

*Greener Skies Ahead Regional, 24. November 2021*

# Kopernikus P2X – Programm / Status der P2X – Forschung und Perspektiven zur industriellen Umsetzung

Prof. Dr. Roland Dittmeyer

Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT), Karlsruher Institute für Technologie (KIT)



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# INHALT

- ▶ Warum Power-to-X ?
- ▶ Effizienz zählt – integrierte DAC-PtL-Anlagen
- ▶ Aktueller Status
- ▶ Ausblick

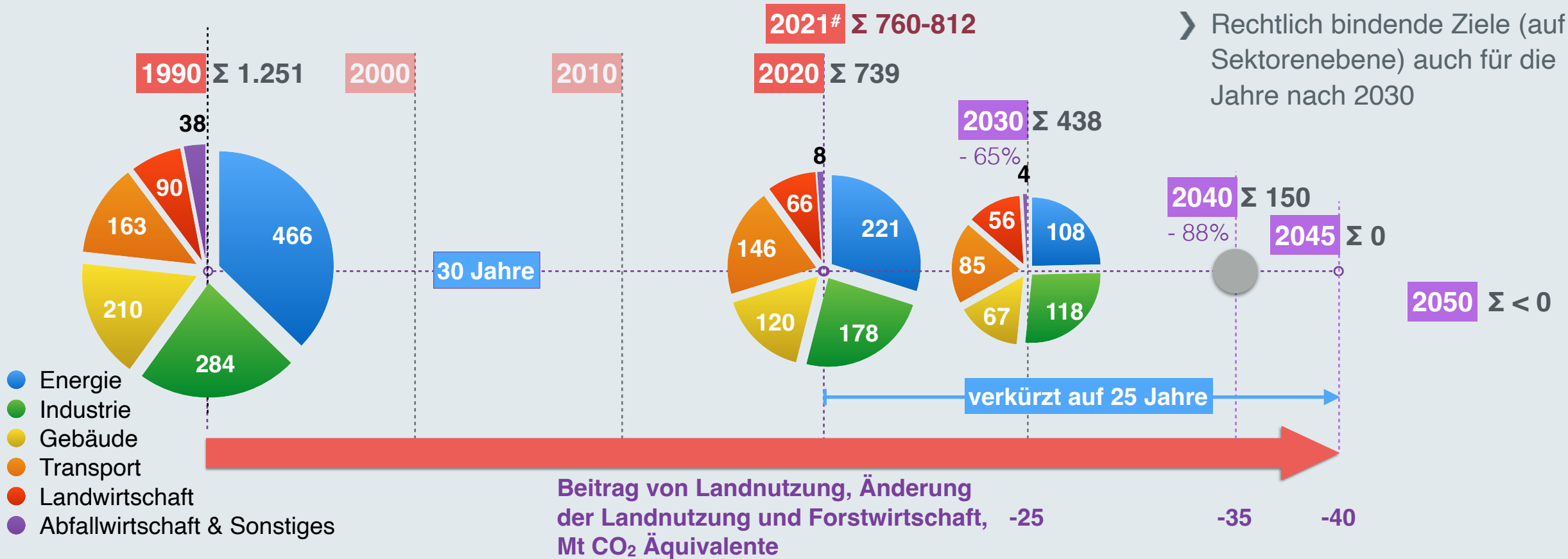


The Guardian, 21 Sep 2019, The best climate strike signs from around the globe in pictures. A sign held by a protester in London depicts global heating.

Photograph: Will Oliver/EPA

# THG REDUKTIONSZIELE - 2021 UPDATE

- Netto-Null schon bis 2045
- Ehrgeizigere Sektorenziele für 2030
- Rechtlich bindende Ziele (auf Sektorebene) auch für die Jahre nach 2030



Beitrag von Landnutzung, Änderung der Landnutzung und Forstwirtschaft, Mt CO<sub>2</sub> Äquivalente

