Entwicklung und Betrieb einer hochintegrierten PtL-Anlage im Labormaßstab unter Einsatz der SOEC-Technologie

Matthias Jahn, Fraunhofer IKTS, Abteilung Chemische Verfahrenstechnik

energy saxony

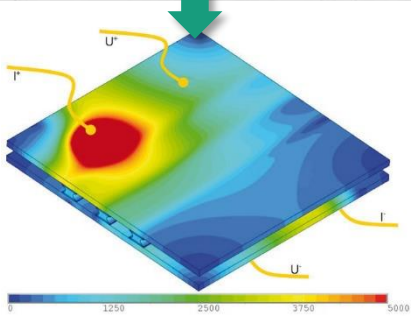
#ENERGIETalk

Dresden, 14/12/2022

Fraunhofer IKTS

Zweitgrößtes Wasserstoff-Institut der Fraunhofer Gesellschaft

Oxidkeramische Zellen – vom Material zum Stack



- 25 Jahre Erfahrung in der Stackentwicklung
- Führend bei der Hochtemperaturelektrolyse
- Expertise in der Membranverfahrenstechnik
- Robuste, zuverlässige Monitoringlösungen
- Grüner Wasserstoff für industrielle Anwendung

Systementwicklung – vom verfahrenstechnischen Modell zum funktionsfähigen Prototypen

Industrieller Einsatz – Integration, Langzeittest und Transfer

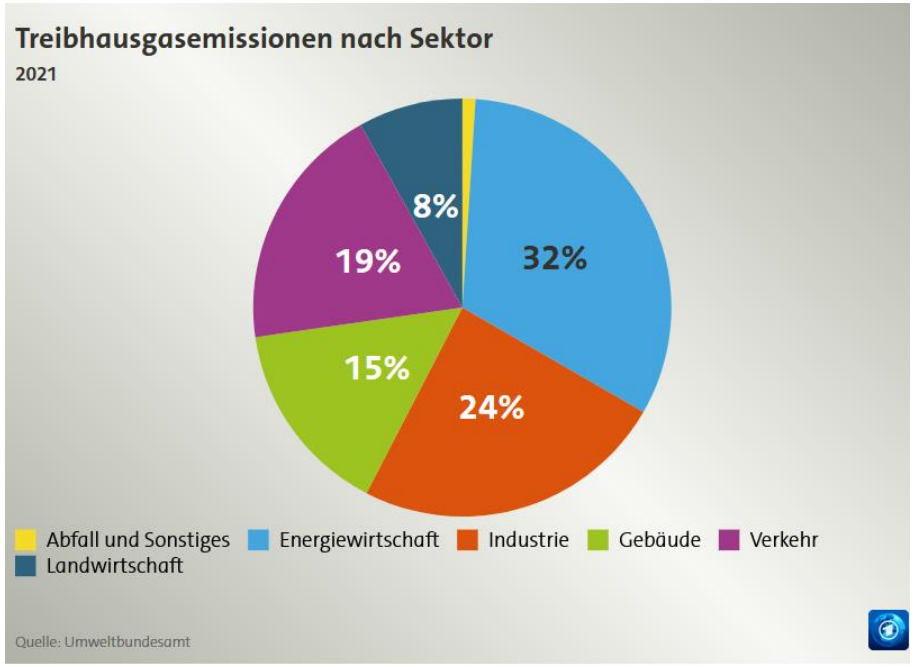
© Fraunhofer IKTS

Fraunhofer IKTS

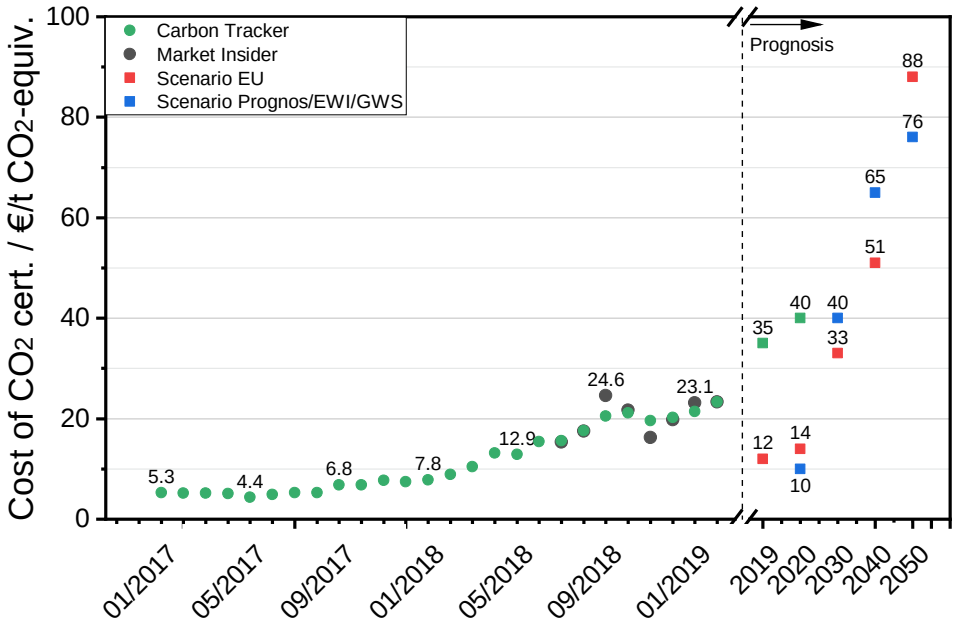
Motivation zum Einsatz von grünem Wasserstoff

Industrielle CO_2-Emissionen

- Industrielle Prozesse sind signifikante Quellen von CO_2-Emissionen
- Trotz regulatorischer Maßnahmen stagnierte die Reduktion von Emissionen in den letzten Jahren
- Steigende Kosten für CO_2-Zertifikate als Treiber für Emissionsreduzierung



www.tagsschau.de

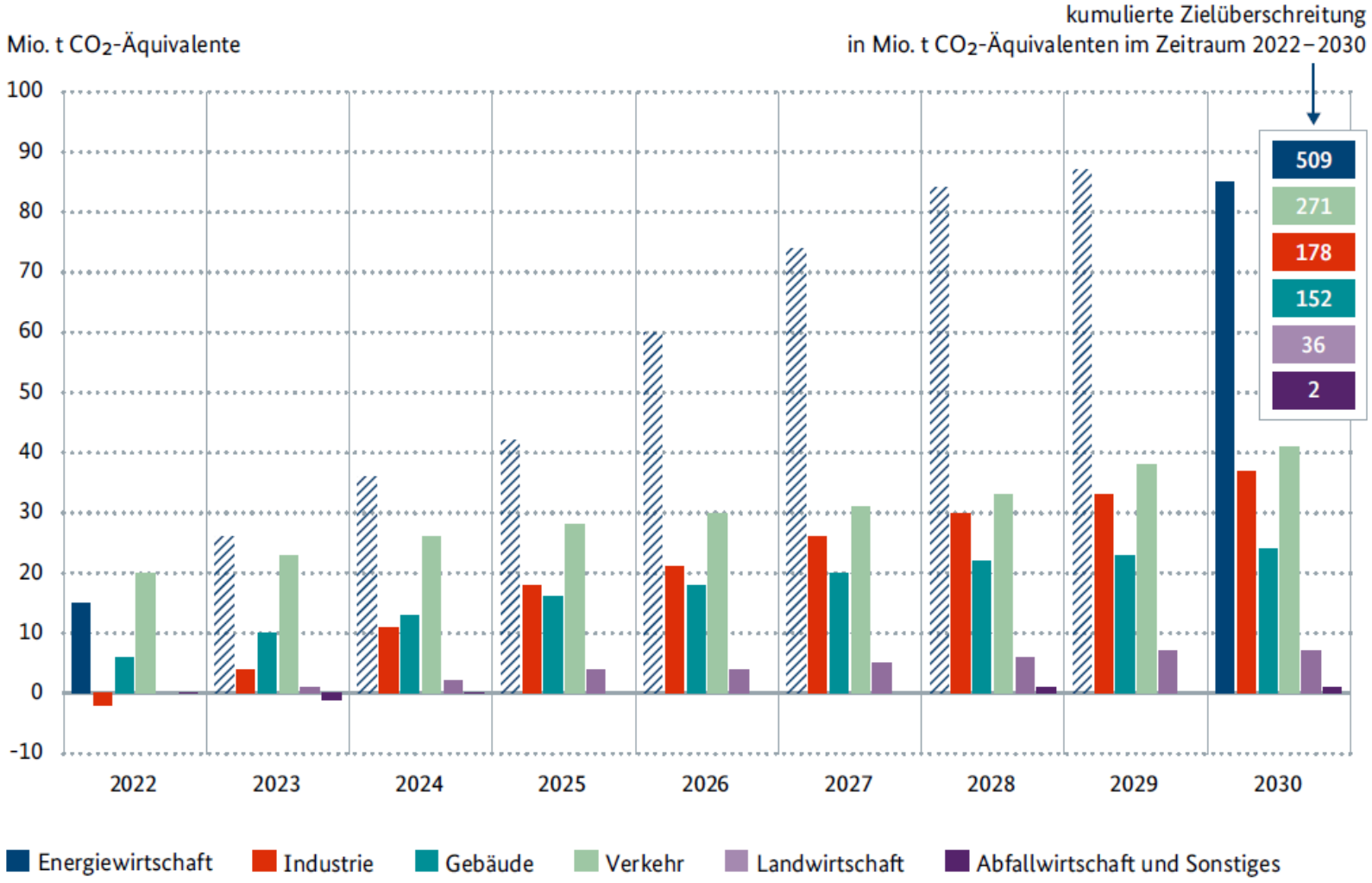


 © Fraunhofer IKTS

Fraunhofer IKTS

Motivation zum Einsatz von grünem Wasserstoff

Prognostizierte Überschreitung der Klimaziele in den Sektoren



Energiewirtschaft ohne vorgegebene Jahresemissionsmenge im KSG. Hilfsweise wurde hier ein linearer Verlauf der Jahresemissionsmenge zwischen 2022 und 2030 angenommen.

Quellen: Klimaschutz-Projektionsbericht 2021, Bundes-Klimaschutzgesetz

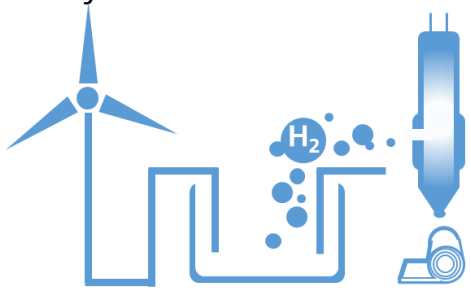
Fraunhofer IKTS

Reduzierung der industriellen CO_2-Emissionen

Lösungsansätze

Carbon Direct Avoidance = CDA

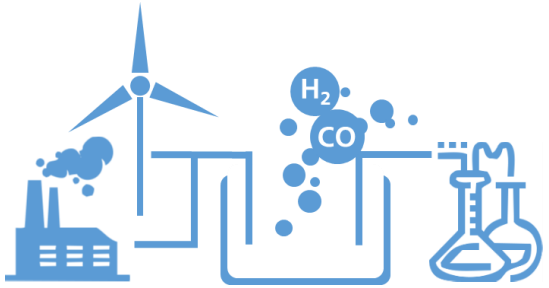
- Substitution von fossilen Energieträgern durch Wasserstoff oder erneuerbare Energie
- Veränderung der Prozessroute
- Beispiele: Direktreduktion von Eisenerz, Elektrolysebasierte Ammoniaksynthese



H_2

Carbon Capture and Utilization = CCU

- Abtrennung und Nutzung des prozessbedingten CO_2 (oftmals unter Nutzung von Wasserstoff)
- Erweiterung bestehender Prozesse
- Beispiele: Power-to-Liquid, Power-to-Gas



 © Fraunhofer IKTS

Fraunhofer IKTS

Elektrolysebasierte Prozessrouten

Vergleich etablierter Elektrolysetechnologien

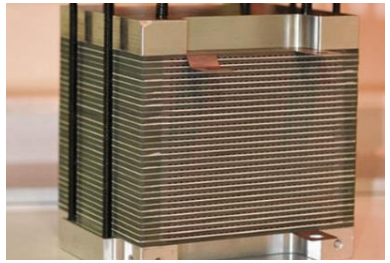
Alkalische Elektrolyse (AEL)

