



ICEBE
IMAGINEERING
NATURE

Oxyfuel- und Luftverbrennung von Biomasse in einer stationären Wirbelschicht zur Herstellung von grünem Methanol

12. Österreichisches IEA-Wirbelschichttreffen
9. September 2022

Simon Pratschner, Franz Winter

Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften
TU Wien, Vienna, Austria

1. Einleitung

- i. Forschungsfragen
- ii. Übersicht der Anlage – „Graphical Abstract”
- iii. Status von Power-to-X-Projekten in Europa
- iv. Oxyfuel-Verbrennung

2. Ergebnisse

- i. Wirbelschichtverbrennung - Holzhackschnitzel
- ii. Beschreibung der Anlage - „Virtuelle Führung”
- iii. O₂-Versorgung (Elektrolyse / ASU)
- iv. Case Study eines Betriebsjahres
- v. Wirkungsgrade - Definition and Analyse

3. Zusammenfassung

Forschungsfragen:

1. “Eignet sich Oxyfuel-Verbrennung zur Verbesserung der Effizienz von Power-to-Methanol-Anlagen?”
 - Anlagenwirkungsgrad η_{Total} and Power-to-Liquid-Wirkungsgrad η_{PtL} .
2. “Kann der O_2 -Bedarf von Oxyfuel-Verbrennungen von Biomasse durch Wasser-Elektrolyse gedeckt werden?”

Zusätzliches Ziel:

- Erarbeitung eines Anlagenkonzepts für eine dezentrale Power-to-Green Methanol-Anlage zur Nutzung von biogenem CO_2 (Holzhackschnitzel mit $\dot{Q}_{IN} = 20 \text{ MW}_{\text{th.}}$)

Village

Fuel - Woodchips

District
heating

CHP Plant
(oxyfuel)

$$\dot{Q}_{IN} = 20 \text{ MW}_{th.}$$

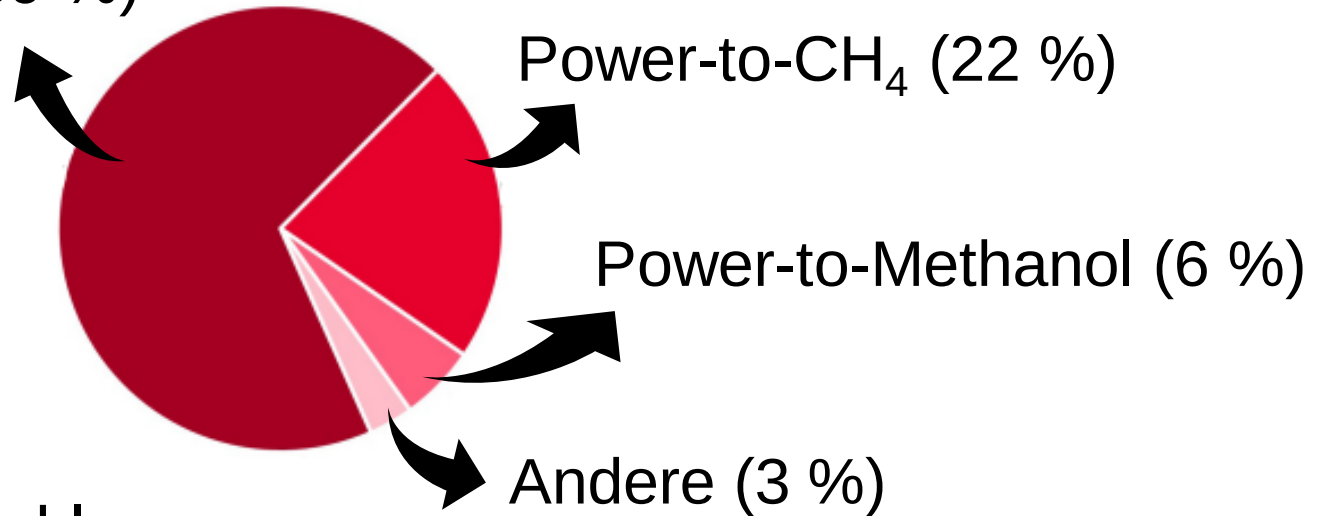
Alkaline electrolyzer
and

Methanol synthesis plant

Wind park
(42 MW_p)

Status: Power-to-X in Europa (2020) ^[1]:

Power-to-H₂ (69 %)



Aktuelle Entwicklungen:

- Verstärktes Interesse für Fischer-Tropsch → nachhaltiges Kerosin.
- Steigende Anlagengrößen → $P_{\max.} = 100 \text{ MW}_{\text{el.}}$
- Steigender Anteil an Hochtemperatur-Elektrolyseanlagen (SOEC).

Oxyfuel-Verbrennung:

- Entwickelt für EOR (CO₂-reicher Gasstrom) [2].
- Renaissance für Carbon Capture and Storage (CCS) (Rauchgas aus CO₂ und H₂O).
- Verbrennung in Mix aus O₂ (Reinheit > 95 vol%) und rezirkuliertem Rauchgas (Wärmeträger).
- Hohes Potential in Kombination mit stationären Wirbelschichtanwendungen (medium-scale) [3].

EOR ... Enhanced oil recovery

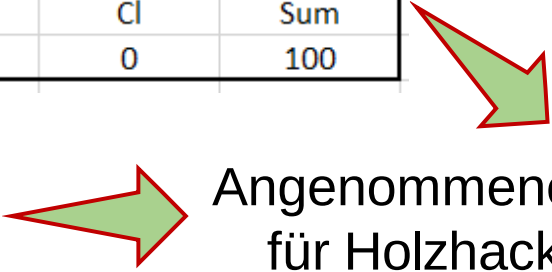
[2] Wall et al., 2009. An Overview on Oxyfuel Coal Combustion—State of the Art Research and Technology Development.

[3] Anthony et al., 2013. Oxy-fired fluidized bed combustion: technology, prospects and new developments.