Klimaschutzgesetz, Deutsche Bundesregierung, 12.05.2021

# Schätzung von Agora Energiewende: Erneuerbare Energien, 17.08.2021, <https://bit.ly/3BRYI62>

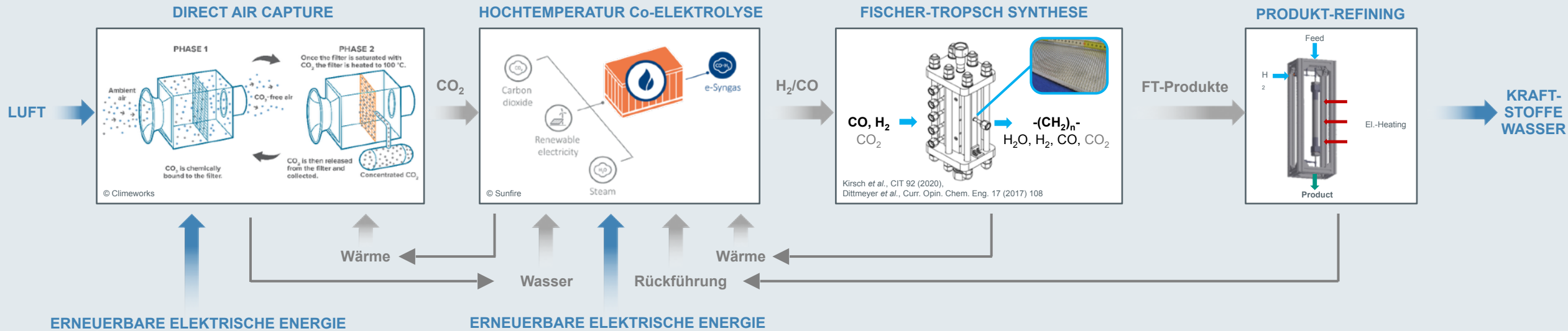
Source: BMU, Berlin, 05/2021

# EFFIZIENZ ZÄHLT – INTEGRIERTE DAC-PTL ANLAGEN

Effizienz zählt – integrierte DAC-PtL Anlagen

# EFFIZIENTE SYNTHESE STROMBASIERTER FISCHER-TROPSCH KRAFTSTOFFE AUS CO<sub>2</sub> AUS DER UMGEBUNGSLUFT ÜBER DIE HT-Co-ELEKTROLYSE

➤ Hohe Effizienz durch Prozessintegration; Kompaktes Design der Syntheseinheit ermöglicht durch Mikroverfahrenstechnik; Modulare Anlagenkonzept, skalierbar über einen weiten Kapazitätsbereich



**Geförderte Partner:**



**Assoziierte Partner:**

Audi AG, AVL List GmbH, Ford Werke GmbH, Volkswagen AG,  
DB Energie GmbH, International Association for Sustainable Aviation IASA e.V.

# AKTUELLER STATUS

PHASE I: 2016-2019

PHASE II: 2019-2022

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**KOPERNIKUS**  
**P2X >>> PROJEKTE**

Die Zukunft unserer Energie

## WELTPREMIERE 2019: GESAMTER PROZESS IN 30 FT CONTAINER BETRIEBEN



### Ziele erreicht

- › Validierung der vier individuellen Komponenten und ihrer Verknüpfung
- › 100 Liter Kraftstoff in 2 Kampagnen
- › Roadmap V 2.0 verfügbar mit Bereichen, Unsicherheiten und Potentialen der technischen, ökonomischen und ökologischen Schlüsselindikatoren

Integrierte PtL-Anlage Kopernikus P2X im May 2019  
©KIT

GEFÖRDERT VOM

## **ZIELE DER ARBEITEN IN PHASE II**

- › Entwicklung einer optimierten MW-tauglichen DAC Einheit zur Kopplung mit der Co-Elektrolyse SOEC und FT Synthese
- › Entwicklung und Herstellung eines 250 kW<sub>el</sub> Co-SOEC Systems zur Kopplung mit DAC und FT Synthese
- › Optimierung des Reaktordesigns für die FT Synthese
- › Modulare Technologien für das Upgrading der FT Produkte
- › Integration der DAC und Co-SOEC Systeme ins Energy Lab 2.0
- › Prozesssynthese und -analyse

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**KOPERNIKUS**  
P2X **PROJEKTE**