- Etablierte Technologie
- Korrosive Substanzen
- Niedrige Stromdichte
- 4.2–5.9 kWh/Nm³ H_2

PEM-Elektrolyse (PEMEL)

- Demo/industrieller Maßstab
- Niedrige Lebensdauer
- 4.2–5.6 kWh/Nm³ H_2

Festoxidelektrolyse (SOEL)



- Demo-Maßstab
- Temperatur ~800 °C
- 3.0–4.5 kWh/Nm³ **H_2 + CO**

→ Produktion von Syngas in einem einstufigen Prozess mithilfe der SOEL
→ Hohe Temperatur der SOEL ermöglicht höheres Maß an Wärmeintegration

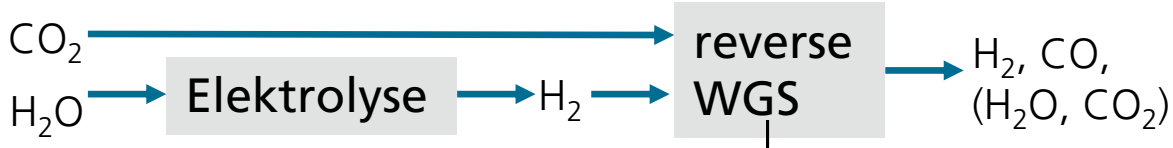
© Fraunhofer IKTS
Fraunhofer IKTS

Festoxidelektrolyse (Solid Oxide Electrolysis (SOEL))

Co-Elektrolyse

Wasserelektrolyse + reverse Wassergas-Shift-Stufe

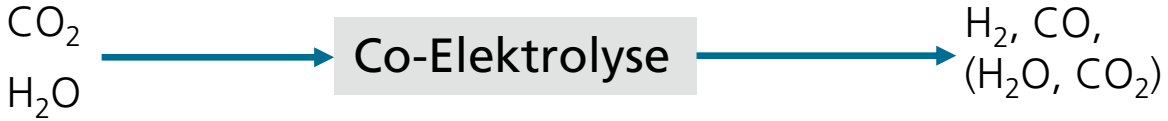
- Etablierter Prozess zur Bereitstellung von H_2O und CO_2
- $x_{CO2,\ syngas} = 0{,}23$

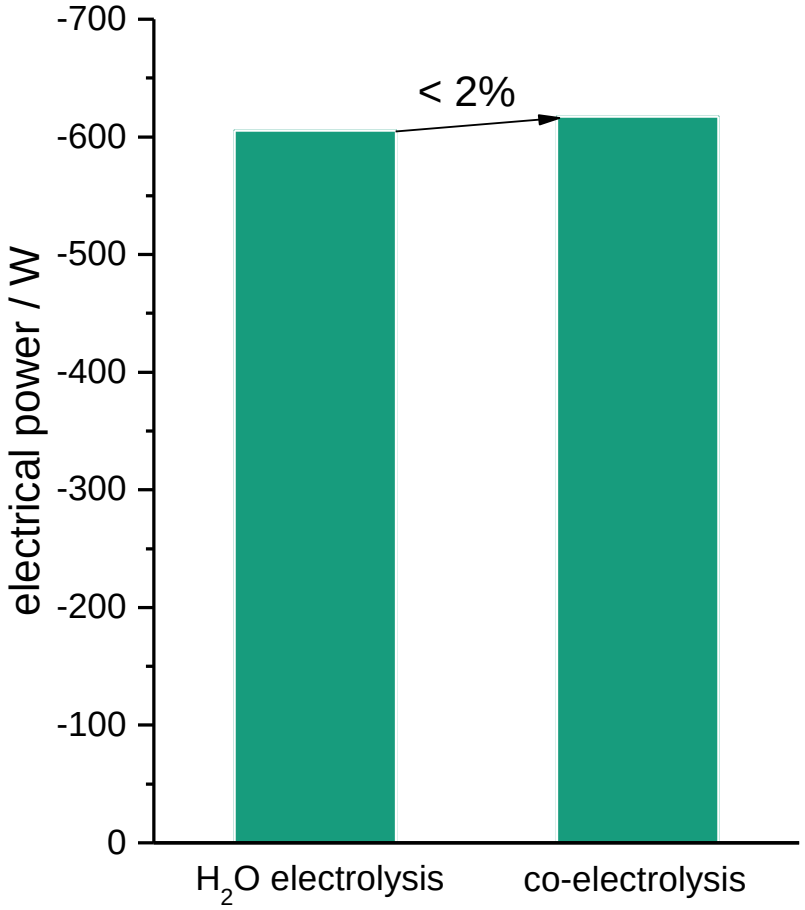


$$CO_2 + H_2 \rightleftarrows CO + H_2O \qquad \Delta_r h > 0\ (endotherm)$$

Co-Elektrolyse von H_2O und CO_2

- Einstufiger Prozess zu Synthesegas
- $x_{CO2,\ syngas} = 0{,}08$
- Möglichkeit der internen Reformierung



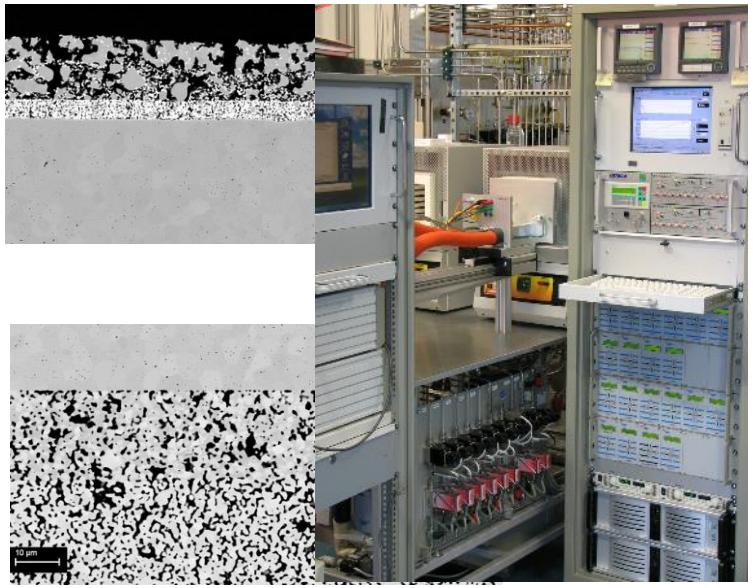


© Fraunhofer IKTS

Festoxidelektrolyse (Solid Oxide Electrolysis (SOEL))

Status am IKTS

Elektroden und Zellen → Stacks und Module → Systemintegration



MEA-Entwicklung und Fertigung
Langzeittests

Stackentwicklung und –Fertigung
Langzeittests

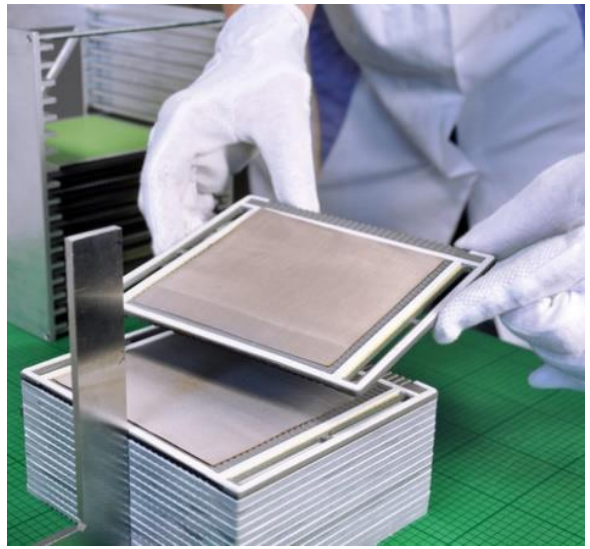
Systemintegration
Kopplung von Elektrolyse und Synthese (PtX)

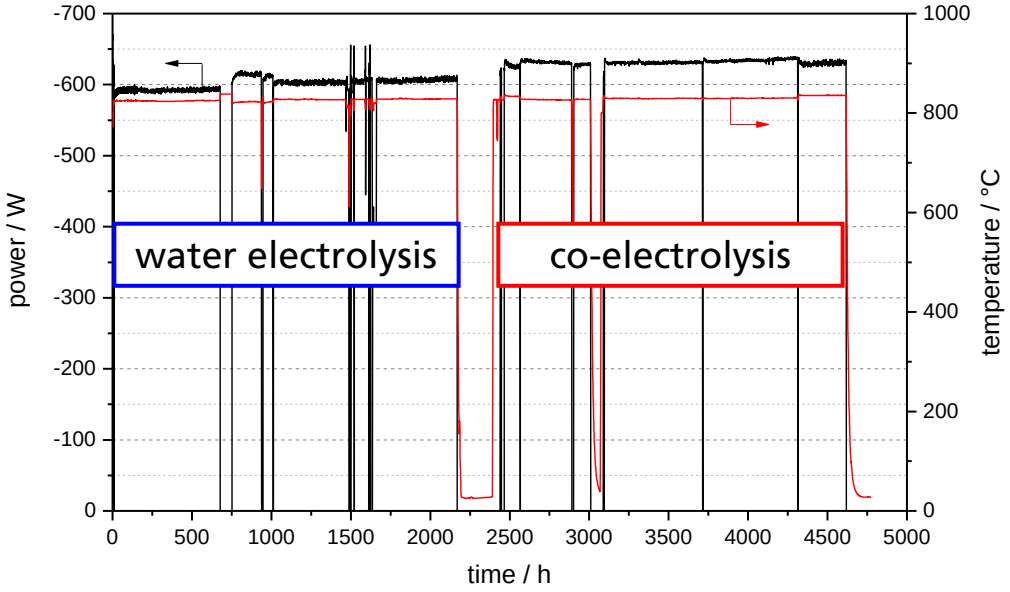
© Fraunhofer IKTS

Festoxidelektrolyse (Solid Oxide Electrolysis (SOEL))

Status am IKTS

- Eigene SOEC Stacks und Module entwickelt und gebaut
- Langzeitstabilität auf Zell- und Stackebene nachgewiesen