Verbrennung von Holzhackschnitzel:

Ultimate Analysis - dry and ash free [wt%]						
C	H	N	S	O	Cl	Sum
50	6	0,4	0,05	43,55	0	100

Proximate Analysis [wt%]			
Water Content	Ash	Volatiles	Fixed Carbon
30	2	80	20



Angenommene Parameter
für Holzhackschnitzel.

- LHV = 11.74 MJ/kg (Boie).
- Standard Verbrennungsrechnung.
- Bettmaterial = Konventioneller Quarzsand.
- $1 \frac{m}{s} < u_f < 2 \frac{m}{s}$ ($T_{\text{Bett}} = 850 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

u_f ... Fluidisierungsgeschwindigkeit [m/s]

T_{Bett} ... Betttemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

LHV ... Unterer Heizwert [MJ/kg]

1) Oxyfuel-Verbrennung:

- Fluidisierungsmedium:

$$\dot{V}_{FM} = \dot{V}_{FGR} + \dot{V}_{Oxidant}$$

- Rauchgasrezirk. → Dry FGR
→ Wet FGR

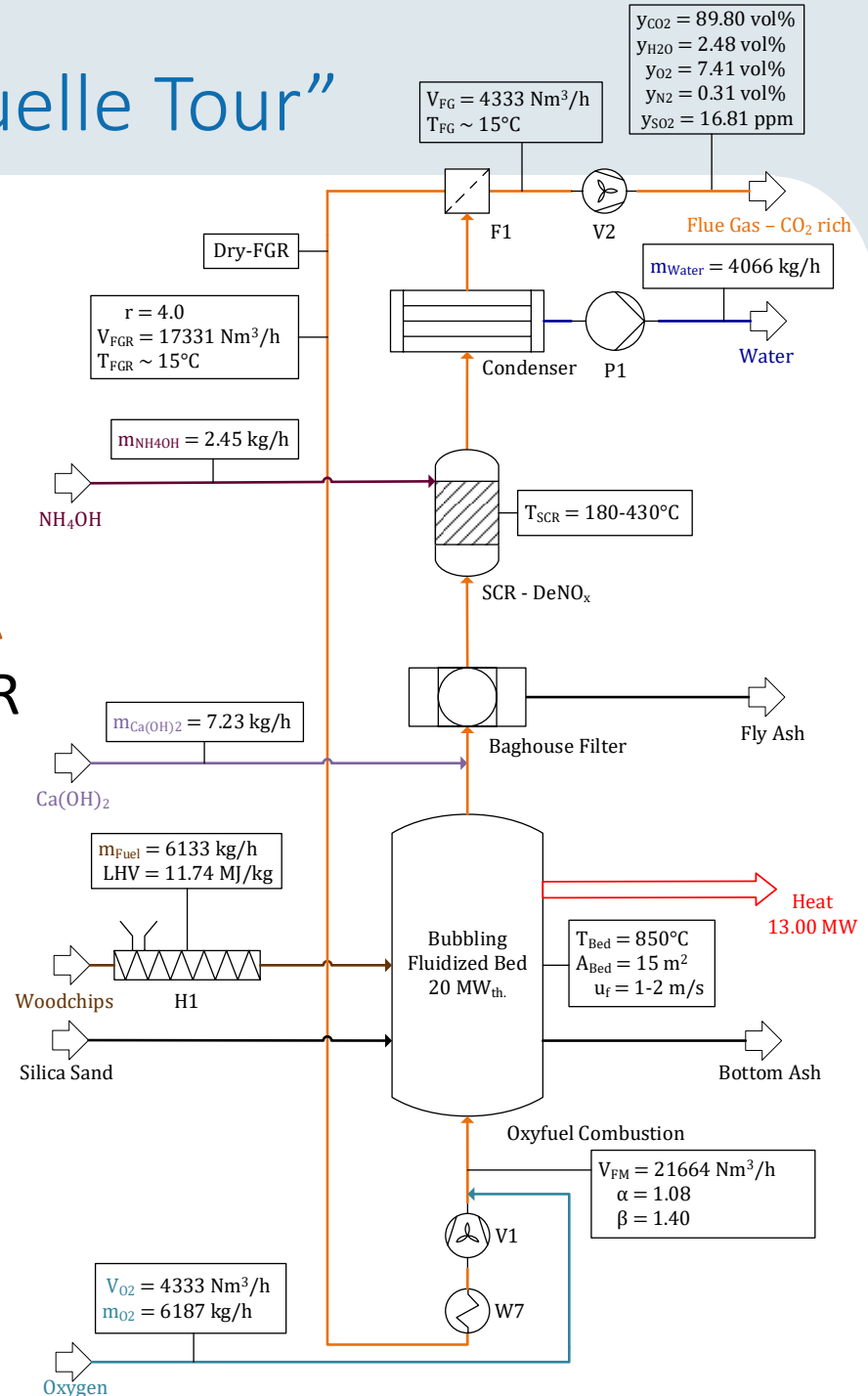
$$r = \frac{\dot{V}_{FGR}}{\dot{V}_{Flue\ gas}} \rightarrow u_f \rightarrow T_{Bett}$$

$$\alpha = \frac{\dot{V}_{Oxidant, O_2, real}}{\dot{V}_{Oxidant, O_2, st\oichiometrisch}}$$