Die Zukunft unserer Energie



# VALIDIERUNG DES GESAMTEN PTL PROZESSES IM ENERGY LAB 2.0

ENERGY  
LAB 2.0



Foto: M. Breig und A. Bramsiepe, KIT

GEFÖRDERT VOM

**KOPERNIKUS**  
P2X >>> **PROJEKTE**  
Die Zukunft unserer Energie

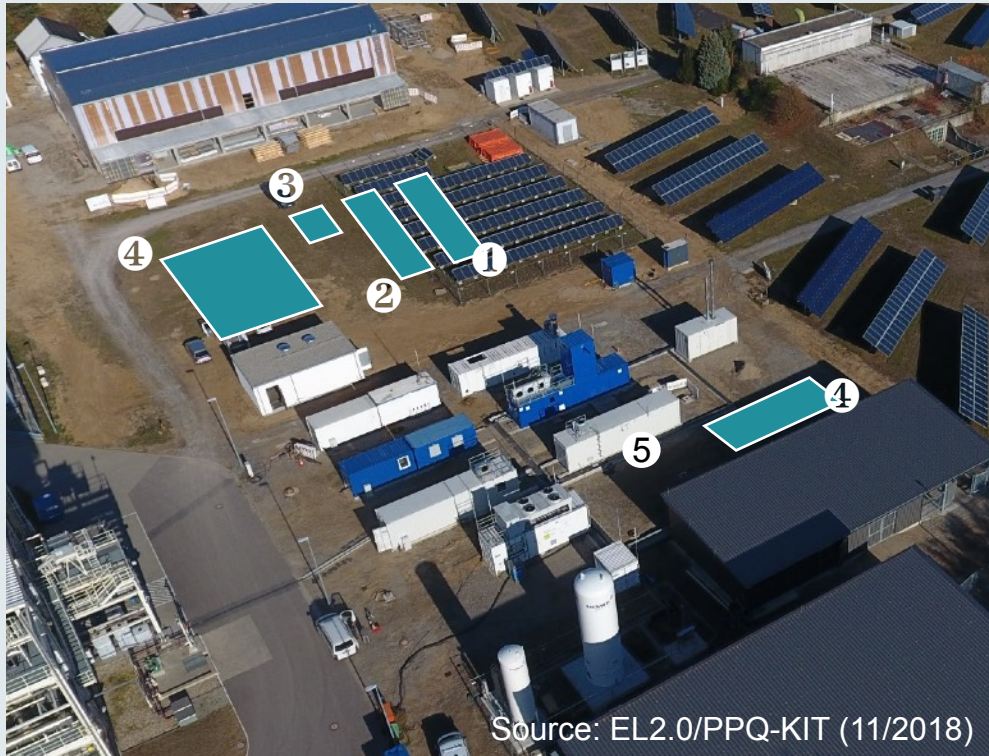


Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



pdf download, 18 MB

# VALIDIERUNG DES GESAMTEN PTL PROZESSES IM ENERGY LAB 2.0



## ① Co-SOEC und Fackel

- › Höhere Kapazität als ursprünglich geplant
- › Großteil der Infrastruktur fertig gestellt (Gasversorgung, Fundamente,...)
- › Bauantrag: *im Genehmigungsprozess*

## ② Syngas Kompressor

- › Bestellt

## ③ Verdampfer

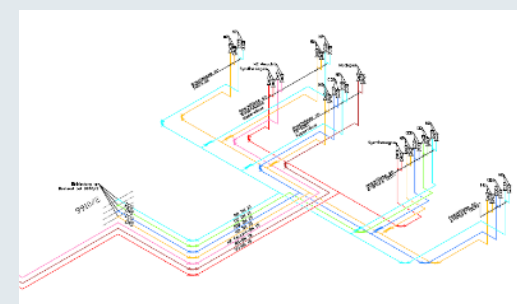
- › In Infrastruktur integriert
- › Dampfleitung von FTS zur Co-SOEC: *in Planung*

## ④ DAC und CO<sub>2</sub> Konditionierung

- › Größere Anlage als ursprünglich geplant
- › Aufteilung in 2 Systeme → Transferleitung
- › Konstruktion (Fundamente, Integration, etc.): *in Planung*