© Fraunhofer IKTS

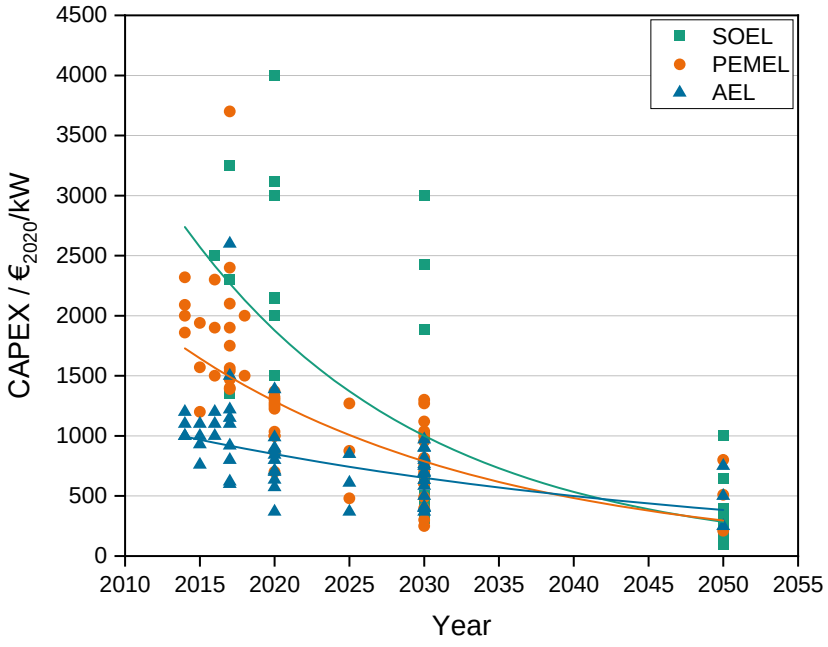
Fraunhofer IKTS

Elektrolysebasierte Prozessrouten

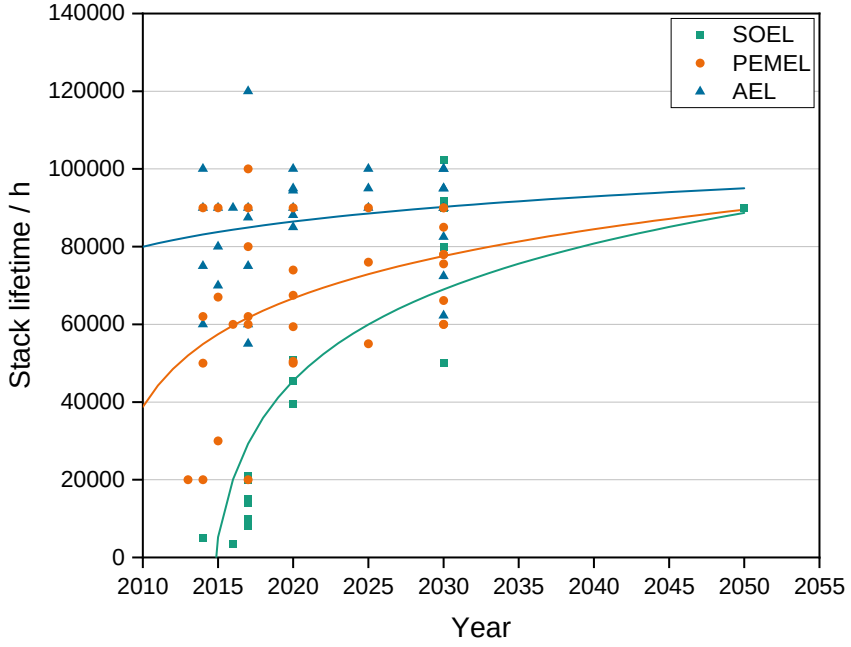
Technisches und wirtschaftliches Potential

- Apparatekosten für Elektroylsemodule sollen gegen 300 €/kW$_{el}$ konvergieren
- Die Stacklebensdauer soll mittelfristig erheblich steigen

Equipment cost



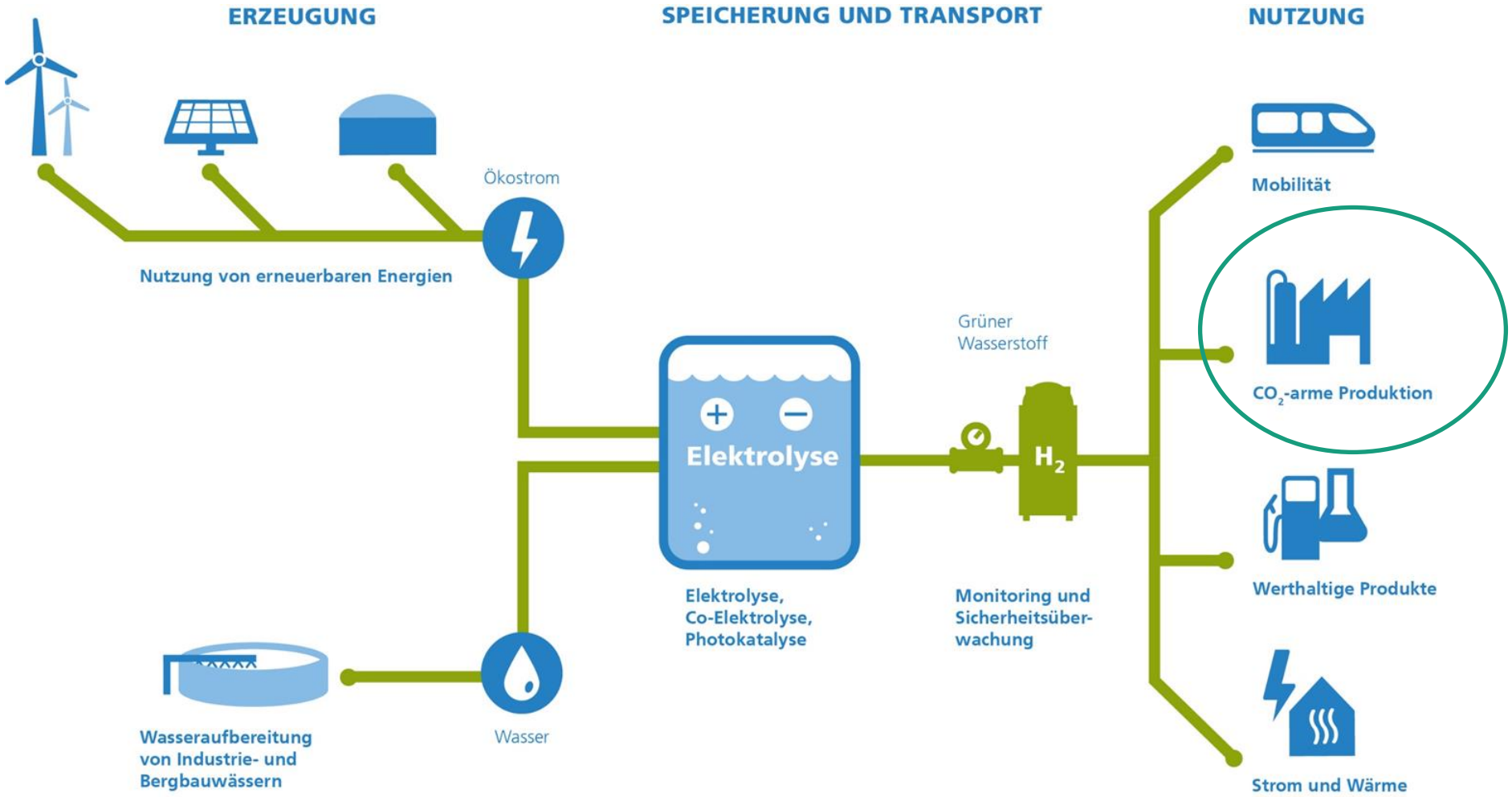
Stack lifetime



© Fraunhofer IKTS

Grüner Wasserstoff

Wertschöpfungskette



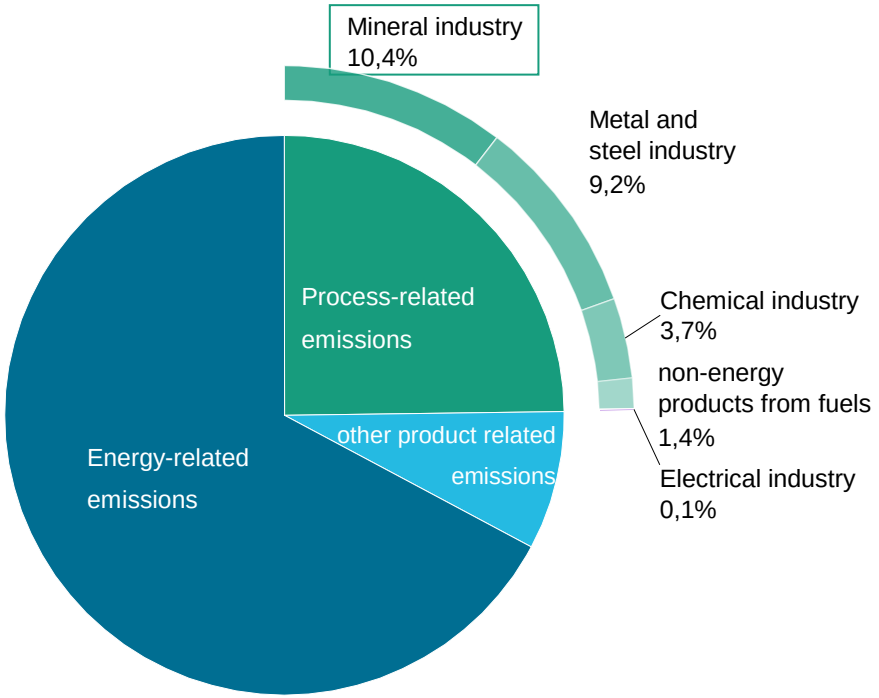
 © Fraunhofer IKTS

Fraunhofer IKTS

Prozessbedingte Emissionen

Carbon Capture and Utilization

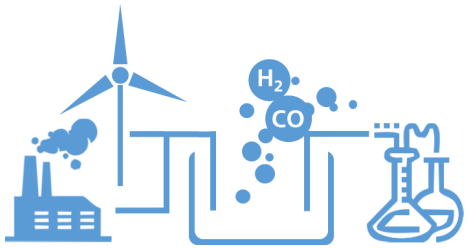
→ Carbon capture and utilization (CCU)
z.B.: Zement- und Kalkproduktion



