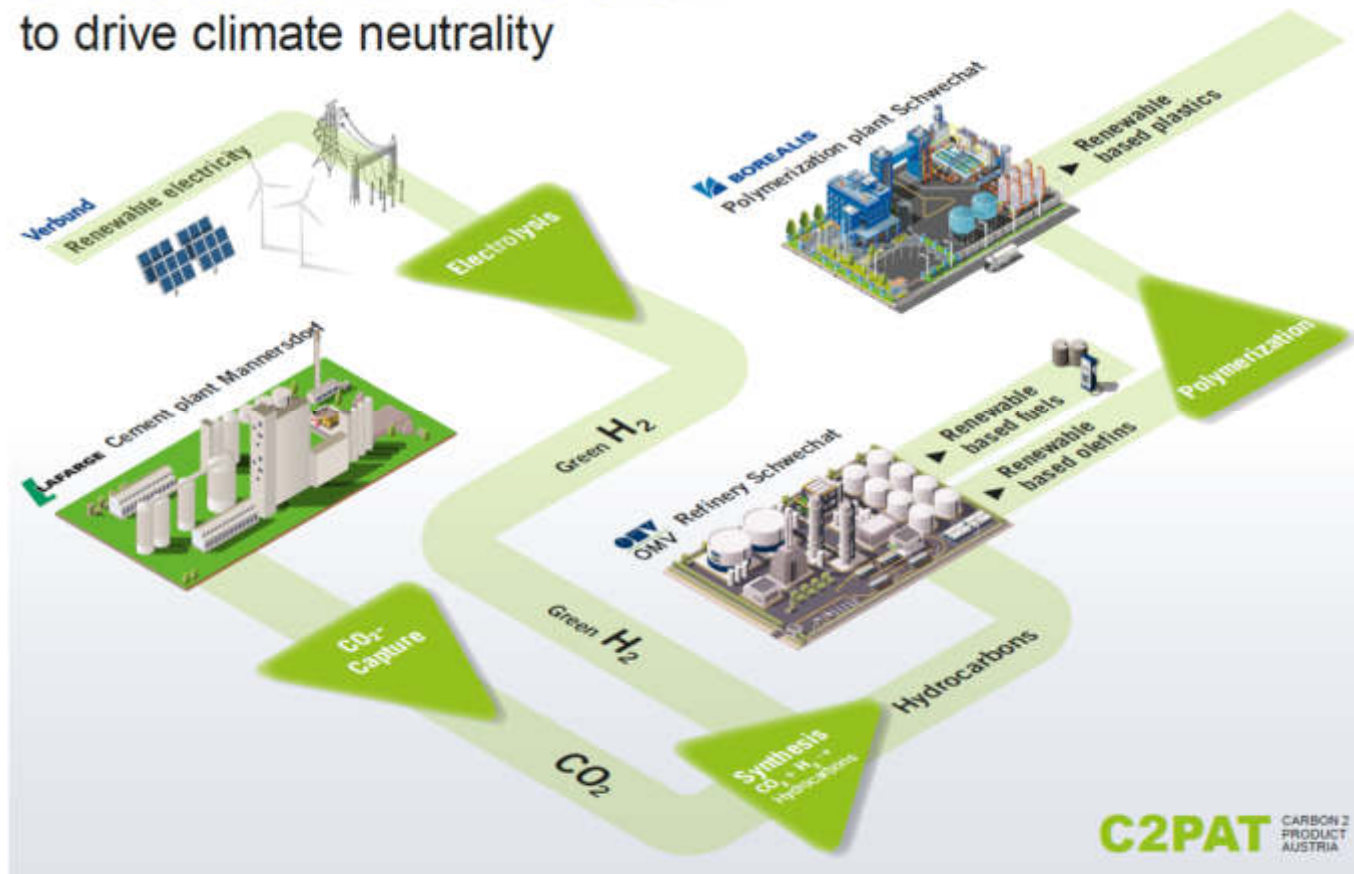
Partner:



# Carbon 2 Product Austria – C2PAT

Erzeugung von Polyolefinen (PP, PE) aus CO<sub>2</sub> und grünem Wasserstoff

**Cross sectoral value chain**  
to drive climate neutrality



Partner:



LafargeHolcim





# Zusammenfassung

- Es ist eine Vielzahl unterschiedlichster Produkte aus CO<sub>2</sub> herstellbar, wobei bisher nur sehr wenige CCU Prozesse auch kommerziell verfügbar sind.
- Für einen CCU Prozess muss zwingend eine Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz erstellt werden. Die CO<sub>2</sub> Bindungsdauer ist vom Produkt abhängig.
- In bestimmten Bereichen (z.B. Zementindustrie, synthetische Kraftstoffe) ist CCU eine wichtige Technologie zur Erreichung der Klimaneutralität.
- CCU kann als Brückentechnologie die Dekarbonisierung mittelfristig beschleunigen, die langfristige Perspektive ist derzeit noch offen. CCU wird aber immer nur einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten können.

# 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](mailto:markus.lehner@unileoben.ac.at)



**ALLES AUSSER  
GEWÖHNLICH!**



**Dafür (muss kein Wald) brennen**

Weil die Umwelt uns am Herzen liegt,  
ist das Thema Nachhaltigkeit für uns  
mehr als nur heiße Luft.

Mehr erfahren in den Studienschichtungen der Montanuniversität Leoben

 **VTiU**