## ⑤ FTS Einheit

- › Kapazitätserhöhung nötig um erhöhte Syngasmenge umzusetzen



GEFÖRDERT VOM

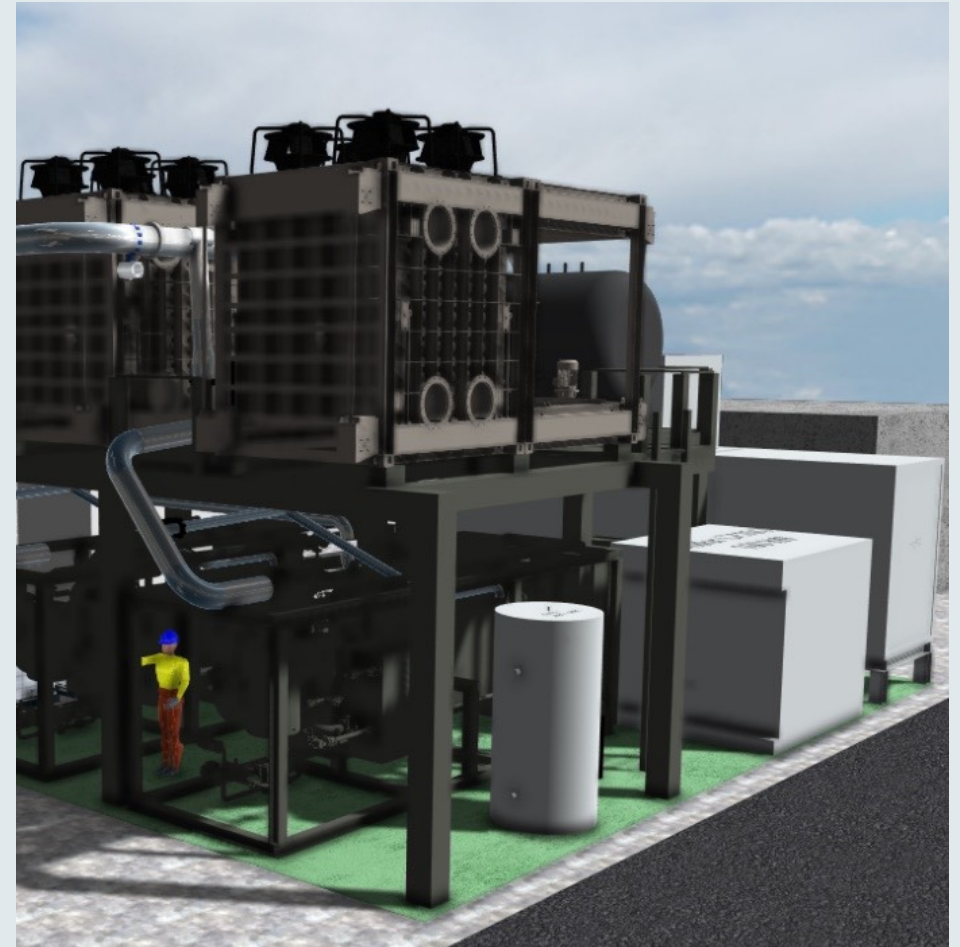


## Agenda für Phase II

# DAC MODULKONZEPT UND DETAILED ENGINEERING

## Premiere neues Kollektorsystem: NEXT Generation

- › MW-tauglich, erweiterbar auf mehr als 100.000 t CO<sub>2</sub>/a
- › Reduzierte Kosten und erhöhte Effizienz
- › Entwicklung der Anlage größtenteils abgeschlossen
- › Integration ins Energy Lab 2.0 im Gange: Effiziente Feinreinigung des CO<sub>2</sub> und Integration in den Standort



GEFÖRDERT VOM

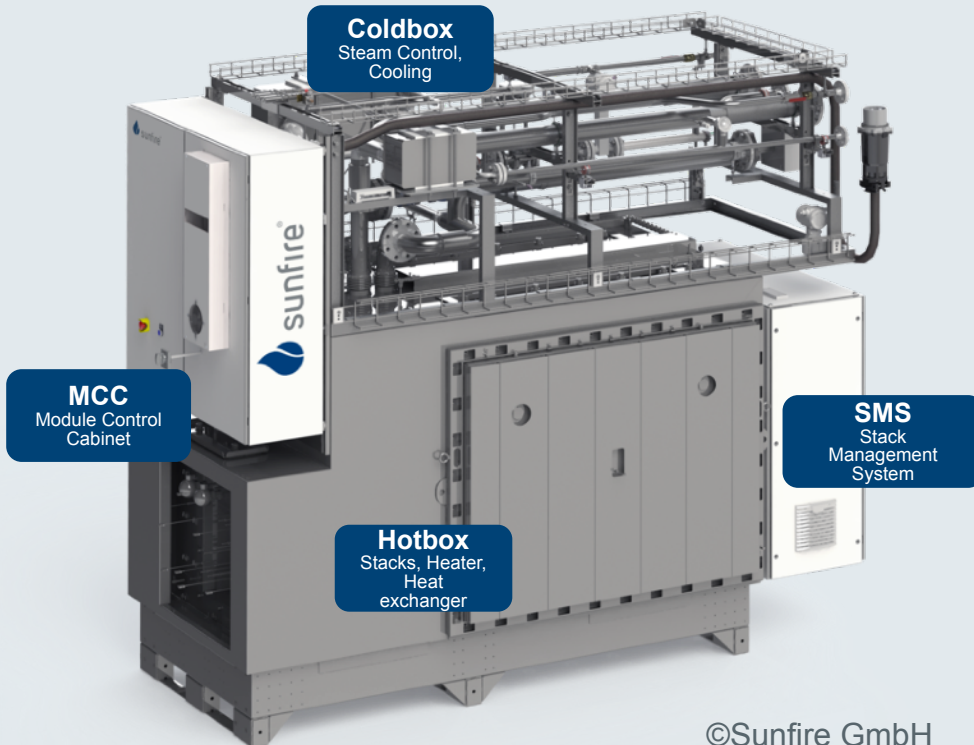


Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**KOPERNIKUS**  
P2X >>> **PROJEKTE**

Die Zukunft unserer Energie

## Co-SOEC-SYSTEM



### Co-Elektrolysemodul – Highlights

#### › Verfahrenstechnik

- Behandlung des rezyklierten Abgases aus der Synthese
- Vereinfachte Luftseite (Heizwand)
- Überarbeitetes Sicherheitskonzept
- Integrierte Produktkühlung