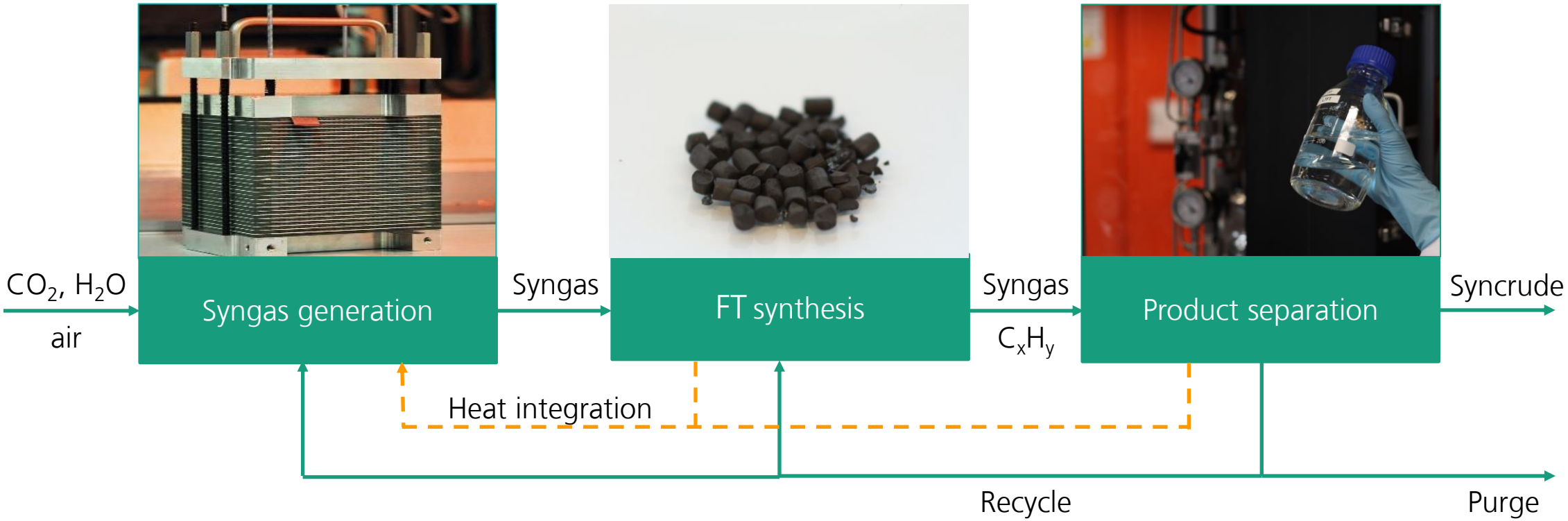
© Fraunhofer IKTS

Carbon Capture and Utilization

Emissionsminderung durch chemische Bindung



- Kohlenstoff soll in Form von Kohlenwasserstoffen gebunden werden

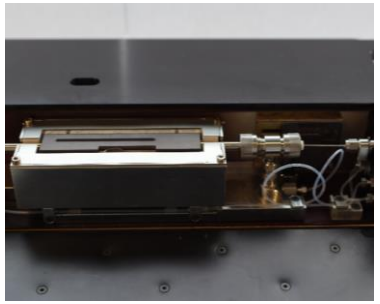


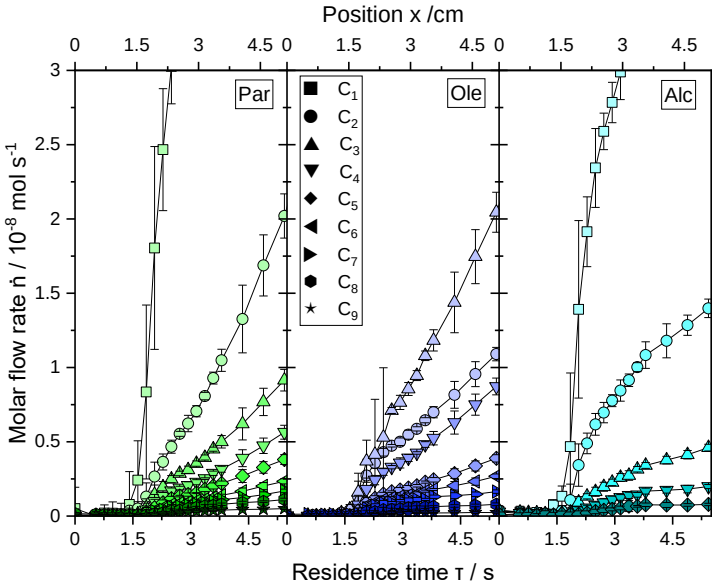
© Fraunhofer IKTS
Fraunhofer IKTS

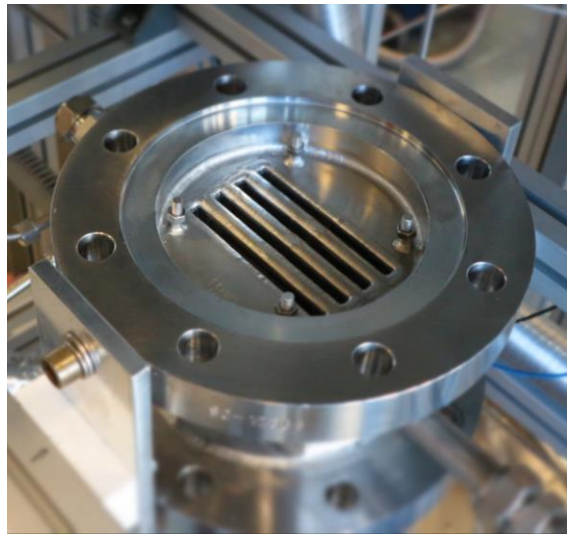
Fraunhofer IKTS – Kompetenzen im Bereich der Synthesen

Aktuelle Arbeiten und Projekte zur Fischer-Tropsch-Synthese

- 4 Laboranlagen mit 8 Festbettreaktoren und GC-Produktanalytik
- Eigene Entwicklung von eisenbasierten Katalysatoren und Einsatz von kommerziellen Co-Katalysatoren
- Nutzung Profilreaktor zur Untersuchung der Kinetik der Fischer-Tropsch-Synthese
- Langzeituntersuchungen zur Katalysatordegradation
- Beteiligung am BMBF-Forschungsprojekt Care-o-sene
- Reaktoren für Demonstrationsanlagen







Catalysis Communications 158 (2021) 106335

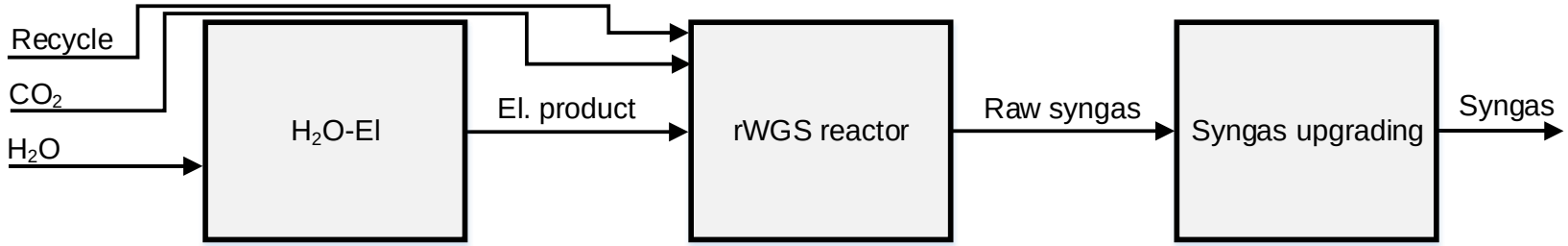
© Fraunhofer

Fraunhofer IKTS

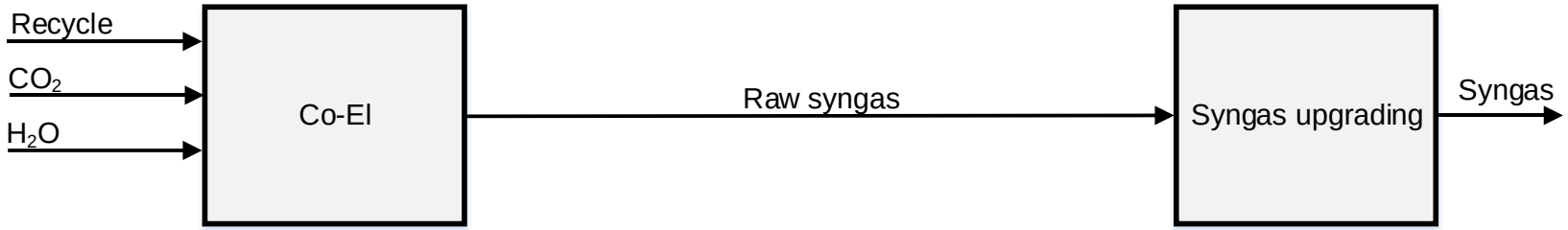
Carbon Capture and Utilization

Verfahrensoptionen zur nachhaltigen Synthesegasproduktion

- CO_2 and gasförmige Kohlenwasserstoffe können in 2 Verfahrenskonzepten zu Synthesegas umgesetzt werden:
  - Katalytische Umwandlung in einem reverse Wasser-Gas-Shift-Verfahren:



  - Elektrochemische CO_2 Umwandlung in der SOEL kombiniert mit katalytischer internen Reformierung der Kohlenwasserstoffe

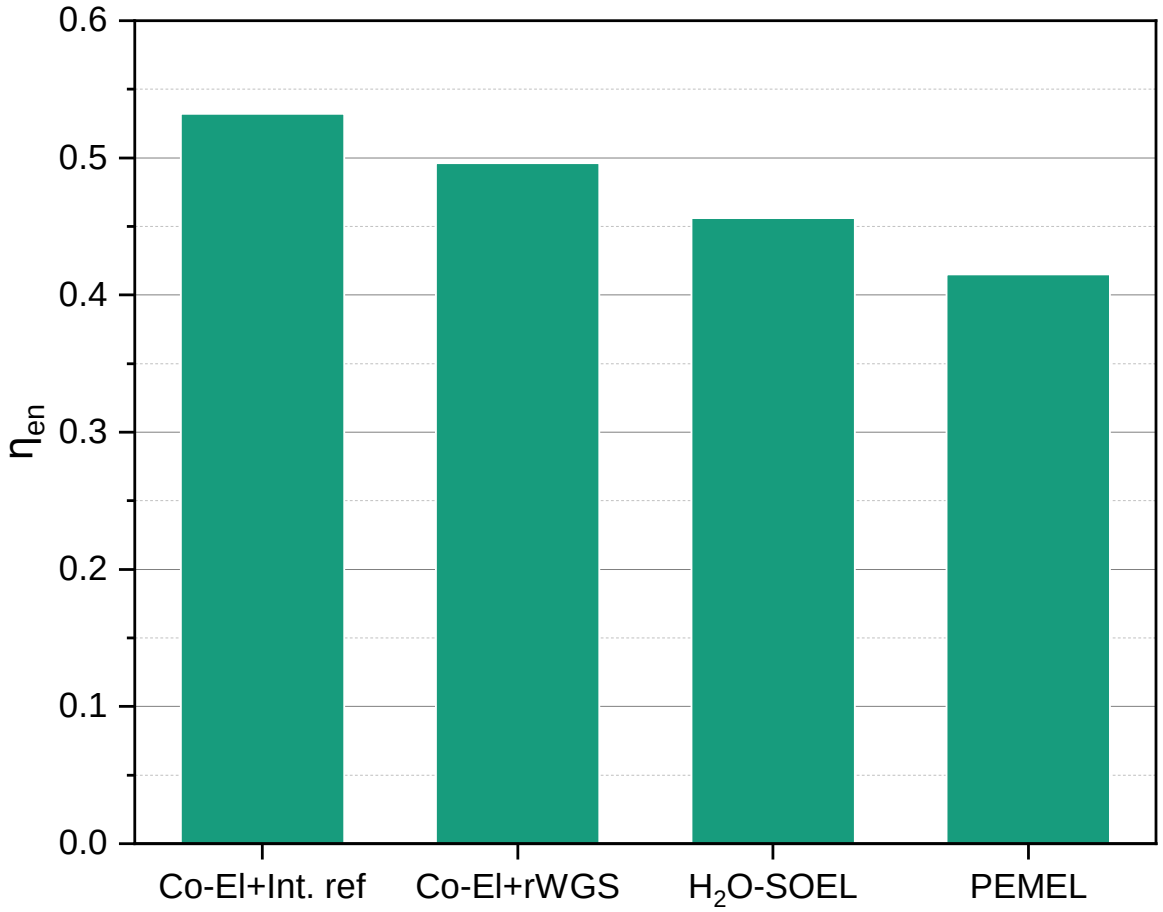


© Fraunhofer IKTS

Carbon Capture and Utilization

Prozesseffizienz

- Hochtemperaturelektrolyse erlaubt die wesentlich effizienter Herstellung von Synthesegas als die Niedertemperaturelektrolyse
- H_2O-SOEL weniger effizient als die Co-Elektrolyse, da der CO_2 -Umsatz in der rWGS unvollständig
- Interne Reformierung effizienter auf Grund geringerer thermische Verluste



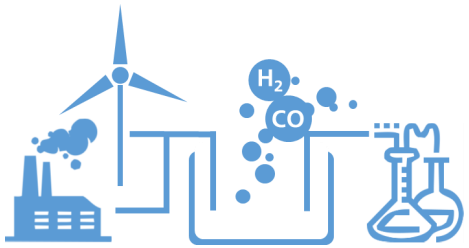
Definition des Wirkungsgrades:

$$\eta_{en} = \frac{P''_{chem}}{P'_{el}}$$

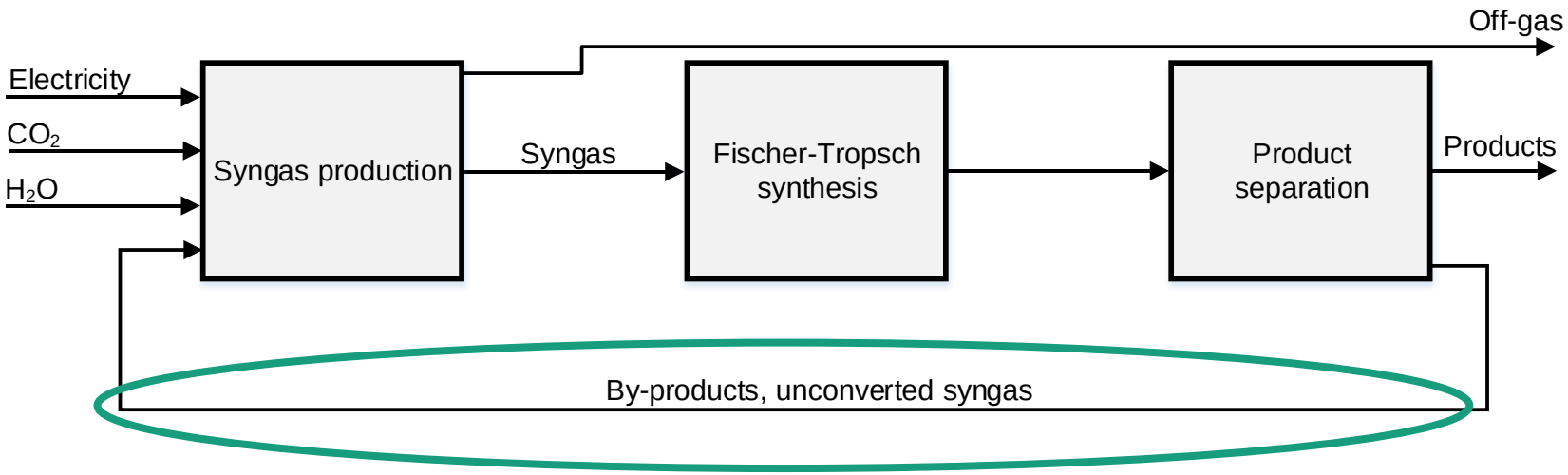
© Fraunhofer IKTS

Carbon Capture and Utilization

Experimentelle Validierung des Prozessmodells



- Nebenprodukte der Synthese (gasförmige Kohlenwasserstoffe, CO_2) limitieren die interne Rückführung von nicht umgesetztem Syngas
- Diese Nebenprodukte können über einen langen Recycle in der SOEL wieder zu Syngas umgesetzt werden