FM ... Fluidisierungsmedium

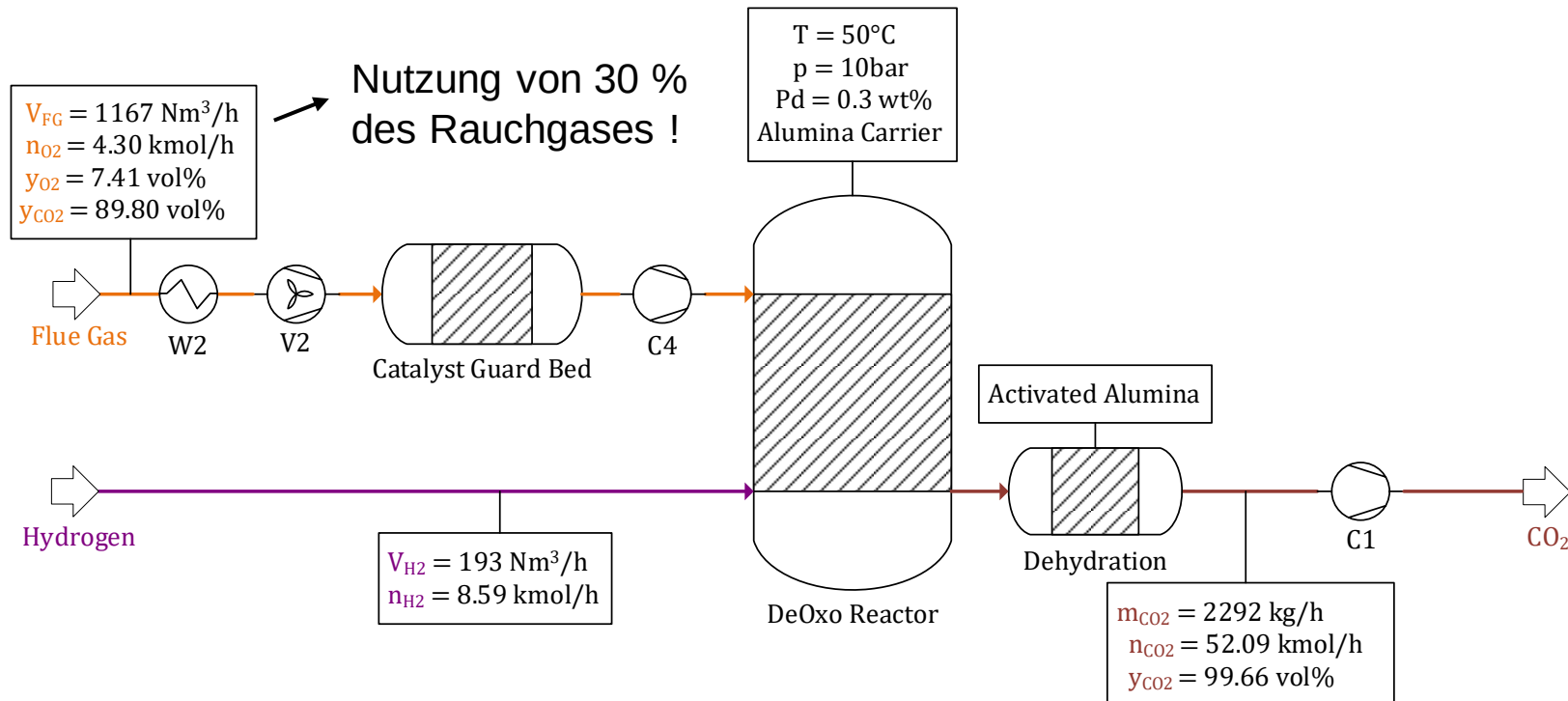
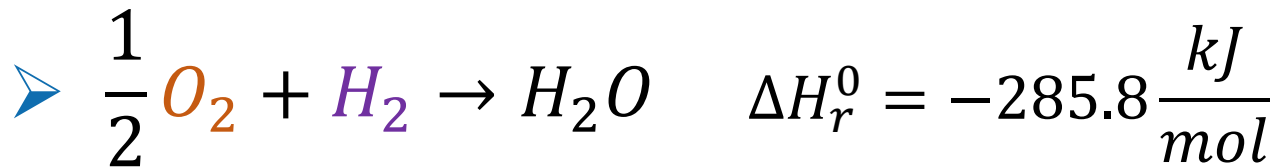
r ... Rezirkulation von Rauchgas [-]

α ... Überschuss an O₂ im Oxidant [-]

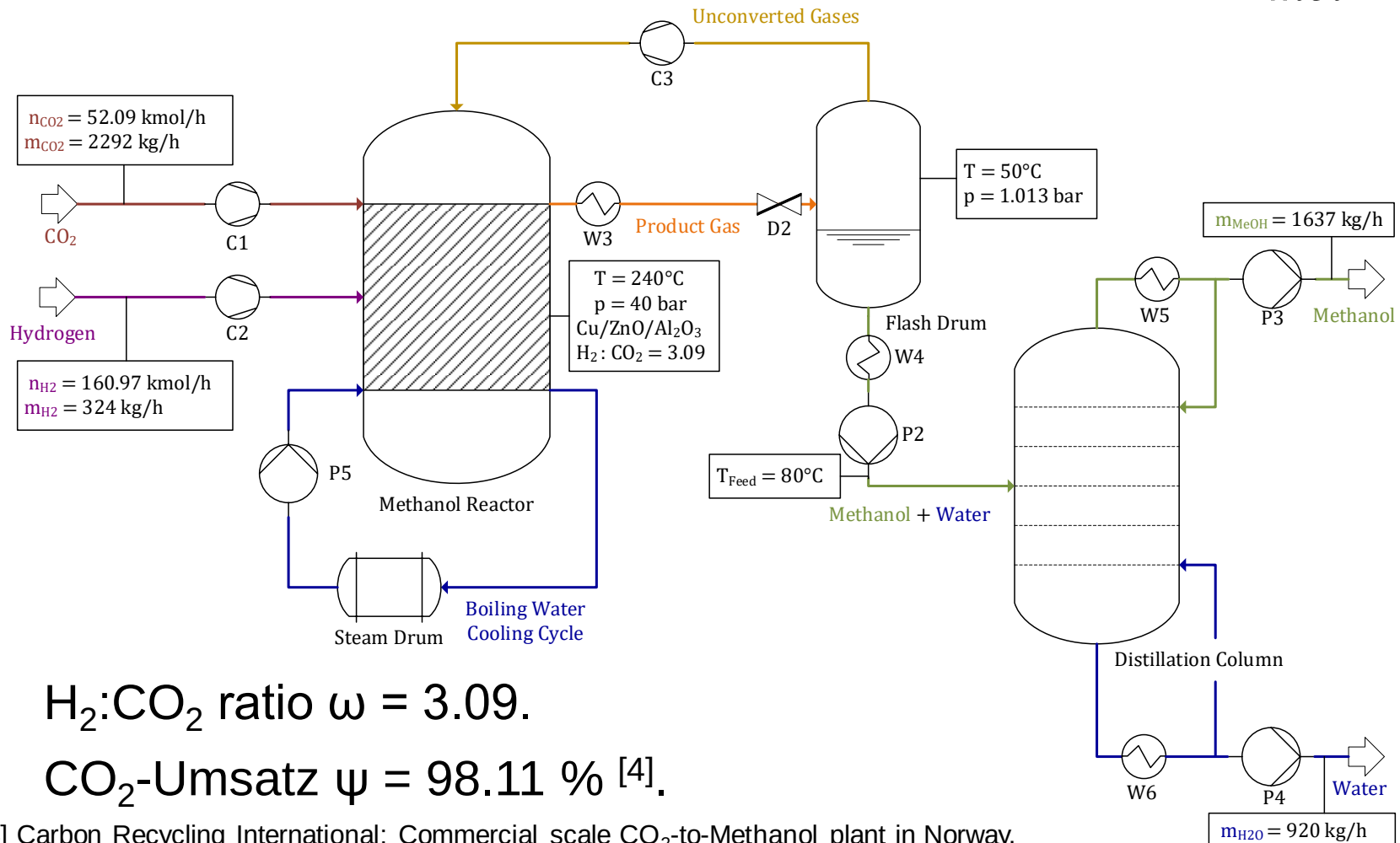
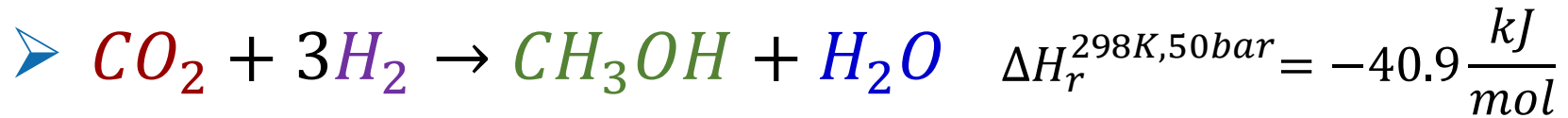