#### › Konstruktion

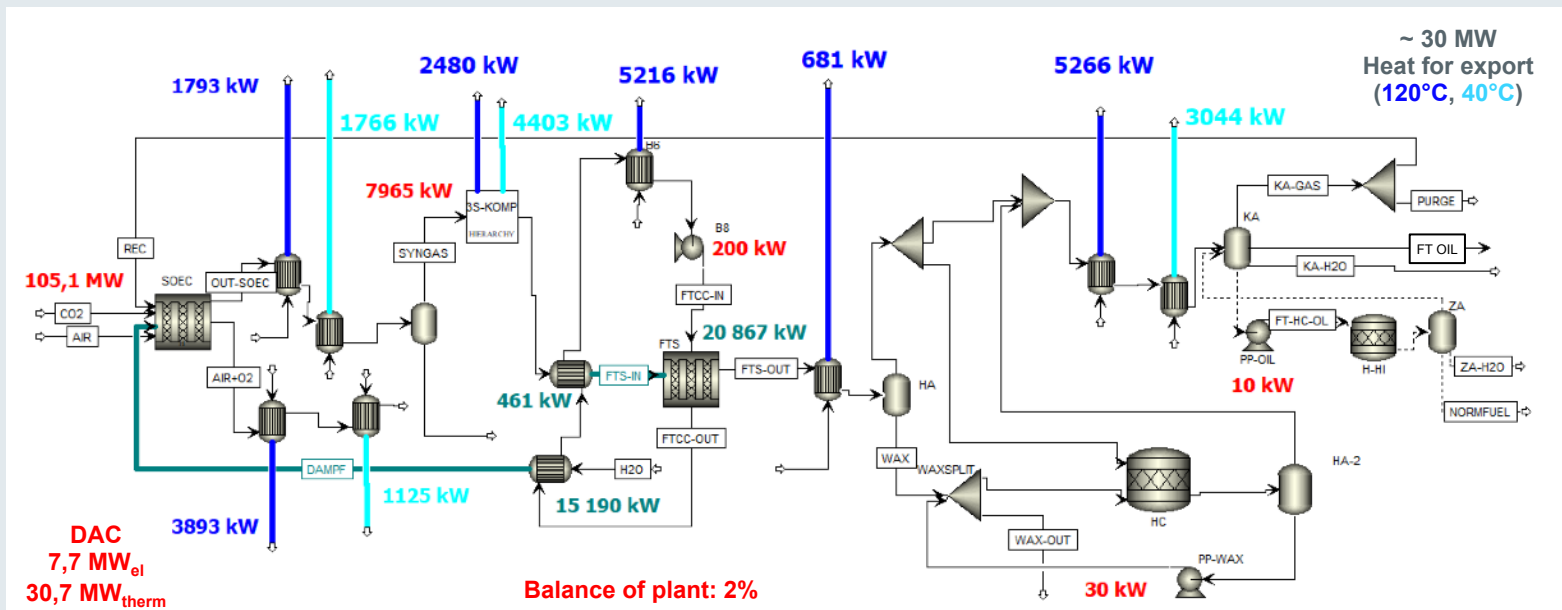
- Integration von 60 Stacks ( $\approx 250 \text{ kW}_{AC}$ )
- Optimierter Materialeinsatz
- Vorbereitung für Serienproduktion
- Verbessertes Design der Heizer
- Konzept für Wartung und Stackaustausch

#### › Elektrotechnik

- Module Control Cabinet (MCC) → Standardisierung, reduzierter Bedarf für Sensorik
- Leistungselektronik aus dem Bereich Photovoltaik
- Stack Management System (SMS) → Kompensation der Degradation