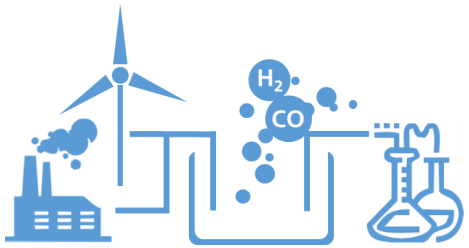
Prozess im Labormaßstab

- P_{el} = 1 kW
- Wachse: 0.8 l/d
  ölige Fraktion: 0.8 l/d
- Betrieb 24/7

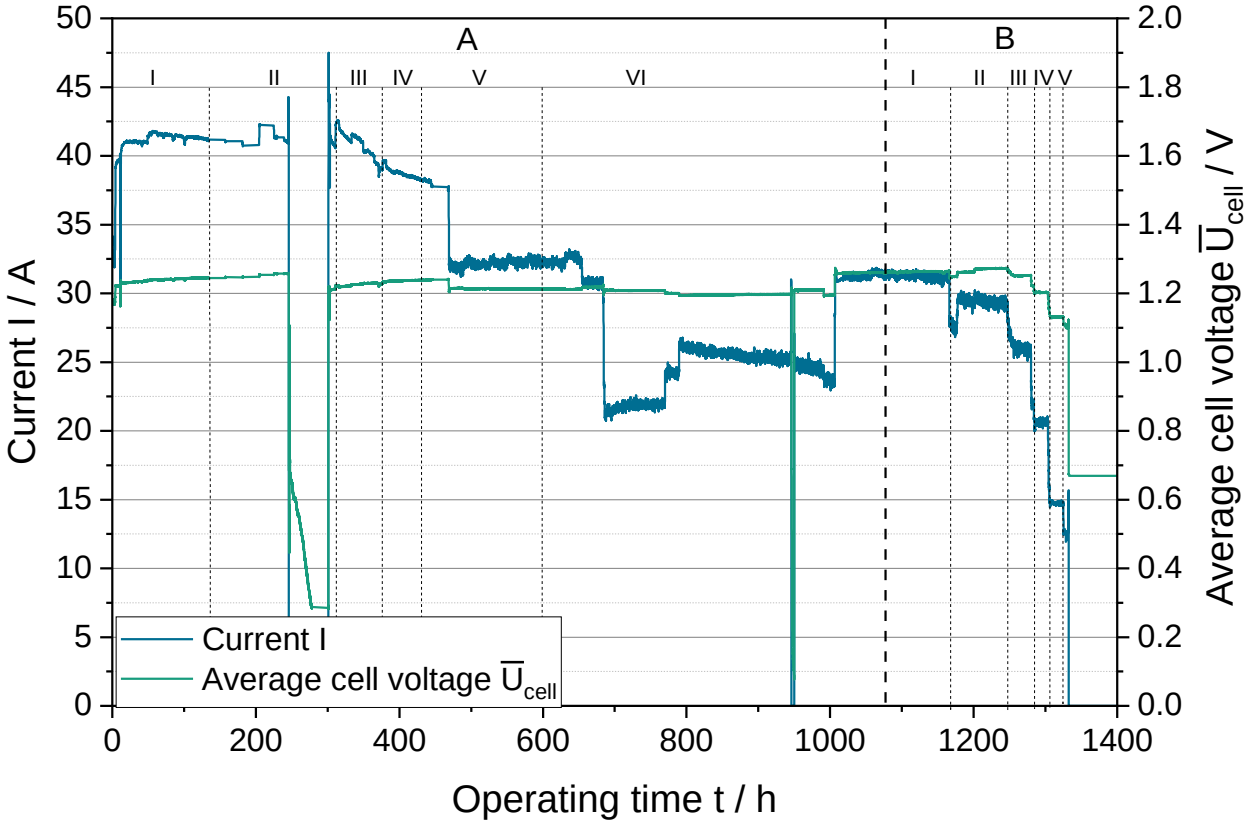
© Fraunhofer IKTS

Carbon Capture and Utilization

Testreihen an der Laboranlage



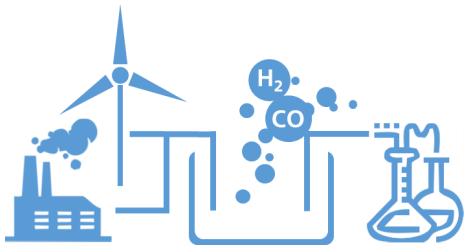
- Die Laboranlage war mehr als 1.000 Stunden im Betrieb
- Im Rahmen der Kampagne A wurden die Prozessschritte geprüft und geeignete Betriebspunkte gefunden
- Kampagne B wurde durchgeführt um die interne Reformierung im Prozesskontext zu validieren



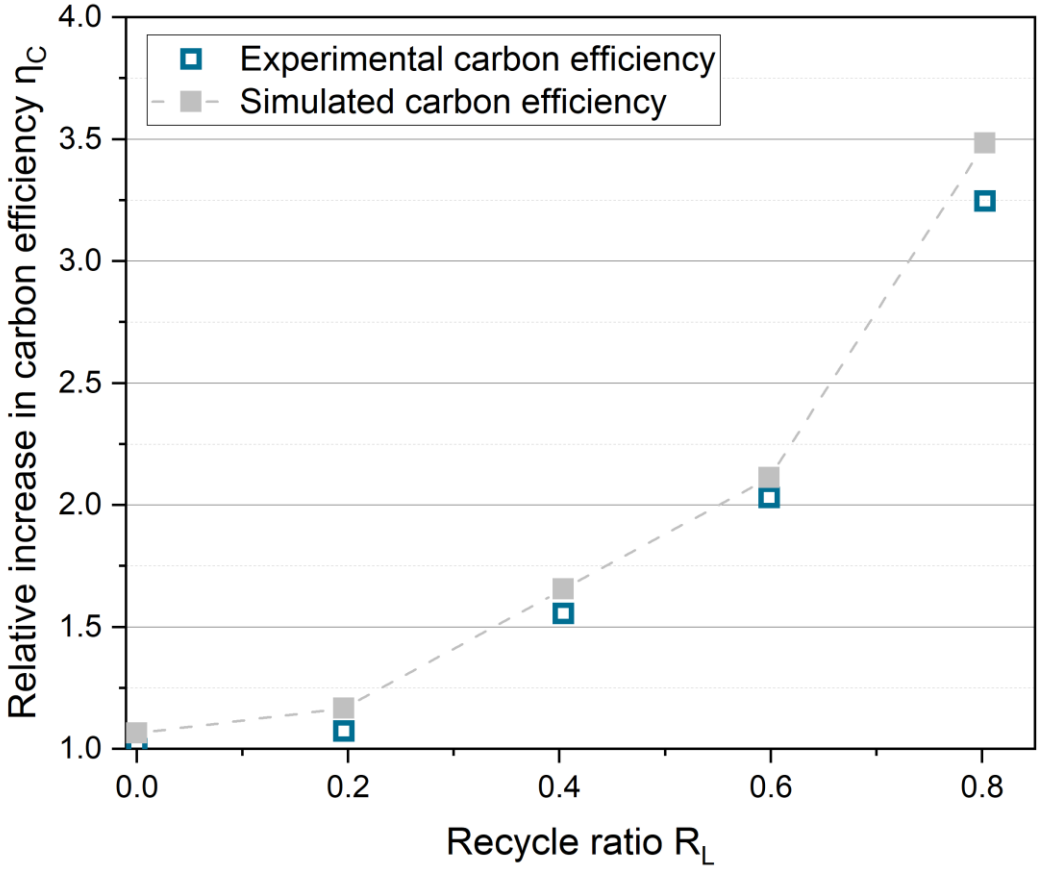
© Fraunhofer IKTS
Fraunhofer IKTS

Carbon Capture and Utilization

Ergebnisse der Testreihen



- Im Dead-End-Betrieb ist der Kohlenstoffwirkungsgrad gering:
  - Geringer Umsatz in der SOEL um Spielraum für höhere Rückführungen zu haben
  - Geringer Umsatz im Fischer-Tropsch-Reaktor durch thermische Limitierung
- Durch die Rückführung konnte der Kohlenstoffwirkungsgrad signifikant gesteigert werden
- Das Modell konnte die experimentellen Daten sehr gut nachbilden

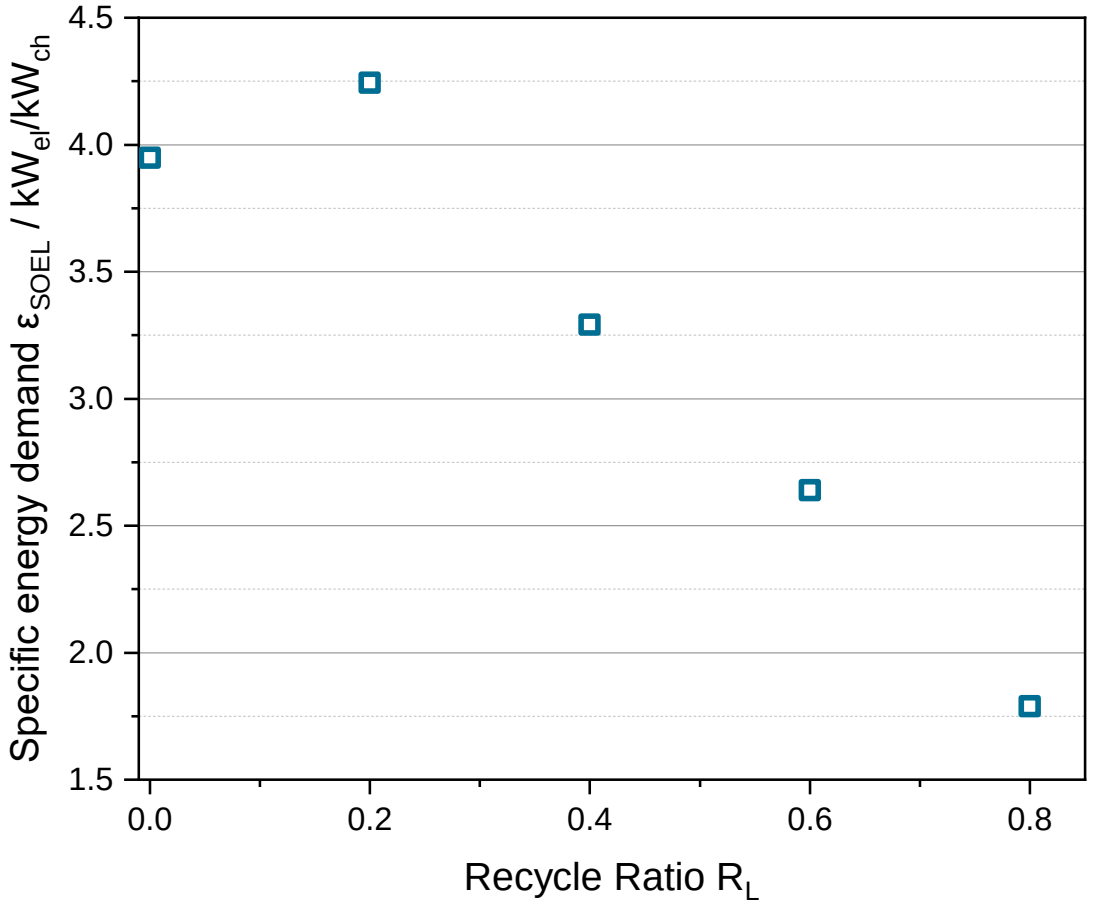


© Fraunhofer IKTS
Fraunhofer IKTS

Carbon Capture and Utilization

Ergebnisse der Testreihen

- Im Dead-end-Betrieb ist der spezifische Energiebedarf sehr hoch
- Der Energiebedarf für die Elektrolyse sinkt mit steigendem Rezirkulationsgrad während die Produktmenge steigt
- Die etwas geringere Ausbeute für R_L = 0.2 führt zu einem leichten Anstieg des spezifischen Energiebedarfs
- Insgesamt stehen die experimentellen Daten in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen den Prognosen aus den Simulationsrechnungen

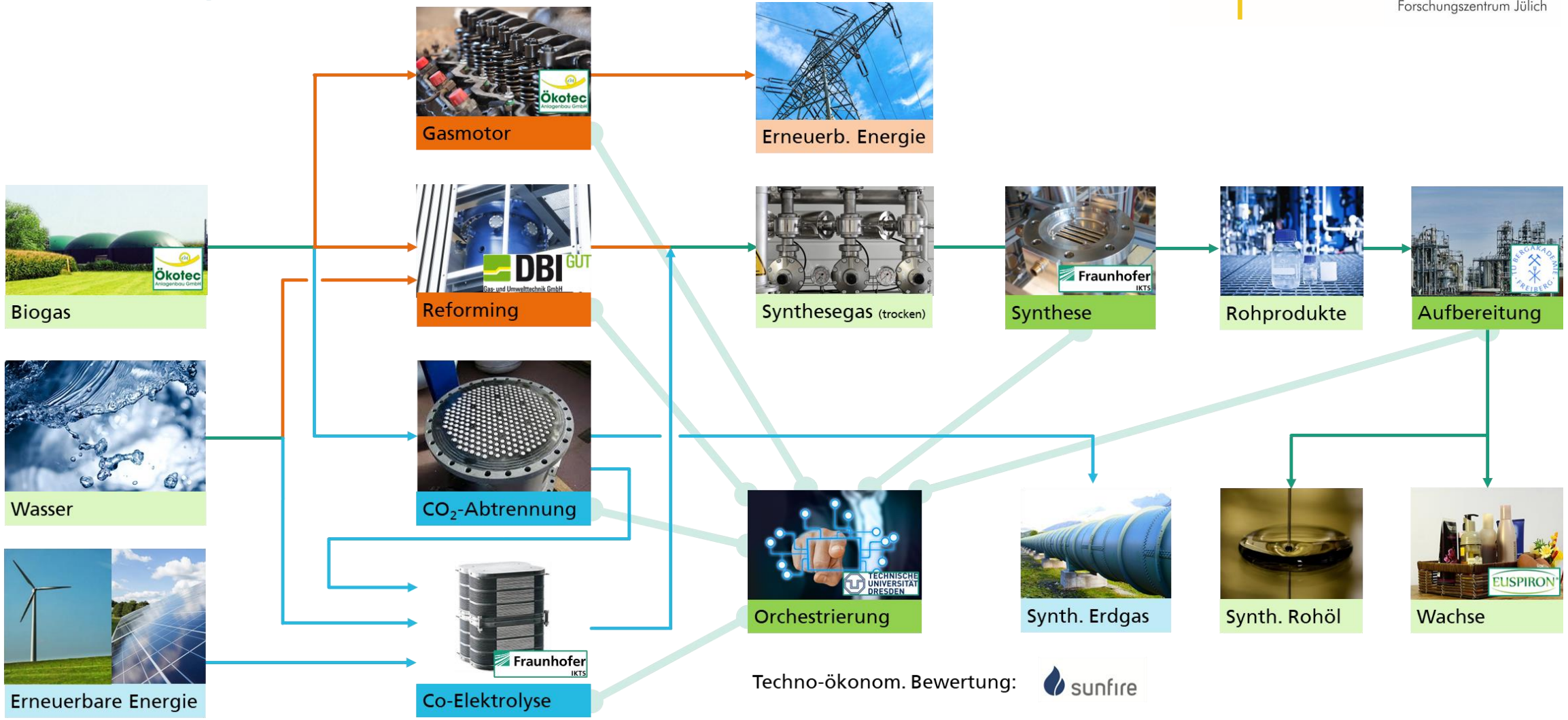


© Fraunhofer IKTS

Projekt ProRegional im mitteldeutschen Revier

Prozesskonzept

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich



Projekt ProRegional im mitteldeutschen Revier

Standort Thallwitz

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

https://www.mdr.de/video/mdr-videos/c/video-648312.html

Ökotec Anlagenbau GmbH

sunfire

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

TU BERGAKADEMIE FREIBERG

Fraunhofer IKTS

Projekt ProRegional im mitteldeutschen Revier

Standort Thallwitz

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

https://www.mdr.de/video/mdr-videos/c/video-648312.html

Ökotec Anlagenbau GmbH

sunfire

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

TU BERGAKADEMIE FREIBERG

Fraunhofer IKTS

Projekt ProRegional im mitteldeutschen Revier

Demonstrationsanlage

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Kopplung von SOEC/Biogasanlage und Fischer-Tropsch-Synthese

- Pilotanlage (10 kW_{el}) für den Einsatz von Biogas und Co-Elektrolyse an einer Biogasanlage bei der Firma Ökotec in Thallwitz bei Leipzig
  up-scaling Faktor: 10 (Wachsanteil : 8 l/d und flüssige Kohlenwasserstoffe 8 l/d)
- Vollautomatisierter Betrieb
- Im MDR: https://www.mdr.de/video/mdr-videos/c/video-648312.html

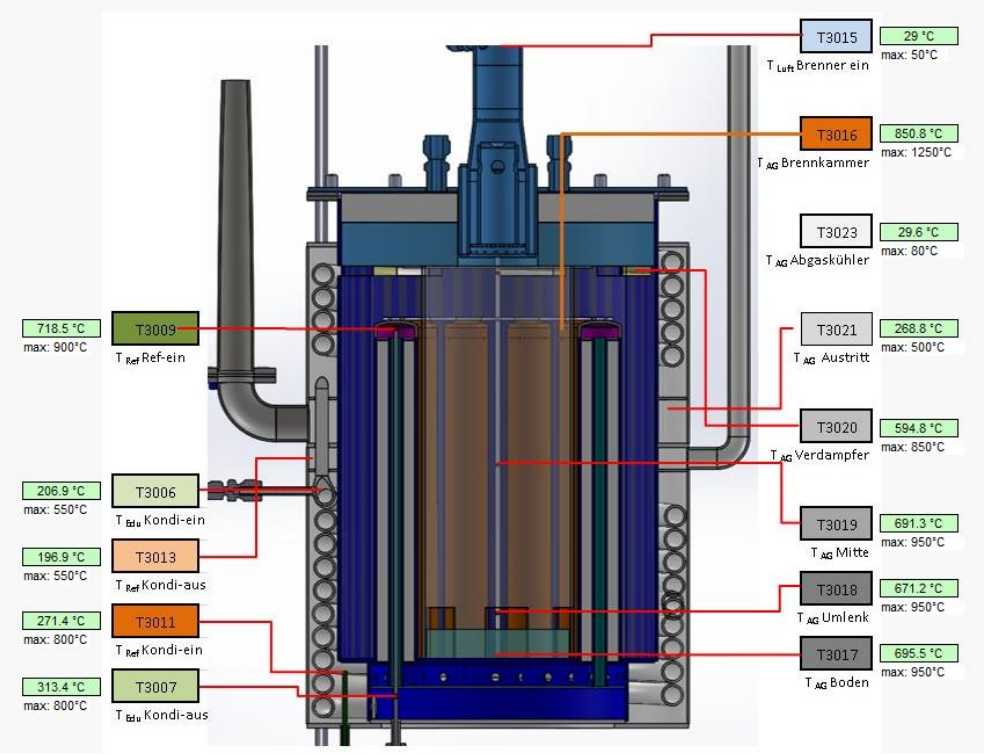
© Fra
Ökotec Anlagenbau GmbH
sunfire
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN
TU BERGAKADEMIE FREIBERG
Fraunhofer IKTS

Projekt ProRegional im mitteldeutschen Revier

Demonstrationsanlage

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

- Erfolgreicher Betrieb des Reformers vom DBI zur Synthesegaserzeugung (Nutzung von CH_4 und CO_2)
- Abgleich der gemessenen Synthesegaszusammensetzung mit thermodyn. Erwartung



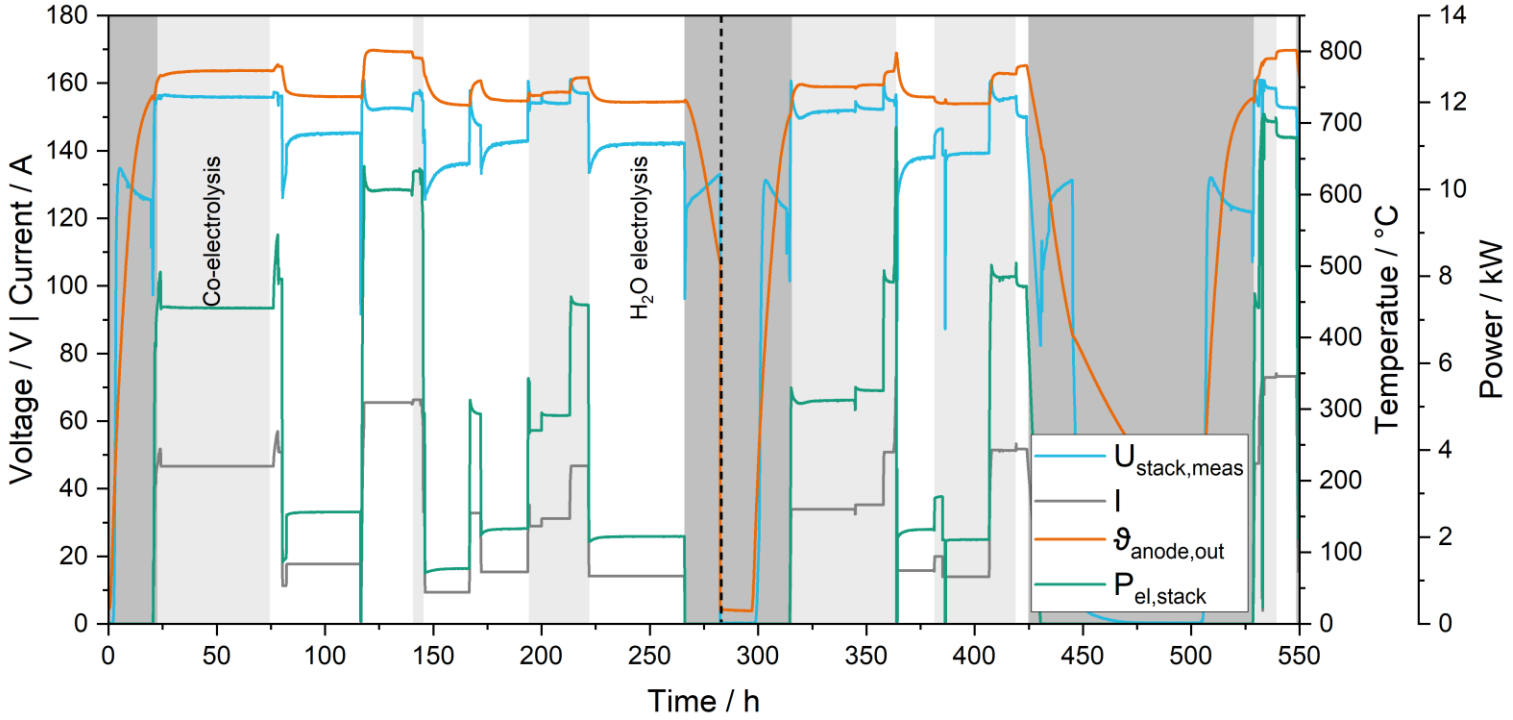
Ökotec Anlagenbau GmbH
sunfire
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN
TU BERGAKADEMIE FREIBERG
Fraunhofer IKTS

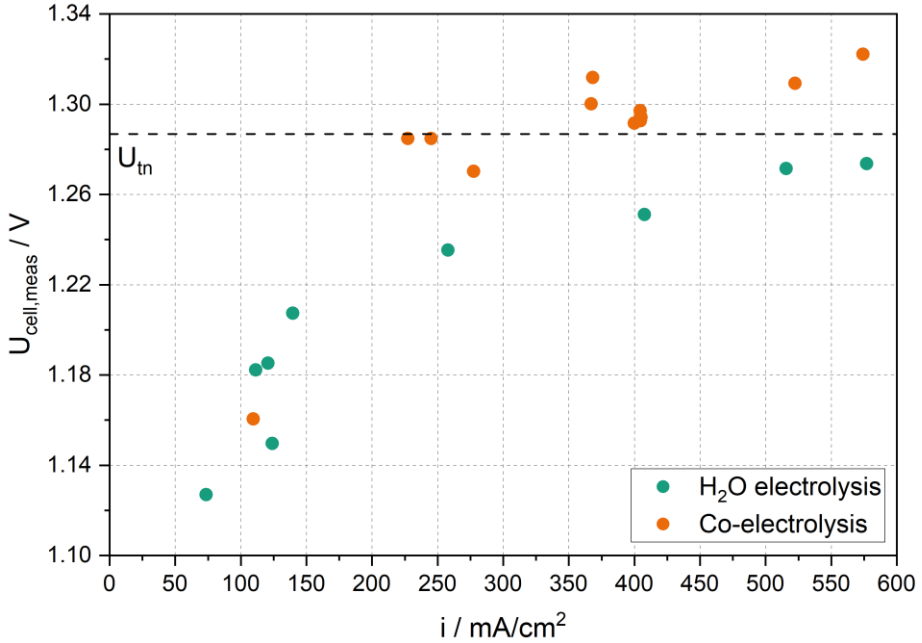
Projekt ProRegional im mitteldeutschen Revier

Demonstrationsanlage

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

- Betrieb der Hochtemperatur-Elektrolyse am Standort in Thallwitz mit einem 10 kW-Modul erfolgreich durchgeführt
- Sowohl Wasserelektrolyse als auch Co-Elektrolyse erfolgreich getestet
- Betrieb der Fischer-Tropsch-Synthese mit dem Synthesegas aus der Co-Elektrolyse in Vorbereitung (FT-Synthese mit Biogas-basiertem Synthesegas bereits gezeigt)

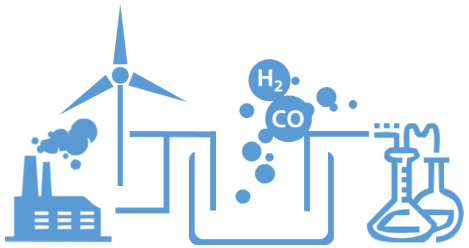




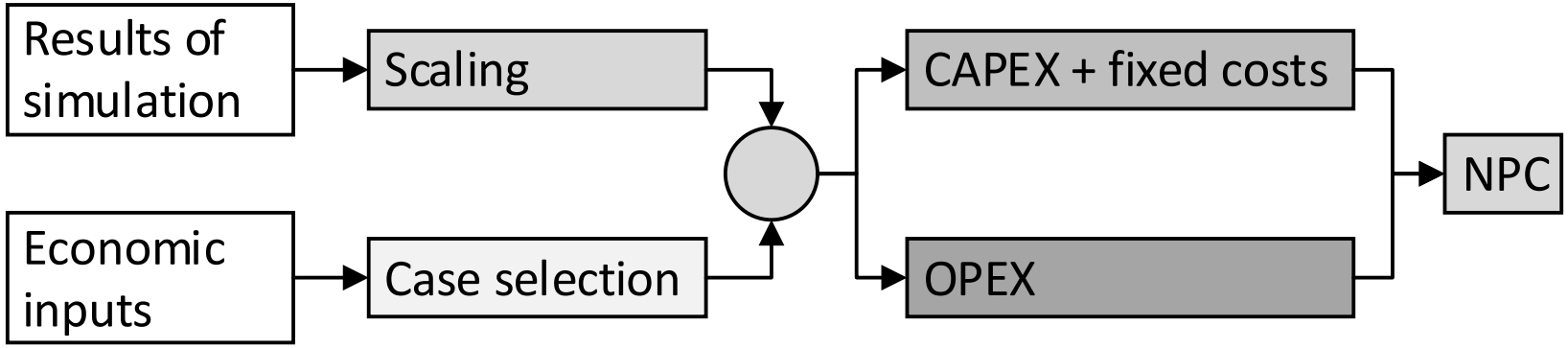
© Fra

Carbon Capture and Utilization

Wirtschaftlichkeitsbewertung



- Die Wirtschaftlichkeit wurde basierend auf Modell- und Literaturdaten analysiert
- Berechnung der Investitionskosten (CAPEX) basierend auf "Total-Cost-of-Investment"-Methode
- Betriebskosten (OPEX) setzten sich aus Rohstoffen, Energiekosten, sonstigen Materialien, Lohn und Wartungskosten zusammen

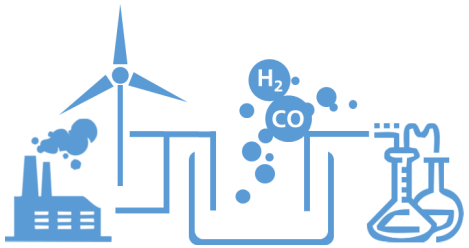


 © Fraunhofer IKTS

Fraunhofer IKTS

Carbon Capture and Utilization

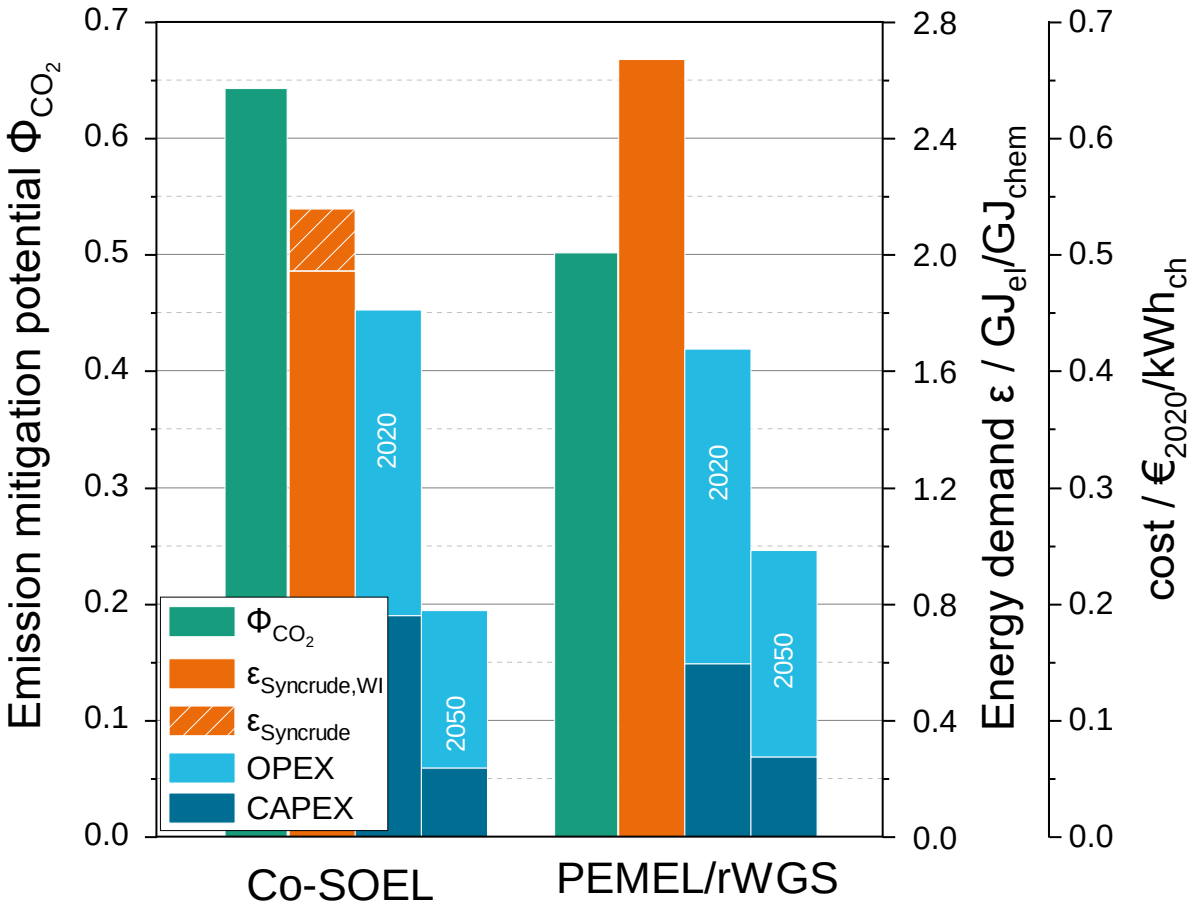
Techno-ökonomische Analyse



- Co-Elektrolyse ermöglicht ein höheres Maß an Stoff- und Wärmeintegration
  → Hohes Emissionsminderungspotential und niedriger Energiebedarf

- SOEL hat höhere Produktionskosten im 2020-Szenario wegen der hohen Zellkosten

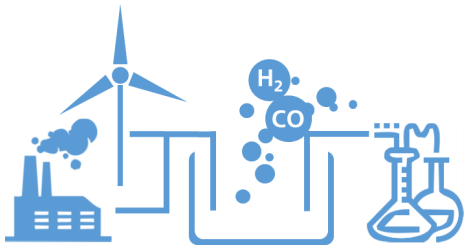
- Im 2050 hat die SOEL durch die hohe Effizienz niedrigere Produktionskosten



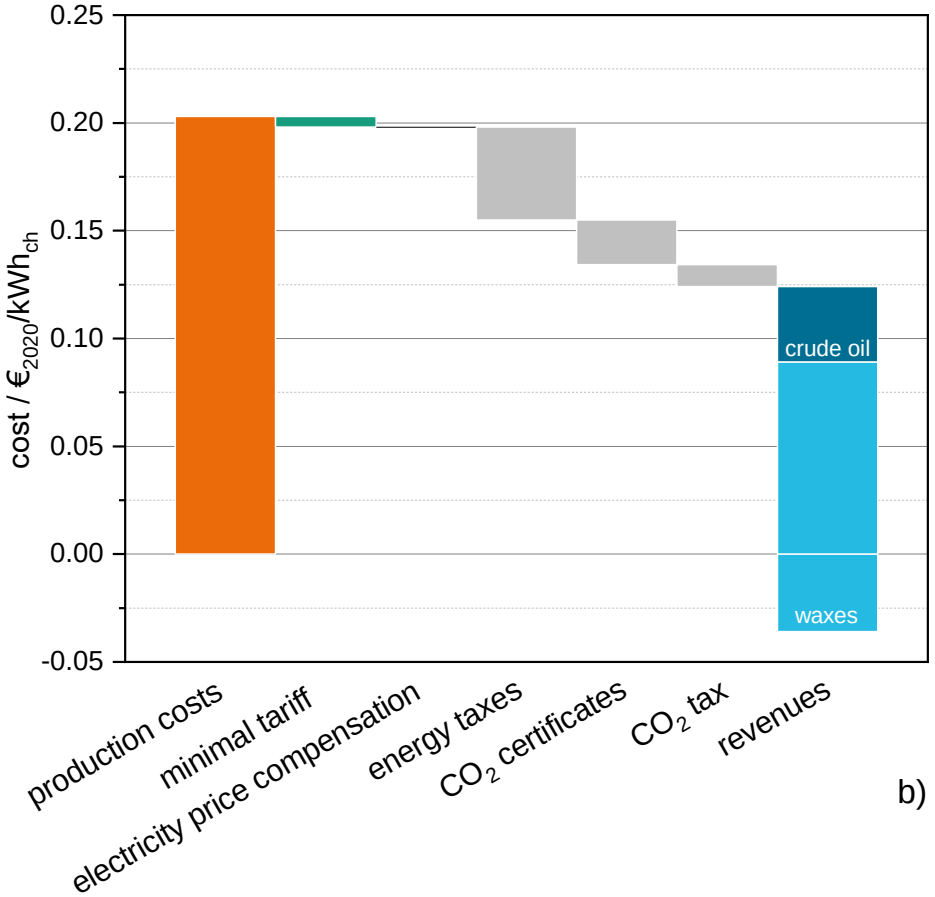
© Fraunhofer IKTS
Fraunhofer IKTS

Carbon Capture and Utilization

Gesetzgeberische Fördermöglichkeiten



- Produktionskosten (0,20 €/kWhch) deutlich höher als Erlös fossiler Alternativen (0,035 €/kWhch)
- Durch staatliche Förderung könnte die Diskrepanz signifikant verringert werden
- Ein hochwertiges Produktspektrum könnte den Markteintritt erleichtern
- Implementierung fester Quoten, z.B. im Bereich Flugkraftstoffe, notwendig (RED II)



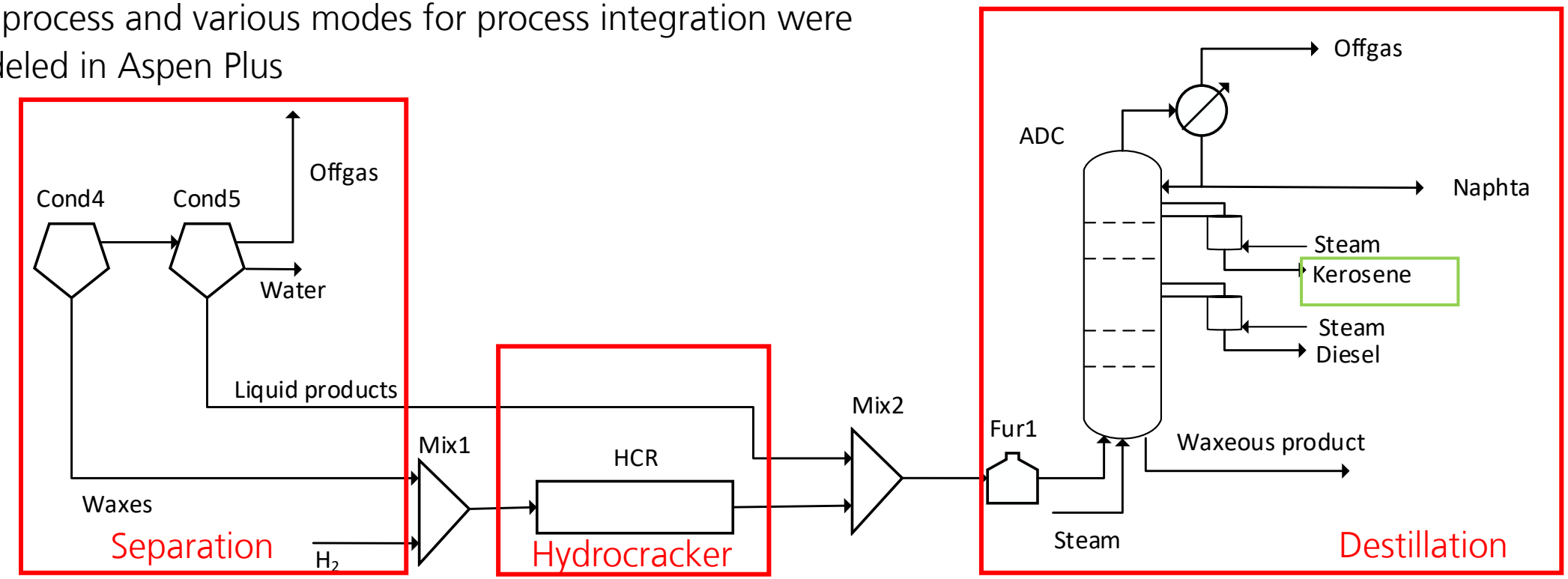
b)

© Fraunhofer IKTS
Fraunhofer IKTS

Carbon Capture and Utilization

Nächste Schritte: Optimierung der Downstreamprozesse für versch. Produkte, z.B. SAFs (e-Kerosin)

- Minimal upgrading process was the basis for process optimization
- The process and various modes for process integration were modeled in Aspen Plus



© Fraunhofer

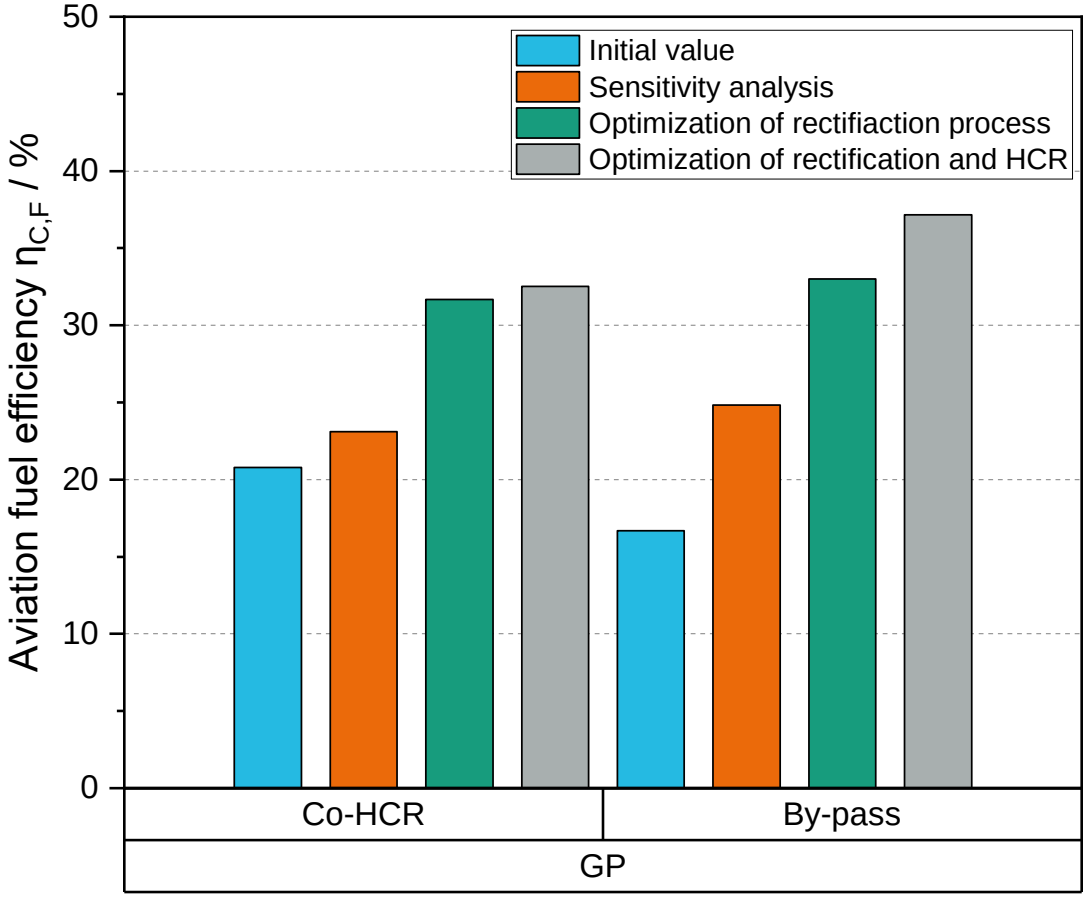
Carbon Capture and Utilization

Nächste Schritte: Optimierung der Downstreamprozesse für versch. Produkte, z.B. SAFs (e-Kerosin)

- The efficiency could be significantly increased by means of sensitivity analysis, but is limited by the computational resources.
- An evolutionary optimization algorithm was implemented to overcome the limitations.
- More suitable operating conditions were found in a significantly reduced time frame

→ Validation of the results in 100 kW plant needed

→ Optimization of the complete process chain



© Fraunhofer
Fraunhofer IKTS

Aktuelle Herausforderungen

Perspektiven für die Raffineriestandorte – Beispiel Schwedt

29. Nov. 2022 | 06:57 Uhr | von Jona Göbelbecker

Nachhaltigere Alternativen nach dem Ölembargo

Fraunhofer-Studie untersucht Zukunft der Raffinerie Schwedt

Der ostdeutsche Raffineriestandort Schwedt steht durch das kommende Ölembargo vor großen Herausforderungen. Eine Fraunhofer-Studie hat nun untersucht, welche zukunftssicheren Alternativen sich für diesen und ähnliche Standorte bieten könnten.

Die Studie entstand im Zusammenhang mit dem Wasserstoff-Leitprojekt Transhyde. (Bild: Wasserstoff-Leitprojekt Transhyde)

Leitprojekt TransHyDE

TransHyDE

Policy Paper

zur Sicherstellung einer mittel- bis langfristigen klimaneutralen Rohstoffversorgung der Raffinerie Schwedt

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

https://www.chemietechnik.de/energie-utilities/fraunhofer-studie-untersucht-zukunft-der-raffinerie-schwedt-916.html

 © Fraunhofer IKTS

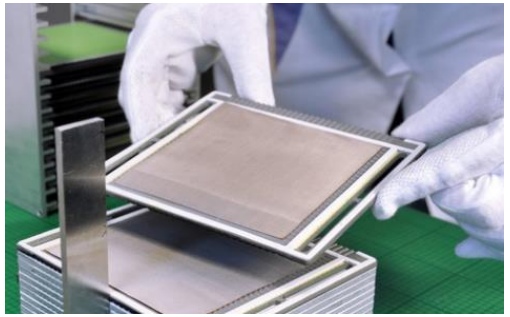
Fraunhofer IKTS

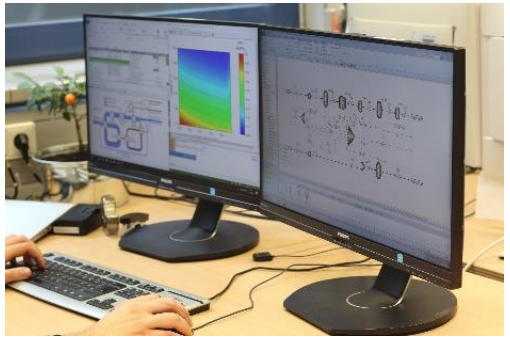
Entwicklung von effizienten PtX-Verfahren

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Industrieanwendungen gehören zu den wichtigen Nutzungsoptionen für grünen Wasserstoff um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren
- Die Hochtemperatur-Co-elektrolyse ermöglicht in Kombination mit der Fischer-Tropsch-Synthese einen hohen stofflichen und energetischen Wirkungsgrad
- Der hohe Kohlenstoffwirkungsgrad konnte m Labor- und Demomaßstab mit der SOEC und der FT-Synthese nachgewiesen werden
- Konzept zum Scale-Up erstellt und Modell für die Wirtschaftlichkeitsberechnung vorhanden





Ausblick

- Scale-Up des PtX Verfahrens auf Basis der SOEC und der FT-Synthese
- Experimenteller Nachweis des energetischen Wirkungsgrades
- Optimierung der Donwstreamprozesse zur Erhöhung der Ausbeute an ausgewählten Zielprodukten (z.B. e-Kerosin)
- Machbarkeitsuntersuchungen zur Transformation des Energiesystems (u.a. im BMBF-Leitprojekt TransHyDE zur Wasserstoffinfrastruktur (Ermittlung der Erzeugungspotentiale und des Bedarfs an grünem Wasserstoff

© Fraunhofer IKTS

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Fraunhofer IKTS

Kontakt

Dr. Matthias Jahn
Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS)
Abteilungsleiter Chemische Verfahrenstechnik

Winterbergstrasse 28 | 01277 Dresden
+49 351 2553-7535 | matthias.jahn@ikts.fraunhofer.de
www.ikts.fraunhofer.de