2) DeOxo-Reaktor:

➤ Katalytische Entfernung von O_2 (Rauchgas).



3) Methanol-Synthese:

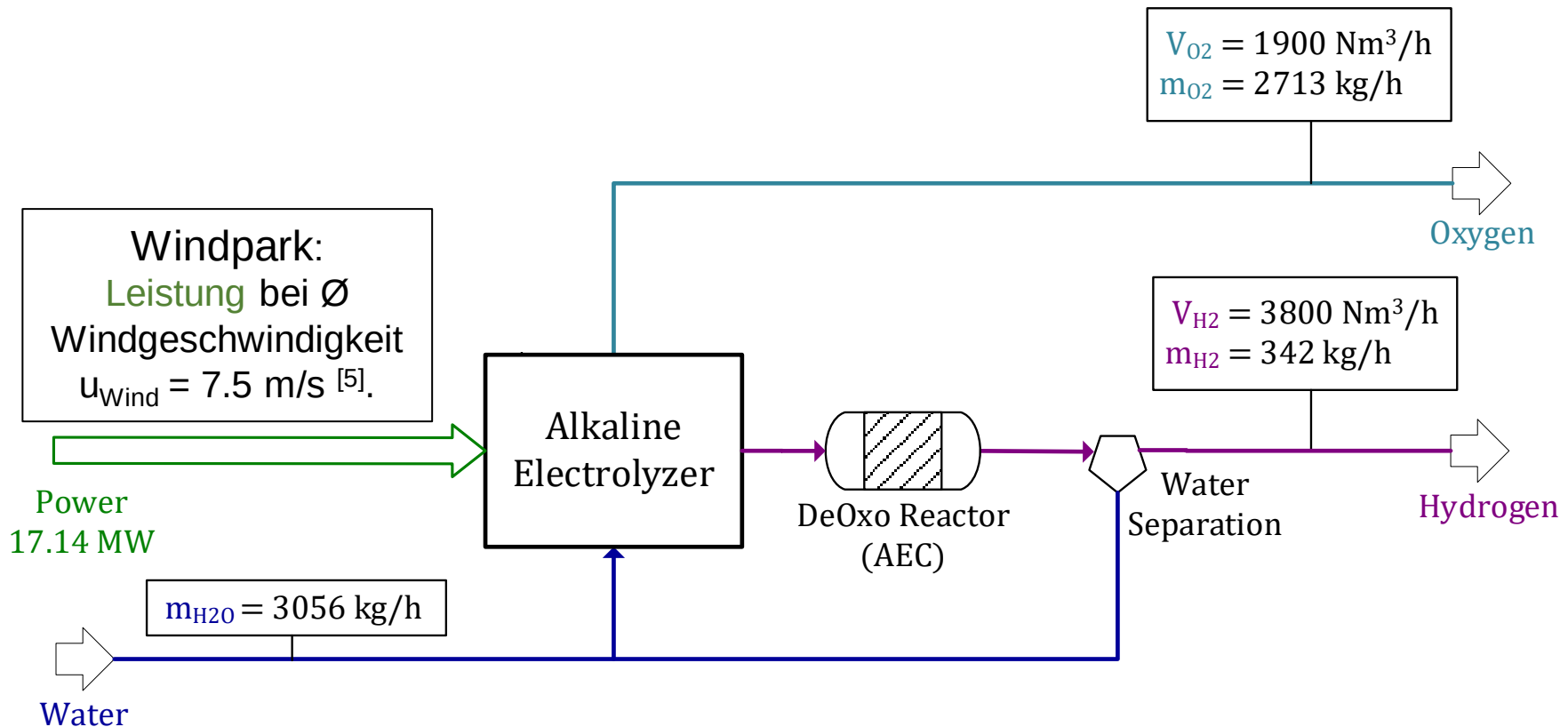
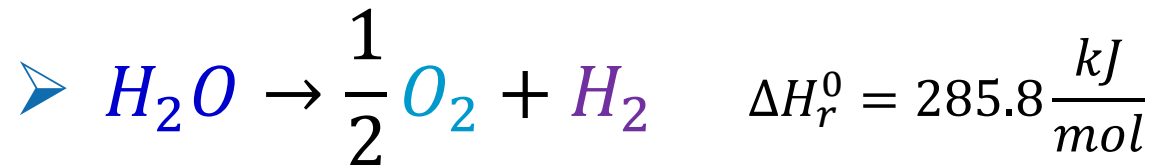


➤ $H_2:CO_2$ ratio $\omega = 3.09$.

➤ CO_2 -Umsatz $\psi = 98.11 \%$ [4].

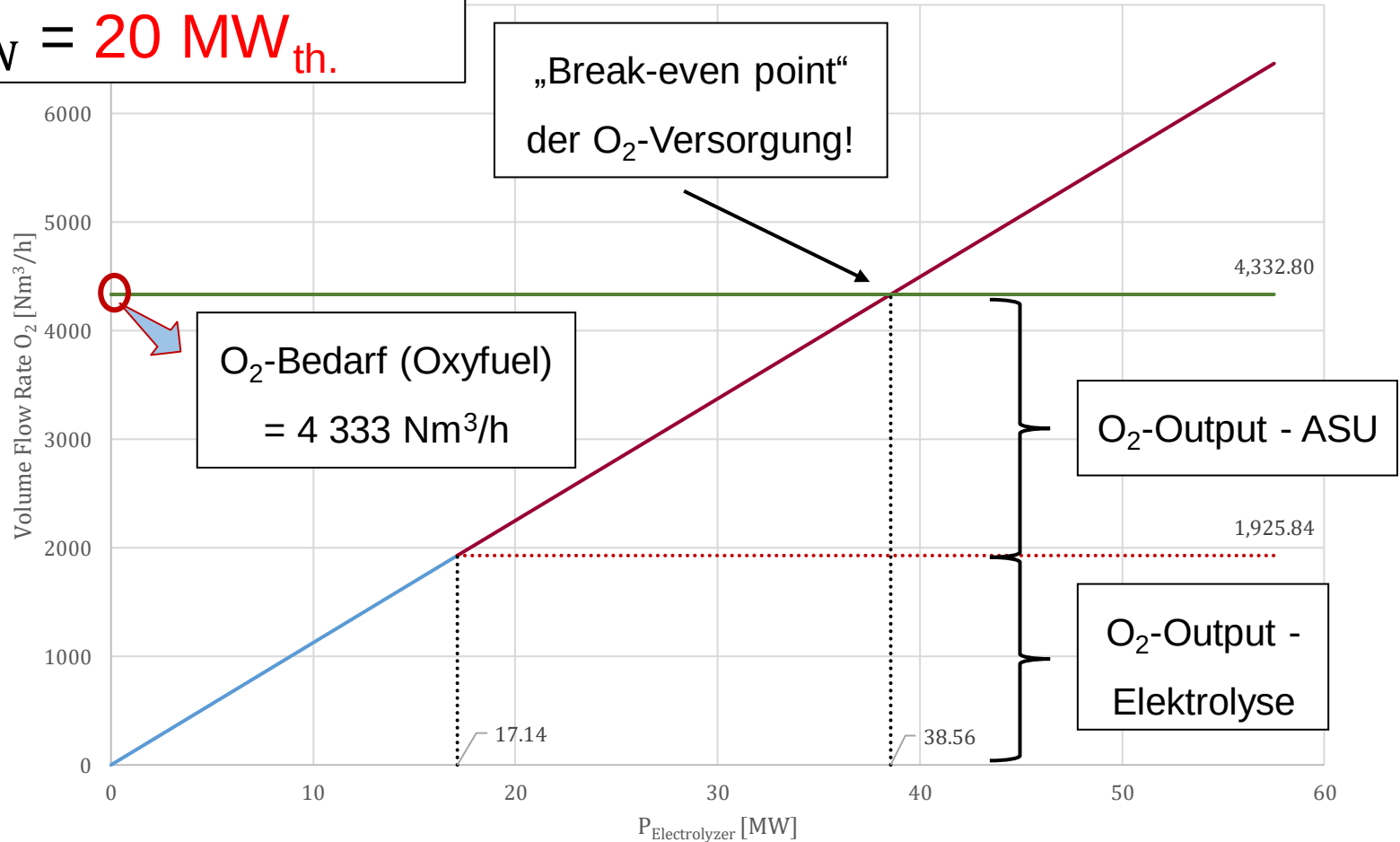
[4] Carbon Recycling International: Commercial scale CO_2 -to-Methanol plant in Norway.

4) Alkalische Wasser-Elektrolyse:



Oxyfuel-Verbrennung:

$$\dot{Q}_{IN} = 20 \text{ MW}_{th.}$$



➤ $P_{\text{Elektrolyse}} > 38.56 \text{ MW}_{el.}$: Zusätzliche ASU nicht notwendig!

Annahmen:

➤ CHP - saisonale Fluktuationen:

➤ $\eta_{CHP} = \frac{P_{El.} + \dot{Q}_{Heating}}{20 MW_{th.}} = 80 \% \rightarrow$

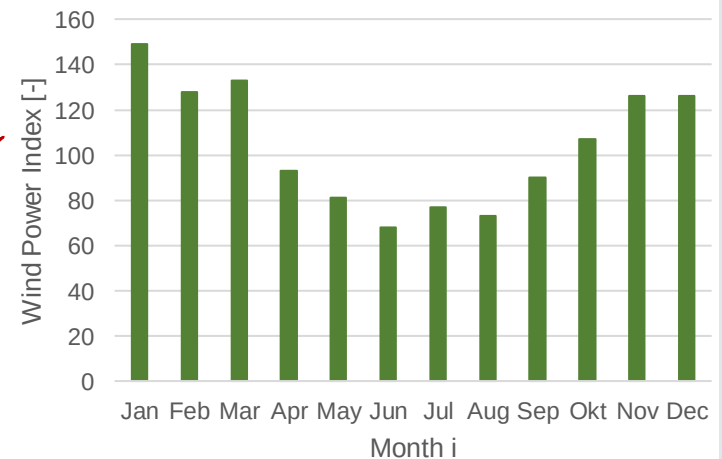
➤ $P_{On-site} = 0.72 MW_{el.}$

➤ 10.32 kWh Strom/kg Methanol.

➤ Wartung: 3 Wochen im Juni.

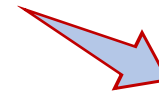
➤ $P_{Wind,i} = 17.14 MW \cdot \frac{Wind Power Index}{100}$

Season	Months	Power output CHP [MW _{el.}]	Heat output CHP [MW _{th.}]
Winter	12,1,2	2.28	13
Spring	3,4,5	3.28	12
Summer	6,7,8	4.28	11
Autumn	9,10,11	3.28	12



Jährlicher Input und Output:

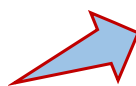
- Jährliche Betriebsstunden = 8 256 h/a.
- Jährlicher Brennstoff-Input = 50 500 t/a **Holzackschnitzel**.
- Jährlicher **Methanol**-Output = 17 200 t/a **Methanol**.
→ Entspricht 177 GWh_{el.}/a **Elektrizität**.
- Jährlicher Output an **Wärme** = 99.5 GWh_{th.}/a **Wärme**.
→ Versorgung von $\approx 3\,500$ Haushalten im Winter *).



Versorgung von:

- Neusiedl am See.
- Deutsch-Wagram.
- 0.5 * St. Veit a.d. Glan.

*) Durchschnittliche Haushaltsgröße = 75 m².
Angenommener Wärmebedarf = 50 W/m².

- CHP: $\eta_{CHP} = \frac{P_{El.} + \dot{Q}_{\text{Heating}}}{20 \text{ MW}_{th.}} = 80 \%$  $\eta_{El.,Max} = 25 \%$
 $\eta_{Th.,Max} = 65 \%$
- Anlagenwirkungsgrad: $\eta_{Tot.} = \frac{(\dot{m}_{MeOH} \cdot LHV_{MeOH}) + \dot{Q}_{\text{Heating}}}{\dot{U}_{Woodchips} + P_{Electrolyzer} + P_{ASU}}$
- Elektrischer Wirkungsgrad: $\eta_{El.} = \frac{\dot{m}_{MeOH} \cdot LHV_{MeOH}}{P_{Electrolyzer} + P_{ASU} + P_{On-Site}}$
- “Power-to-Liquid-Wirkungsgrad” $\stackrel{[7]}{=} \frac{\dot{m}_{MeOH} \cdot LHV_{MeOH} \text{ [MW]}}{\text{Electricity input [MW}_{el.}]}$

ASU ... Air separation unit
 CHP ... Combined heat and power
 LHV ... Unterer Heizwert [MJ/kg]
 MeOH ... Methanol

Betriebspunkte	Genutztes CO ₂ [%]	Anlagenwirkungsgrad $\eta_{\text{Tot.}}$ [%]	Power-to-Liquid- Wirkungsgrad $\eta_{\text{El.}}$ [%]
1) Windgeschw.: 4 m/s - 12 m/s.			
2) Genutztes CO ₂ = f (u_{Wind})			
3) Oxyfuel vs. Luft			
“Min. Wind” (4 m/s)	10 %	47.3	21.0
“Referenz” (7.5 m/s)	30 %	53.2	40.9
“Max. Wind” (12 m/s)	60 %	57.0	51.1
“Max. MeOH” 1)	100 %	56.1	51.9
“Luft” 2)	35 %	61.3	54.2
“Luft” 3)	35 %	54.4	54.2

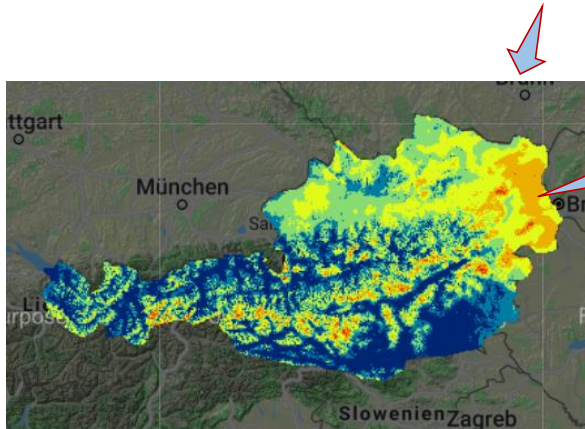
$\eta_{\text{El.}}$ sinkt!
→ ASU notwendig!

$\eta_{\text{Tot.,Oxy}} > \eta_{\text{Tot.,Luft}}$
→ CO₂ Capture!

$\eta_{\text{El.,Luft}} > \eta_{\text{El.,Oxy}}$
→ DeOxo-Reaktor!

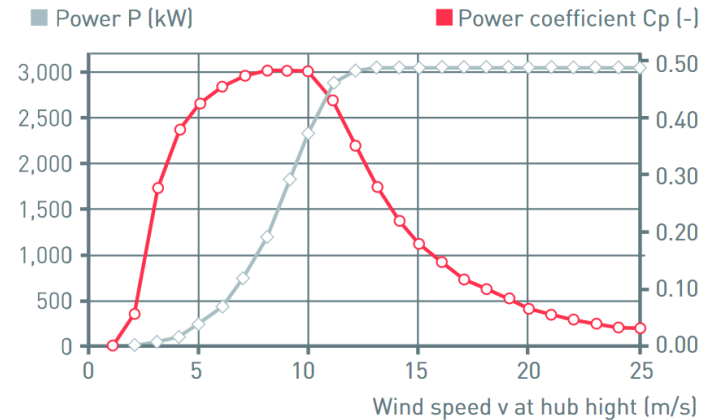
- 1) Größe des Windparks = 120 MWp.
- 2) Ohne Wärmebedarf der CO₂-Abscheidung.
- 3) Inklusive Wärmebedarf der CO₂-Abscheidung.

- Windgeschwindigkeit u_{Wind} ist zentral!



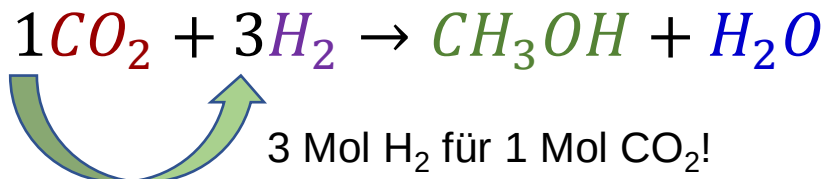
Bei $\bar{u}_{\text{Wind}}$
~ 7 - 8 m/s.

Österreichischer Windatlas [5].

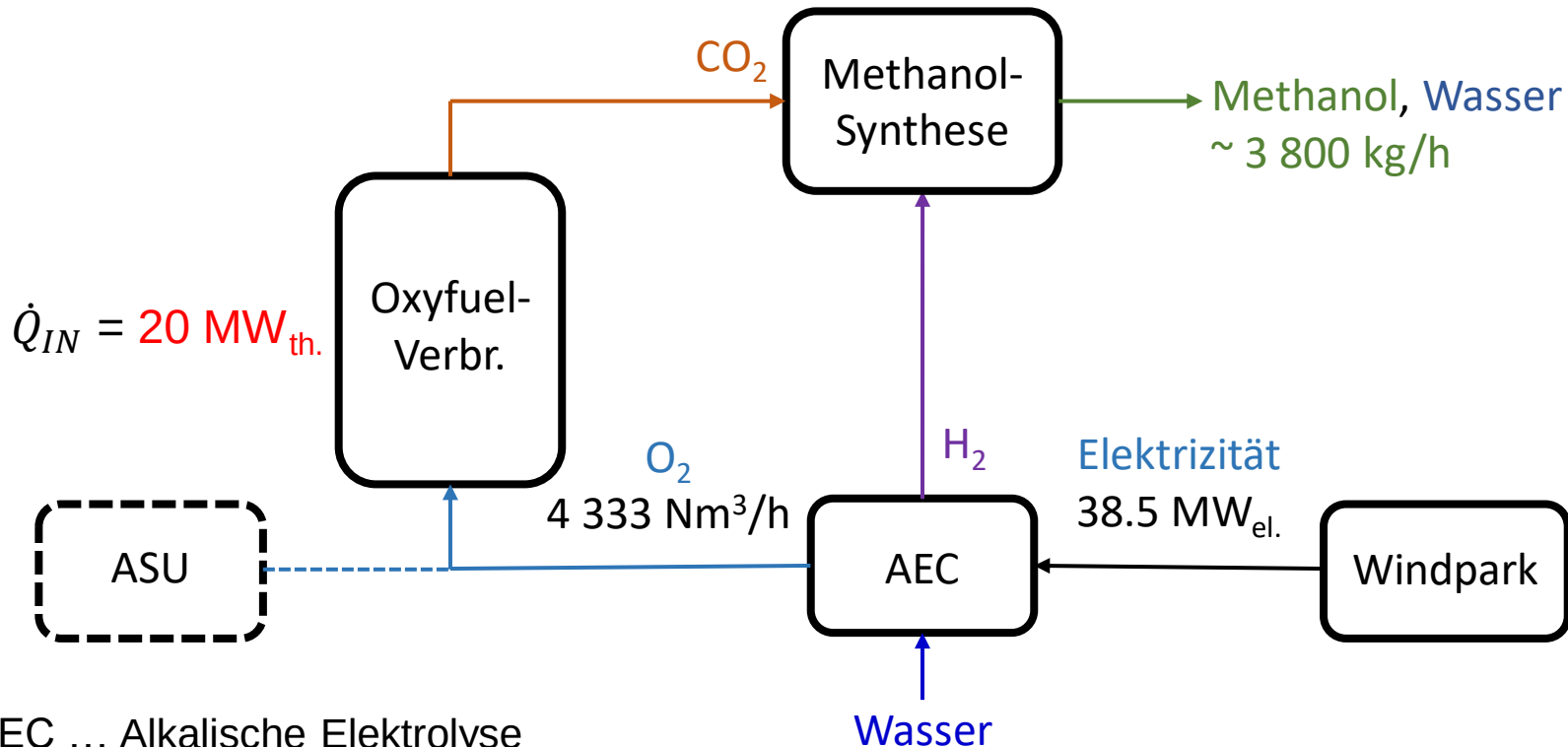


Leistung eines Windrads als Funktion der Windgeschwindigkeit.

- $P_{\text{Elektrolyse}}$ abhängig von Windgeschwindigkeit u_{Wind} .
- $\dot{V}_{H_2}$ abhängig von $P_{\text{Elektrolyse}}$.
- Anteil an genutztem CO_2 abhängig von $\dot{V}_{H_2}$.



- O₂ (Nebenprodukt der Elektrolyse) wird zur Oxyfuel-Verbrennung von Holzhackschnitzel verwendet!
- O₂-Bedarf = 4 333 Nm³/h. $\rightarrow$ P_{Elektrolyse} = 38.5 MW_{el.}



AEC ... Alkalische Elektrolyse
ASU ... Air separation unit

A. Konventionelle Verbrennung mit Luft:

- Vorteilhaft in Kombination mit kleinen Windparks.
- Vorteilhaft in Kombination mit kleinen Elektrolyseuren.
- Geeignet bei geringen Windgeschwindigkeiten $u_{\text{Wind}} \downarrow$.

B. Oxyfuel-Verbrennung:

- Geeignet für Großanlagen.
- Geeignet für große Investments.
- Profitiert von Verbesserungen von Elektrolyseuren.

Article

Power-to-Green Methanol via CO₂ Hydrogenation—A Concept Study including Oxyfuel Fluidized Bed Combustion of Biomass

Simon Pratschner ^{1,*}, Pavel Skopec ², Jan Hrdlicka ² and Franz Winter ¹

¹ Institute of Chemical, Environmental and Bioscience Engineering, TU Wien, Getreidemarkt 9/166, 1060 Vienna, Austria; franz.winter@tuwien.ac.at

² Department of Energy Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical University in Prague, Technická 4, 166 07 Prague, Czech Republic; p.skopec@fs.cvut.cz (P.S.); jan.hrdlicka@fs.cvut.cz (J.H.)

* Correspondence: simon.pratschner@tuwien.ac.at

Abstract: A revolution of the global energy industry is without an alternative to solving the climate crisis. However, renewable energy sources typically show significant seasonal and daily fluctuations. This paper provides a system concept model of a decentralized power-to-green methanol plant consisting of a biomass heating plant with a thermal input of 20 MW_{th} (oxyfuel or air mode), a CO₂ processing unit (DeOxo reactor or MEA absorption), an alkaline electrolyzer, a methanol synthesis unit, an air separation unit and a wind park. Applying oxyfuel combustion has the potential to directly utilize O₂ generated by the electrolyzer, which was analyzed by varying critical model parameters. A major objective was to determine whether applying oxyfuel combustion has a positive impact on the plant's power-to-liquid (PtL) efficiency rate. For cases utilizing more than 70% of CO₂ generated by the combustion, the oxyfuel's O₂ demand is fully covered by the electrolyzer, making oxyfuel a viable option for large scale applications. Conventional air combustion is recommended for small wind parks and scenarios using surplus electricity. Maximum PtL efficiencies of $\eta_{PtL,Oxy} = 51.91\%$ and $\eta_{PtL,Air} = 54.21\%$ can be realized. Additionally, a case study for one year of operation has been conducted yielding an annual output of about 17,000 t/a methanol and 100 GWh_{th}/a thermal energy for an input of 50,500 t/a woodchips and a wind park size of 36 MWp.

Keywords: green methanol; power-to-X; CCU; oxyfuel; renewables; alkaline electrolysis; biomass



Citation: Pratschner, S.; Skopec, P.; Hrdlicka, J.; Winter, F. Power-to-Green Methanol via CO₂ Hydrogenation—A Concept Study including Oxyfuel Fluidized Bed Combustion of Biomass. *Energies* **2021**, *14*, 4638. <https://doi.org/10.3390/en14154638>



SCAN ME



Link zum Paper: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/15/4638>

IFE - Innovation Liquid Energy

Simon Pratschner*, Martin Hammerschmid, Stefan Müller, Franz Winter

TU Wien, Institute of Chemical, Environmental and Bioscience Engineering

Project Description

- Design of a pilot scale Power-to-Liquid plant.
- Combination of a SOEC unit operated in co-electrolysis mode and Fischer-Tropsch synthesis.
- Production of naphtha, diesel and wax by valorising CO_2 and H_2O .
- Maximization of the middle distillate fraction complying with EN 15940.
- Power input of $P_{\text{Co-SOEC}} = 1 \text{ MW}_{\text{el}}$.
- Power-to-Liquid efficiency $\eta_{\text{PTL}} > 55 \%$.
- Production of 500 000 L/a diesel equivalents.

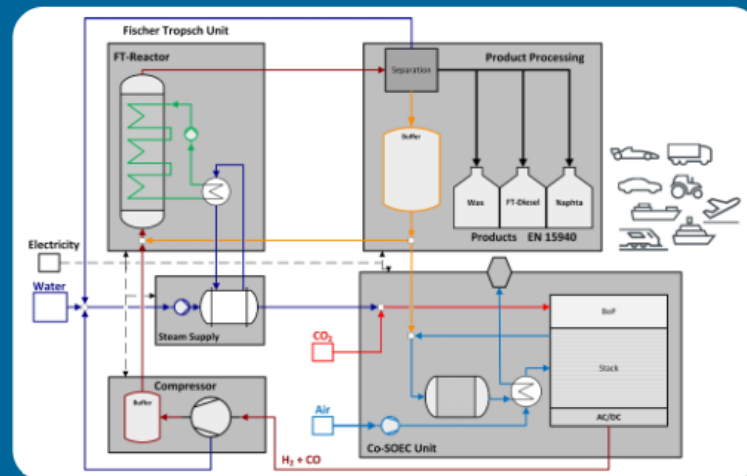


Figure 1: Schematic design of a Power-to-Liquid plant

- [1] Wulf, C.; Zapp, P.; Schreiber, A. Review of Power-to-X Demonstration Projects in Europe. *Front. Energy Res.* 2020, 8, 191, doi:10.3389/fenrg.2020.00191.
- [2] Wall, T.; Liu, Y.; Spero, C.; Elliott, L.; Khare, S.; Rathnam, R.; Zeenathal, F.; Moghtaderi, B.; Buhre, B.; Sheng, C.; et al. An Overview on Oxyfuel Coal Combustion—State of the Art Research and Technology Development. *Chemical Engineering Research and Design* 2009, 87, 1003–1016, doi:10.1016/j.cherd.2009.02.005.
- [3] Anthony, E.J.; Hack, H. Oxy-fired fluidized bed combustion: technology, prospects and new developments. In *Fluidized Bed Technologies for Near-Zero Emission Combustion and Gasification*; Elsevier, 2013; pp. 867–894 ISBN 978-0-85709-541-1.
- [4] Carbon Recycling International: Commercial scale CO₂-to-methanol plant in Norway. Available Online: <https://www.co2value.eu/wp-content/uploads/2019/09/2.-CRI.pdf> (accessed on 2 August 2022).
- [5] Windatlas und Windpotentialstudie Österreich (2009 - 2011). Available online: <https://www.windatlas.at/> (accessed on 2 August 2022).
- [6] Seasonal Variation in Wind Energy. Available Online: <http://ele.aut.ac.ir/~wind/en/tour/grid/season.htm> (accessed on 2 August 2022).
- [7] Power-to-Liquids Potentials and Perspectives for the Future Supply of Renewable Aviation Fuel. Available Online: <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/power-to-liquids-potentials-perspectives-for-the> (accessed on 2 August 2022).