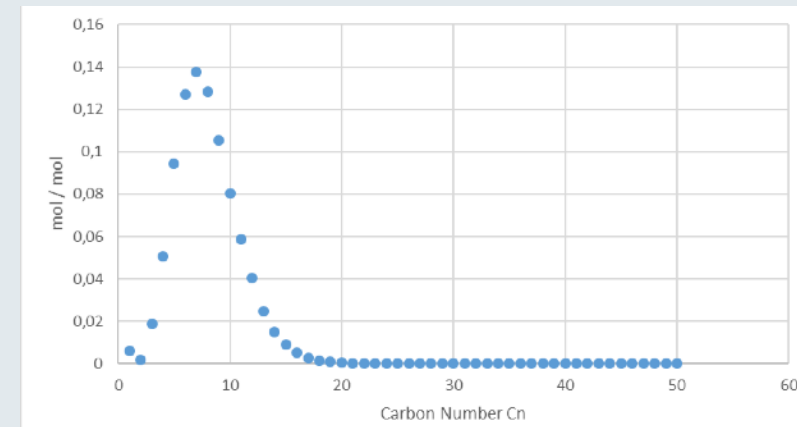
GEFÖRDERT VOM

# PROZESSSIMULATION DER GEKOPPELTEN CO-SOEC-FTS-HC/HT-SEKTION



## Materialbilanz:

- IN: ~ 400 t/d CO<sub>2</sub>
- OUT: ~136 t/d behandeltes FT-Öl



Maßstab: 100 MW an der Elektrolyse

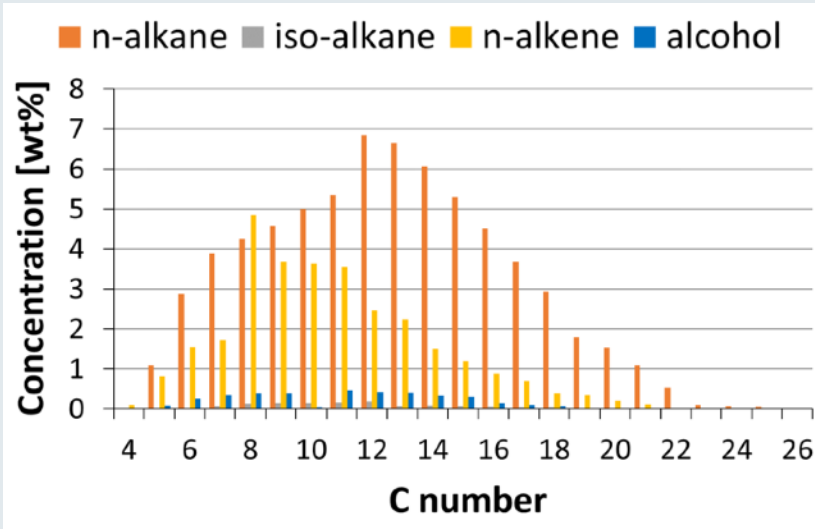
## Energiebilanz:

Output	Energieeffizienz (inklusive DAC)	
	HT-Wärme	HT- und LT-Wärme
65 MW (LHV)	48,2 %	52,3 %
70 MW (HHV)	52,0 %	56,4 %

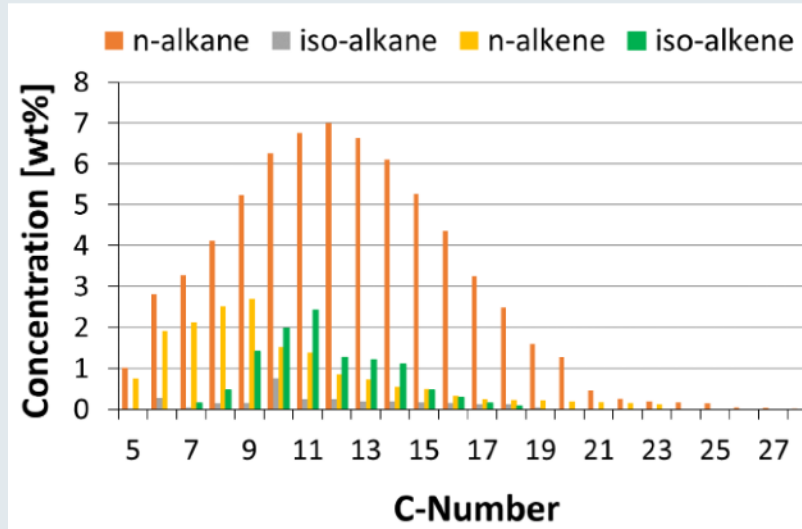
GEFÖRDERT VOM

# FISCHER-TROPSCH PRODUKT-UPGRADING: KEROSIN, DIESEL, BENZIN

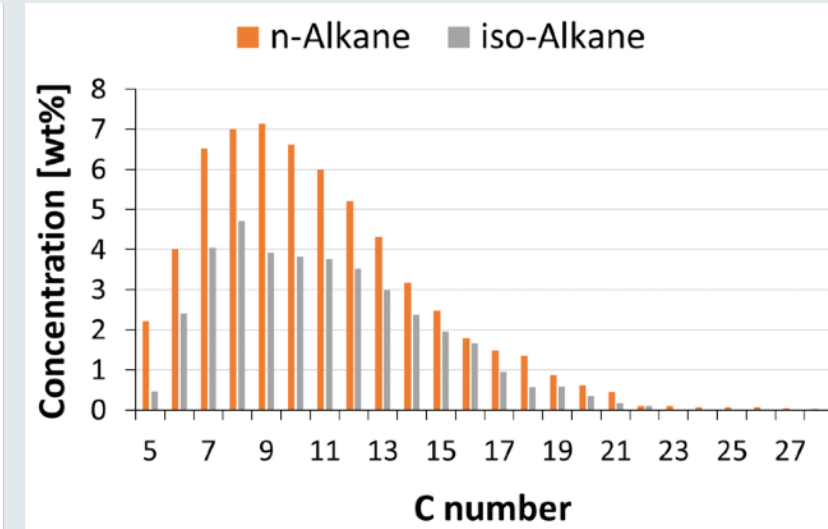
## ÖI (FT)



## ÖI (FT-HC)



## ÖI (FT-HC-HT)



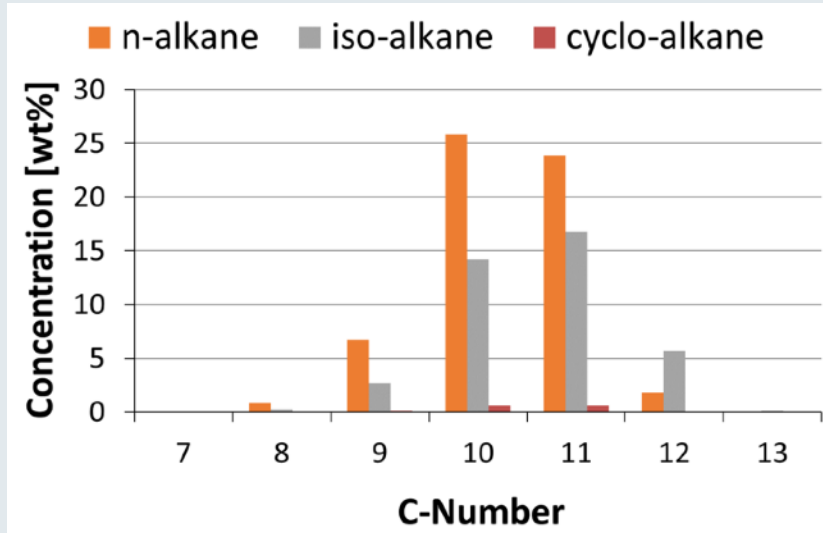
- › Enthält Alkohole
- › Hoher Alkengehalt (bis etwa 1/3)
- › Geringer *iso*-Alkangehalt
- › Weiter Bereich der Kettenlänge

- › Keine Alkohole mehr
- › *n* und *iso*-Alkene
- › *iso*-Alkane nach wie vor zu gering
- › Weiter Bereich der Kettenlänge

- › **Keine** Alkohole mehr
- › **Keine** Alkene mehr
- › **Hoher** *i*-Alkangehalt (ca. 38 %)
- › Bereich der Kettenlänge immer noch zu breit

GEFÖRDERT VOM

## KEROSINFRAKTION (165-205°C)



- › Liegt im erwünschten Bereich der Kettenlänge für Kerosin (Maximum bei C<sub>10</sub>)
- › ca. 40% *iso*-Alkane; *Cyclo*alkane stellen eine Verunreinigung aus der Destillation dar
- › T90 - T10 außerhalb Toleranzbereich (17,3 < 22 °C)
- › Säurezahl zu hoch (0,017 > 0,015 mgKOH/g)

Specification	Method	Value	Target value (ASTM D7566)	Unit
Water content	ASTM D6304-16e1	27	≤75	mg/kg
Nitrogen	ASTM D4629-17	0,3	-	mg/kg
Lubricity	ASTM D5001-10	0,57	≤0,85	mm
Electrical conductivity	ASTM D2624-15	30	-	pS/m
Microseparometer	ASTM D3948-14	96	≥85	Rating
Existent gum	ASTM D 381-12	1	≤7	mg/100ml
Thermal Stability 325 °C	ASTM D 3241-18	0	≤25	mmHg
Corrosion - Copper strip (2h at 100°C)	ASTM D130-18	1b	1	Rating
Smoke Point	ASTM D1322-19	25,6	≥25	mm
Net heat of combustion	ASTM D3338-09e2	44,22	≥42,8	MJ/kg
Viscosity (-20 °C)	ASTM D7042-16e3	2,88	≤8	mm <sup>2</sup> /s
Freezing point	ASTM D2386-18	-48	-40	°C
Flash point	ASTM D3828-16a-B	54,5	38	°C
Sulfur content	ASTM 5453-19a ASTM 2622-16	<1,0	15	mg/kg
Mercaptanschwefel	ASTM D3227-16	<0,0003	0,003	ma%
Density (15 °C)	ASTM D4052-18a	741,4	730 - 770	kg/m <sup>3</sup>
<b>Distillation</b>	-	-	-	-
10 % recovered	ASTM D86-18	172,1	205	°C
50 % recovered	ASTM D86-18	178,3	report	°C
90 % recovered	ASTM D86-18	189,4	report	°C
Final boiling point	ASTM D86-18	202,8	300	°C
T90-T10	ASTM D86-18	17,3	≥22	°C
Distillation residue	ASTM D86-18	1	≤1,5	vol%
Distillation loss	ASTM D86-18	0,6	≤1,5	vol%
Acidity, total	ASTM D3242-11	0,017	≤0,015	mgKOH/g

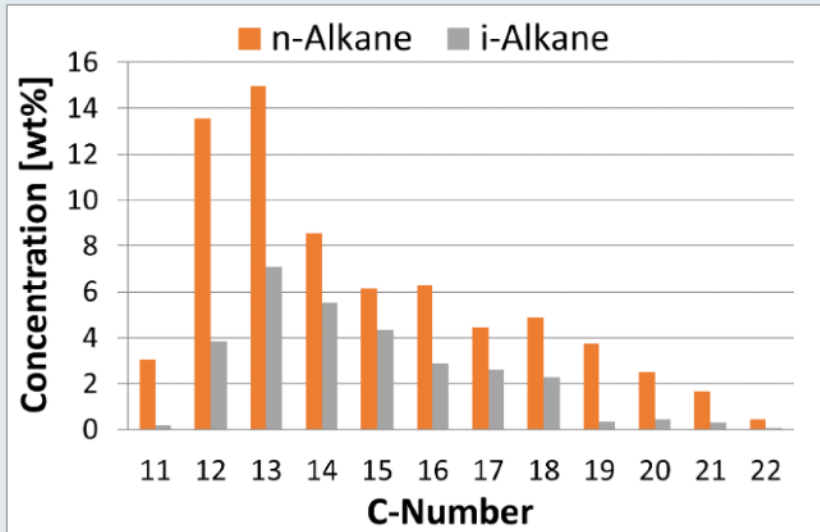
- **Anpassung der hydrierenden Behandlung:** Katalysator(en), Prozessbedingungen
- **Optimierung der Destillation:** Temperaturfenster

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## DIESELFRAKTION (205-360°C)



- › Liegt im erwünschten Bereich für Diesel
- › *iso* und *n* Alkane, keine *Cyclo*alkane
- › Erfüllt Anforderungen als „Class A Fuel“ gemäß DIN EN 15940 in Bezug auf Zündwilligkeit und Dichte
- › Relativ hoher Flash Point und enger Siedebereich
- › Einsatzbar nur als Sommerware

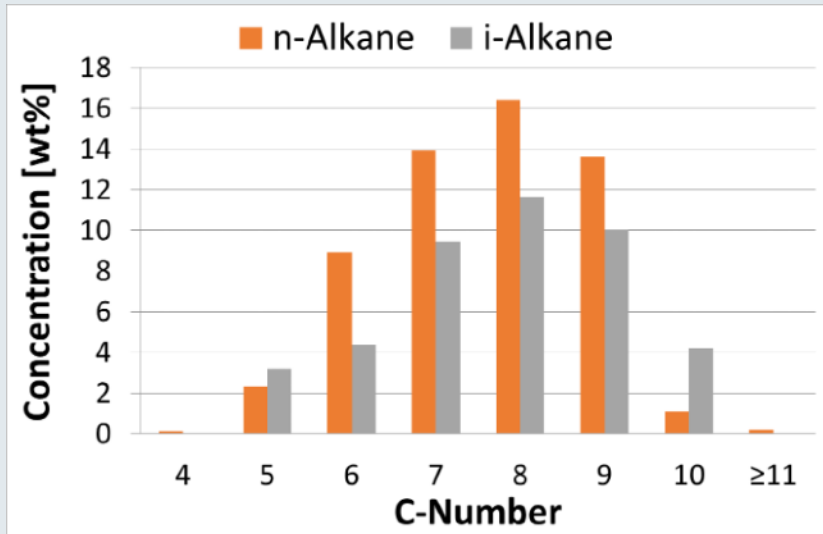
→ **Optimierung der Destillation:** Temperaturfenster

→ **Additive:** Winter-Kraftstoff

GEFÖRDERT VOM



## NAPHTHAFAKTION (< 165°C)



- › Fällt in den erwünschten Bereich für Benzin
- › *iso* und *n* Alkane (43/57%), keine *Cyclo*alkane
- › Noch nicht geeignet für Ottomotoren
  - › Zu geringe Oktanzahl und Dichte
  - › Zu niedriger Dampfdruck, Siedebereich nicht passfähig (beginnt zu hoch, endet zu niedrig)

- Optimierung der HC/HT Katalysatoren und Prozessbedingungen
- Strategie zur Bildung von *Cyclo*alkanen
- Blending Strategie ohne Aromaten
- Alternative Nutzung als Cracker-Feed

GEFÖRDERT VOM

# SKALIERUNG SYNTHESANLAGE - 1 MW PTL-ANLAGE IN WERLTE



Einweihung der 1 MW PtL-Anlage von atmosfair in Werlte, 4.10.2021

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# AUSBLICK



## NÄCHSTE SCHRITTE

- › Fertigstellung der DAC und Co-SOEC Einheiten und Integration ins Energy Lab 2.0
- › Installation der Kapazitätserhöhung für die Fischer-Tropsch Stufe und des Produkt-Refining-Moduls
- › Validierung des integrierten PtL Verfahrens im Maßstab 250 kW
- › Verfeinerung des Upgradings für Kerosin und Diesel, Ausarbeitung eines Upgrading Schemas für Otto-Kraftstoffe
- › Bereitstellung von 1000 L Kerosin, Diesel und Otto-Kraftstoff mit der Fischer-Tropsch Syntheseanlage, idealerweise mit dem Produkt-Refining-Modul installiert
- › Detaillierte Charakterisierung der Produkte Kerosin und Diesel inklusive Prüfstandsbetrieb und Betrieb von Testfahrzeugen
- › Planung einer vorindustriellen Demonstration in Phase III (geplant ab September 2022, max. 4 Jahre)

GEFÖRDERT VOM

VIELEN DANK AN ALLE PARTNER FÜR DIE  
GROßARTIGE ZUSAMMENARBEIT !

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT !



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung