

SynBioPTx – Synergien biomasse- und strombasierter Technologien

*Workshop im Rahmen der ProcessNet
Energieverfahrenstechnik*



IMPRESSUM**Herausgeber:**

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
 Torgauer Straße 116
 04347 Leipzig
 Telefon: +49 (0)341 2434-112
 Fax: +49 (0)341 2434-133
info@dbfz.de

Förderung:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages

Geschäftsführung:

Prof. Dr. mont. Michael Nelles (Wissenschaftlicher Geschäftsführer)
 Ronny Bonzek (Administrativer Geschäftsführer)

DBFZ Tagungsreader, Nr. 24

SynBioPTx – Synergien biomasse- und strombasierter Technologien
 Workshop im Rahmen der ProcessNet Energieverfahrenstechnik

ISSN: 2199-9856

ISBN: 978-3-946629-85-6

DOI: 10.48480/xqvx-q424

Datum der Veröffentlichung: 21. April 2022

Bilder: DBFZ. Die Rechte für Abbildungen im Rahmen von
 Abstracts und Präsentationen liegen beim Referenten.

Gestaltung: Paul Trainer **DTP:** Rico Ehrentraut

Das DBFZ ist nicht verantwortlich für den Inhalt der eingereichten
 Dokumente. Die Verantwortung für die Texte sowie der Bilder/Grafiken
 liegt bei den Autoren.

Copyright: Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne die
 schriftliche Genehmigung des Herausgebers vervielfältigt oder verbreitet
 werden. Unter dieses Verbot fällt insbesondere auch die gewerbliche
 Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in elektronische Datenbanken
 und die Vervielfältigung auf anderen digitalen Datenträgern.

SynBioPTx – Synergien biomasse- und strombasierter Technologien

Workshop im Rahmen der ProcessNet Energieverfahrenstechnik

04. November 2021 | Online-Workshop, DBFZ

Inhaltsverzeichnis

Grußwort.....6

VORTRÄGE

Dr.-Ing. Franziska Müller-Langer, DBFZ gGmbH

SynBioPTx-Ansätze | Wettbewerber oder Teamplayer?.....8

Marcus Friedel, DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg

Kombiniertes PtX / BtX-Verfahren zur Herstellung von Dimethylether aus Biogas..... 16

Prof. Dr. Nicolaus Dahmen, Karlsruher Institut für Technologie und Institut für Katalysatorforschung und -technologie

Power enhanced BtL – Nutzung des bei Vergasungsprozessen anfallenden CO₂ in integrierten Prozesse..... 26

Prof. Dr. Ralf Peters, Forschungszentrum Jülich GmbH und IEK-14: Institute of Electrochemical Process Engineering

Herstellung von Kerosin über biogene und elektroasierte Prozessrouten..... 36

Dr. Andreas Waibel, CAPHENIA GmbH

Eine neue Kraftstoffroute: Power and Biogas to Liquid 50

Dr. René Backes, BASF AB

Biomasse und Erneuerbare Energien – Nordeuropas Perspektiven 62

Veranstalter 73

Grußwort

Werte Damen und Herren,

Der Handlungsdruck für eine rasche Transformation des Energiesystems hin zu nachhaltigen erneuerbaren Energieträgern und Produkten bei gleichzeitiger signifikanter Reduktion der Treibhausgasemissionen steigt für alle Sektoren enorm. Diese Dekade wird entscheidend sein. Anfänglich sind die Weichen dafür zu stellen und die Technologien noch weiterzuentwickeln, später muss die Implementation im Vordergrund stehen. Um Zuverlässigkeiten zu erhöhen, schwache Glieder in der Kette zu stärken und Kosten zu senken und gleichzeitig Nachhaltigkeit zu erhöhen sind ebenso enorme Forschungsanstrengungen notwendig.

Dabei ist es unabdingbar, den systemischen Blick zu stärken und nachhaltig sinnvolle Pfade zu verfolgen. In diesem Seminar werden beispielhafte SynBioPTx-Ansätze zur Ausnutzung der Synergien von Technologien für biomasse- und strombasiert hergestellte Produkte vorgestellt und diskutiert.

Fokus ist hierbei, die Synergien aus erneuerbarem Strom für die Verwertung des erneuerbarem Kohlenstoffträgers Biomasse zu sogenannten SynBioPTx-Produkten zu nutzen. Dies ermöglicht es höhere Mengenpotenziale, beispielweise für erneuerbare Kohlenwasserstoffe, zu erschließen.

Dank der federführenden Konzeption und Organisation des DBFZ ist es gelungen, Expert*innen aus Forschung und Entwicklung sowie Industrie zu diesem Thema zu gewinnen und es zu einem Thema der Fachgruppe Energieverfahrenstechnik, EVT, innerhalb der ProcessNet Initiative von Dechema und VDI GVC zu machen. Die im Workshop präsentierten Inhalte zur Einordnung der möglichen SynBioPTx-Ansätze wurden Beispiele werden im nachfolgenden Tagungsreader zusammengefasst.

Wir hoffen, dass dieses mit über 50 Teilnehmenden gut besuchte Onlineseminar dazu beigetragen hat, sowohl das fachlich-inhaltliche Thema der Synergien von biomasse- und strombasierten Technologien näher zu beleuchten und einem größeren Interessenskreis bekanntzumachen als auch aufzuzeigen, wie in Pandemiezeiten sehr effizient Wissen online vermittelt und effektiv diskutiert werden kann.

Detlef Stolten (Vorsitzender EVT)

Georg Markowz (stellvertretender Vorsitzender EVT)

Franziska Müller-Langer (DBFZ)

Vorträge

Dr.-Ing. Franziska Müller-Langer, DBFZ gGmbH

SynBioPTx-Ansätze | Wettbewerber oder Teamplayer?

Dr.-Ing. Franziska Müller-Langer

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116

04347 Leipzig

Tel.: +49 (0)341 2434-423

E-Mail: franziska.mueller-langer@dbfz.de

Der Handlungsdruck die Klimaziele bis 2030 zu erreichen und gleichzeitig den weiteren Zielen im EU Green Deal Rechnung zu tragen ist größer denn je. Alle Sektoren stehen vor sehr großen Herausforderungen und sind gezwungen neben Fragen der Ressourcenschonung und Circular Economy alle erneuerbaren Kohlenstoffträger und Energien gleichermaßen zu berücksichtigen. Gleichzeitig beeinflusst die Rahmenpolitik auf Europäischer und nationaler Ebene die Entwicklungen des Marktes und den Wettbewerb der Marktteilnehmer deutlich. Besonders zeigt sich dies derzeit beispielsweise über die sog. Treibhausgasminierungsquote im Verkehr sowie die Perspektiven der Erneuerbaren-Energien-Direktive (kurz RED III).

Auf Verfahrens- und Technologieebene gilt es nicht nur die Edukte und Produkte zu diversifizieren, sondern viel stärker als bisher auch komplexe Technologieoptionen und Hybridansätze umzusetzen, ohne die die Ziele nicht erreichbar sind. SynBioPTx steht für die Ausnutzung der bislang nur unzureichend ausgeschöpften Synergien von biomasse- und strombasierten Technologien respektive daraus resultierenden Produkten für eine stoffliche und energetische Verwertung. Naheliegende Bindeglieder aus verfahrenstechnischer Sicht liegen insbesondere bei katalytischen Produktsynthesen (z.B. über erneuerbaren Kohlenstoff bzw. CO/CO₂ und elektrolytisch erzeugtem grünen Wasserstoff) und der Produktaufbereitung zu Kraftstoffen oder Chemikalien (z.B. über Hy-

drotreatment). Beispiele hierfür sind die Nutzung von biogenem CO₂ aus bestehenden Biomethan-/Bioethanolanlagen zusammen oder die Nutzung von elektrolytischem Wasserstoff in Hydrotreatmentprozessen zur Aufbereitung von Fettsäuren oder sog. Biorohölen aus thermo-chemischen Prozessen oder von Synthesewischenprodukten. Deutlich wird, dass sich dabei gleichzeitig weitere Flexibilisierungsoptionen in der Energie- und Produktbereitstellung ergeben können.

Sog. BTx und PTx können – wie eine vereinfachte Gegenüberstellung der spezifischen Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken (kurz SWOT) zeigt – gleichermaßen Teamplayer und Wettbewerber sein. Um die Synergien und damit Potenziale zu erschließen, ist die konsequente Umsetzung einer Reihe von FuE-Themen erforderlich. Diese adressieren maßgeblich die Säulen (i) Potenziale, (ii) Technologien, (iii) Anwendung (iv) wissenschaftliche Begleitung sowie (v) Vernetzung und FuE-Plattform.

Auch das DBFZ beschäftigt sich gemeinsam mit Projektpartnern in verschiedenen Vorhaben mit dem Thema SynBioPTx. Prominente Beispiele hierfür sind PTG-HEFA und Pilot-SBG, in denen jeweils insbes. Kraftstoffe für den Verkehr im Fokus stehen, jedoch auch weitere Koppelprodukte relevant sind für erfolgversprechende Verwertungskonzepte.

DBFZ

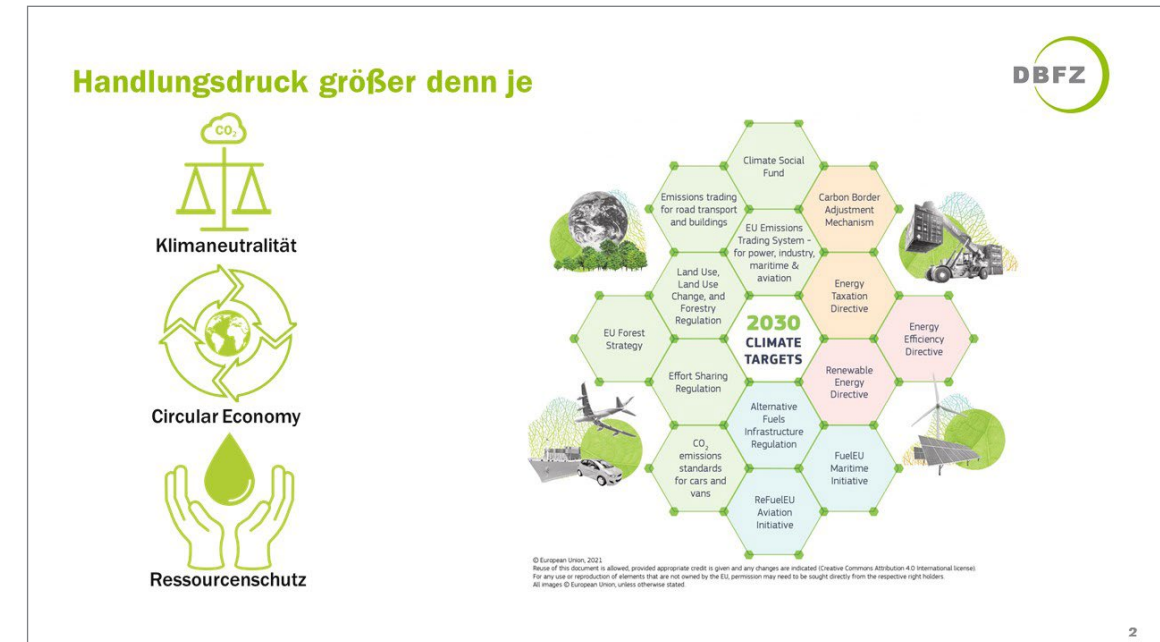
Deutsches Biomasseforschungszentrum

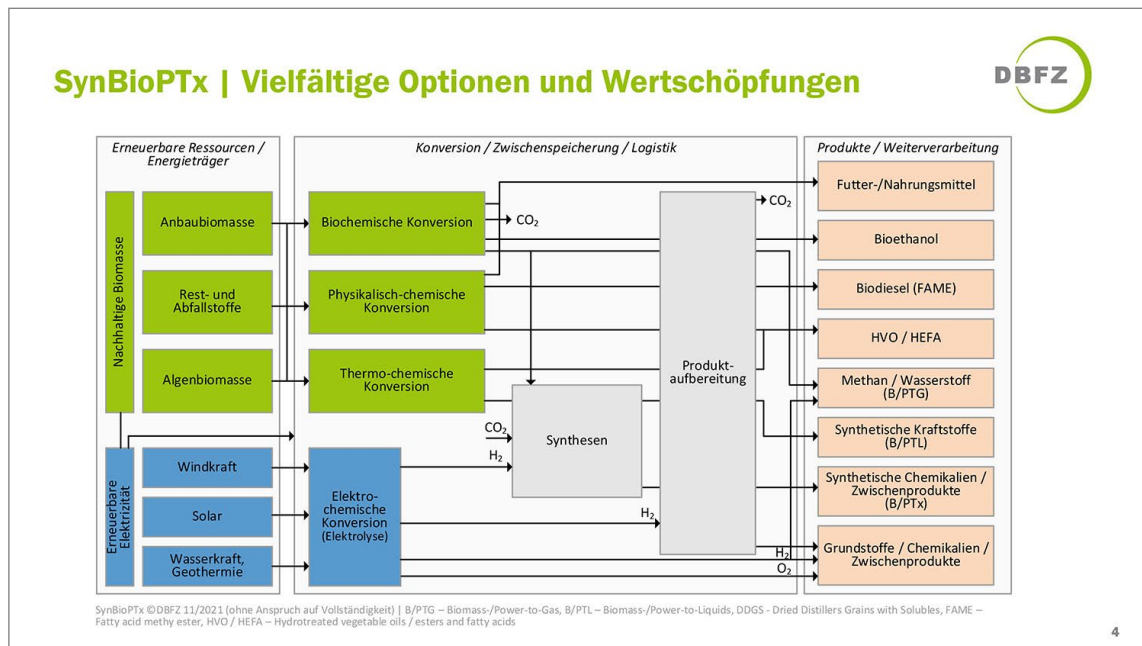
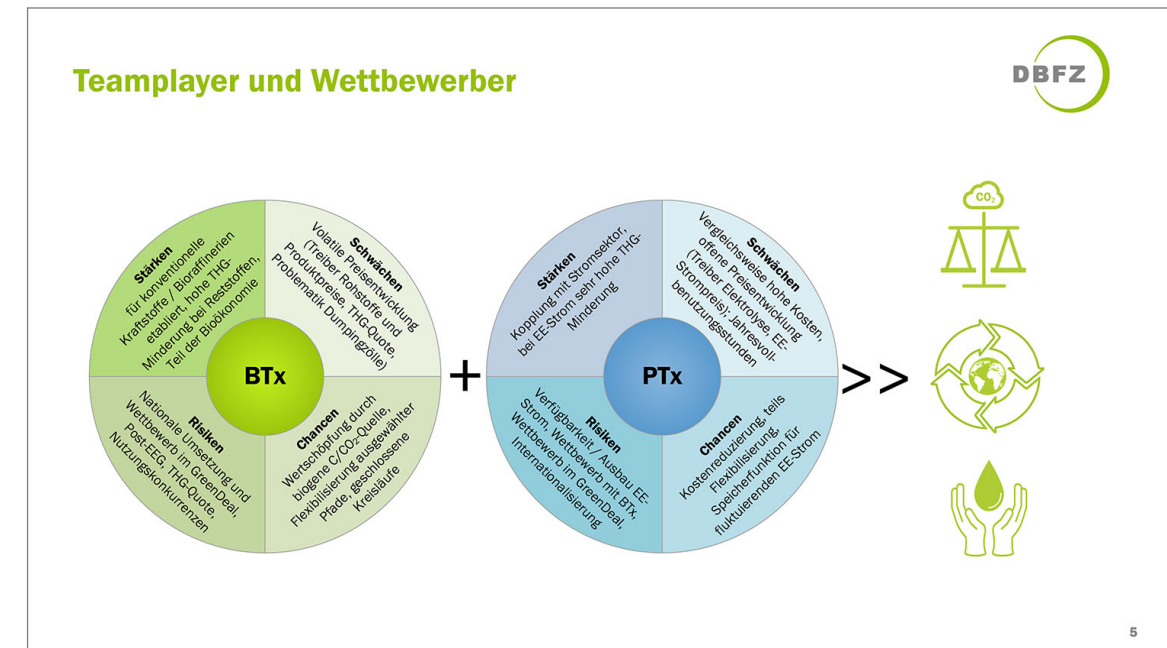
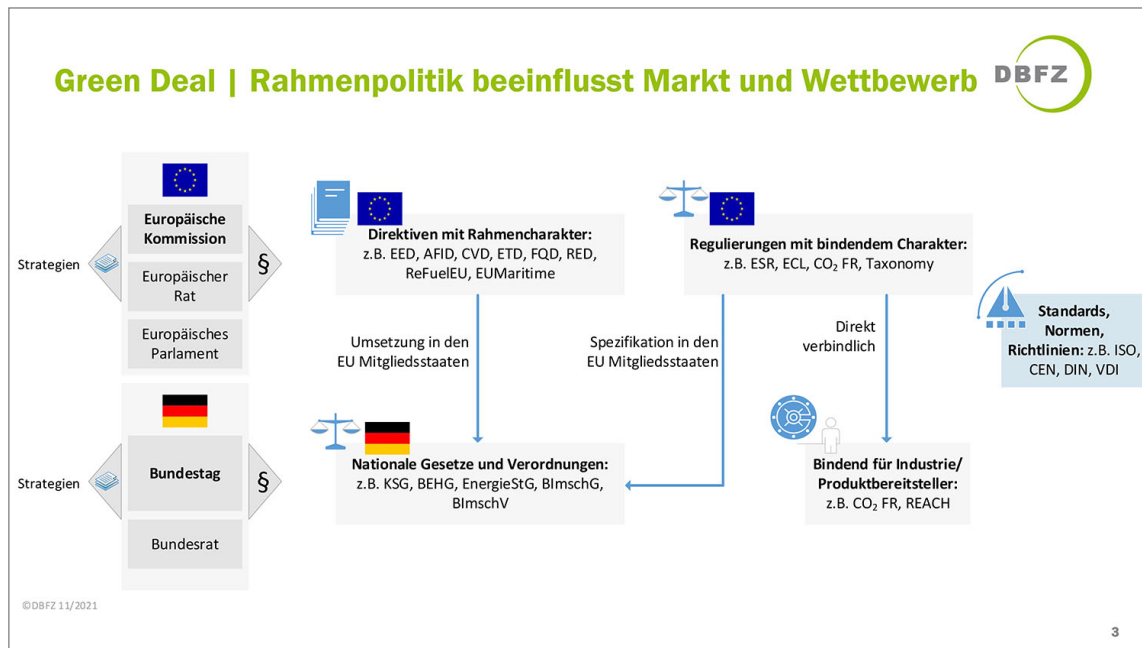
SynBioPTx-Ansätze | Wettbewerber oder Teamplayer?

Impuls




Franziska Müller-Langer | SynBioPTx - Synergien biomasse- und strombasierter Technologien | DECHEMA ProcessNet EVT | 04.11.2021 | Online







Vorhaben zu SynBioPTx am DBFZ



- PTG-HEFA** | Machbarkeitsanalyse für eine PTG-HEFA Hybridraffinerie in Deutschland | BMVI | 11/2015 bis 02/2017
- PILOT-SBG** | Bioressourcen und Wasserstoff zu Methan als Kraftstoff
Konzeptionierung und Realisierung einer Anlage im Pilotmaßstab | BMVI
09/2018 bis 12/2022 (Phase 1a)
- DEMO-SPK** | Forschungs- und Demonstrationsvorhaben zum Einsatz von erneuerbarem Kerosin am Flughafen Leipzig/Halle | BMVI im Rahmen MKS | 11/2016 bis 06/2020
- FERMENTHEN** | Alkenproduktion aus Biogas zur Nutzung von Überschussstrom | SAB | 10/2016 bis 03/2020

DBFZ // BEREICH BIORAFFINERIE

7

Pilot-SBG | Methan für den Verkehr




- Klimafreundliches, erneuerbares Methan als Kraftstoff
- Innovatives Verfahrenskonzept nach Zero-Waste-Ansatz
- Nutzung von Rest- und Abfallstoffen zur Biokraftstoffherstellung
- Strom & grüner Wasserstoff


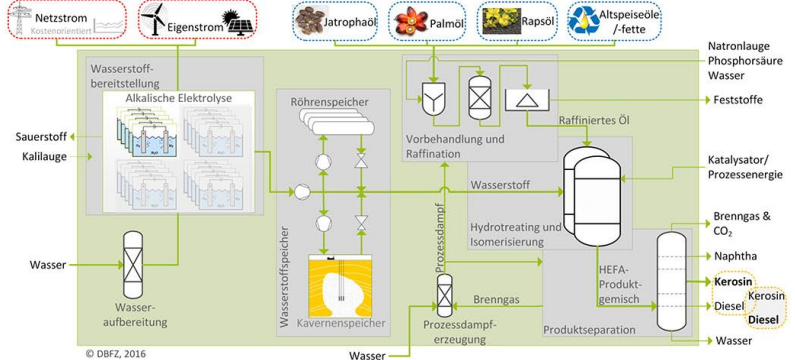


- Konzeptionierung und Realisierung einer Pilotanlage als FuE-Technologieplattform für fortschrittliches Methan als Kraftstoff für den Verkehrssektor.
- Machbarkeitsstudie für weiterführende kommerzielle Verwertung des Gesamtkonzeptes

www.dbfz.de/projektseiten/pilot-sbg

8

PTG-HEFA | Kerosin aus einer Hybridraffinerie


Betrachtung 10 verschiedener Szenarien zu

- Strombezug
- Rohstoffe
- Zielprodukte

<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/MKS/machbarkeitsanalyse-ptg-hefa-hybridraffinerie.html>

9

Fazit



- GreenDeal stellt alle Sektoren vor sehr große Herausforderungen
- Puzzlestrategie >> alle erneuerbaren Optionen erforderlich
- Edukt- und Produktdiversifizierung und Notwendigkeit auch komplexere Technologieoptionen umzusetzen
- Biomasse- und strombasierte Technologien mit einer Reihe bislang ungenutzter Synergien
- Höheres Potenzial an erneuerbarem Kohlenstoff (C) erschließbar bei gleichzeitig neuen Flexibilisierungsoptionen
- Kurz- bis mittelfristig Erweiterung bestehender Wertschöpfungsketten über biogenes CO₂ aus Biomethan- und Bioethanolanlagen realisierbar
- Markteintrittsbedingungen kurzfristig v.a. über THG-Quote und Perspektive REDIII im Verkehr

10

Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH



Smart Bioenergy – Innovationen für eine nachhaltige Zukunft

Ansprechpartnerin
Dr.-Ing. Franziska Müller-Langer

Bereichsleiterin Bioraffinerien &
Forschungsschwerpunkt
Biobasierte Produkte und Kraftstoffe

+49 (0)341 2434-423
franziska.mueller-langer@dbfz.de

PERSONAL & STANDORT 256 Mitarbeitende Leipzig, Deutschland	FINANZEN 19,6 Mio. Grundfinanzierung durch BMEL zzgl. 10,9 Millionen Euro Drittmittel	PROJEKTE >100 bearbeitete Forschungsprojekte <small>(jährlich)</small>
OUTPUT 70 peer reviewed Publikationen <small>(jährlich)</small> (inkl. Open Access)	FORSCHUNGSTHEMA  Die energetische und integrierte stoffliche Nutzung von Biomasse	FORSCHUNGSKONZEPT  Smart Bioenergy www.smart-bioenergy.de

Marcus Friedel, DBI – Gastecnologisches Institut gGmbH Freiberg

Kombiniertes PtX / BtX-Verfahren zur Herstellung von Dimethylether aus Biogas

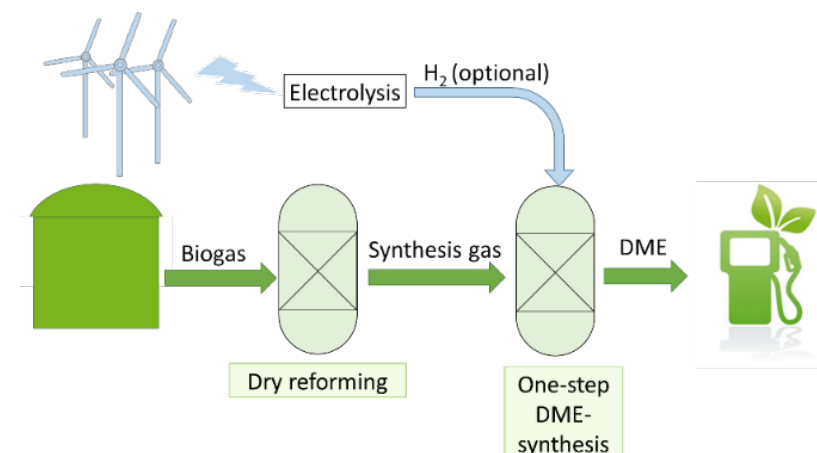
Marcus Friedel

DBI – Gastecnologisches Institut gGmbH Freiberg
Halsbrücker Straße 34
09599 Freiberg
Tel.: +49 (0) 3731 4195 351
E-Mail: marcus.friedel@dbi-gruppe.de

Dimethylether (DME) ist ein vielversprechender Energieträger, da dieser sehr effizient sowohl aus Erdgas aber auch nachhaltig aus Biogas synthetisiert werden kann. DME kann ähnlich wie Flüssiggas bereits bei geringem Druck verflüssigt werden. Über die damit verbundene gute Transport- und Speichereffizienz hinaus, wird durch die günstige Molekülstruktur eine schadstoffarme motorische Verbrennung erreicht. Durch die Kombination aus hoher Energiedichte, hervorragenden Verbrennungseigenschaften und effizienten Herstellungsrouten kann DME als Ersatz oder Zusatz im Kraftstoffmarkt, insbesondere für Autogas/LPG eingesetzt werden. Weiterhin besitzt DME eine sehr hohe Cetanzahl und ist daher besonders für dieselbetriebene Fahrzeuge im Schwerlastsektor eine hochinteressante Alternative.

Aufbauend auf den bekannten Möglichkeiten zur Erzeugung von DME wurde ein effizientes, einstufiges Verfahren zur Erzeugung von vollständig regenerativem DME aus Biogas entwickelt. Weiterhin kann in Zeiten, wenn überschüssiger Strom aus volatilen Erneuerbaren Energieträgern vorliegt, Wasserstoff, der via Elektrolyse gewonnen wird, genutzt werden, um die DME-Produktion in diesem flexibel operierenden Prozess weiter zu steigern. Durch die erfolgreiche Inbetriebnahme einer kontinuierlich arbeitenden, kleintechnischen Versuchsanlage konnte gezeigt werden, dass DME nachhaltig aus Biogas hergestellt werden kann und zusätzlicher Wasserstoff die Effizienz signifikant steigert. Die vielversprechenden Ergebnisse werden genutzt, um eine containerintegrierte Demonstrationsanlage zu entwickeln.

Erzeugung von DME aus erneuerbaren Rohstoffe



©2021 Marcus Friedel, DBI – Gastecnologisches Institut gGmbH Freiberg

Energie mit Zukunft.
Umwelt und Verantwortung. **DBI**

„Kombiniertes PtX / BtX-Verfahren zur Herstellung von Dimethylether aus Biogas“

Marcus Friedel

DBI - Gastecnologisches Institut gGmbH Freiberg

ProcessNet EVT Online-Workshop "SynBioPTx - Synergien biomasse- und strombasierter Technologien"

Freiberg, 04.11.2021



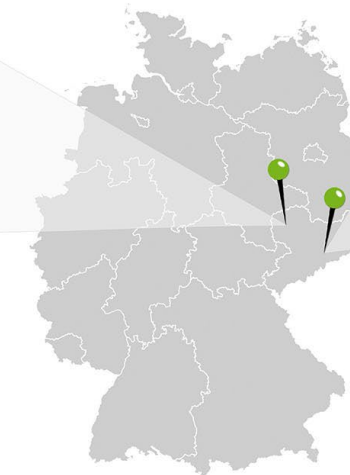
Standorte



Leipzig

DBI Gas- und
Umwelttechnik GmbH

Karl-Heine-Straße 109/111
D-04229 Leipzig



Freiberg

DBI - Gastecnologisches
Institut gGmbH Freiberg


Halsbrücker Straße 34
D-09599 Freiberg


04.11.2021

ProcessNet EVT Online-Workshop

2



Unternehmensstruktur der DBI-Gruppe





Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
Technisch-wissenschaftlicher Verein

Die DBI-Gruppe im DVGW e.V.

DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH

- 100% Tochterunternehmen des Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
- Privatwirtschaftliches Unternehmen
- Engineering, Consulting sowie industrieorientierte Forschung und Entwicklung
- Akkreditiertes chemisches Labor

DBI - Gastecnologisches Institut gGmbH Freiberg

- 100% Tochterunternehmen der DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH
- Gemeinnützige Forschungseinrichtung
- Grundlagen- und angewandte Forschung
- Akkreditiertes Prüflabor und Weiterbildung


04.11.2021 ProcessNet EVT Online-Workshop 3

Fachbereiche in der DBI-Gruppe






Gasförderung
Gasspeicherung



Gaschemie
Gasaufbereitung



Gasnetze
Gasanlagen



Energieversorgungssysteme / EE



Gasanwendung -
Thermoprosesstechnik



DVGW-Prüflaboratorium
Energie




Gasverfahrenstechnik



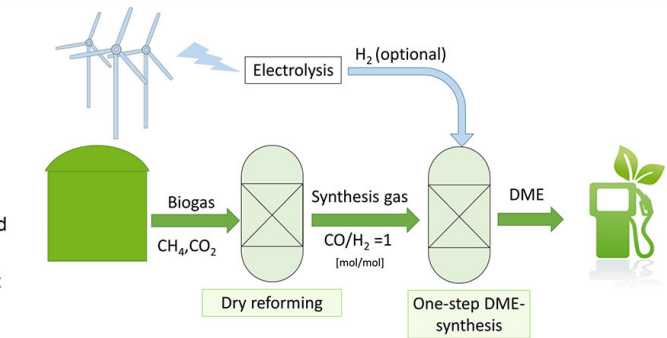
Freiberger DVGW-
Trainingszentrum Erdgas

04.11.2021 ProcessNet EVT Online-Workshop 4

Projektansatz



- DME-Dimethylether
 - farb- und geruchloses Gas
 - ungiftig
 - leicht entzündlich in Luft
- Dezentrale Erzeugung von DME
 - Nachhaltige Herstellung aus Biogas und Wasserstoff (optional)
 - Vergleichsweise hohe Wirtschaftlichkeit aufgrund hoher Auslastung
 - Beitrag zur Stabilisierung des Stromnetzes
 - Sektorenkopplung (EE-Strom-“Transfer“ in Chemie- und Verkehrssektor)




T = 250 °C , p = 50 bar

$$CO + 2H_2 \leftrightarrow CH_3OH \quad \Delta_r H^0 = -91 kJ / mol$$

$$2CH_3OH \leftrightarrow CH_3OCH_3 + H_2O \quad \Delta_r H^0 = -24 kJ / mol$$

04.11.2021 ProcessNet EVT Online-Workshop

DME Anwendung und Perspektiven



- Konventionelle Nutzung von DME (Beispiele):
 - Rohstoff für chemische Industrie
 - Treibgas in Spraydosen
 - Brennstoff (Beimischung zu LPG bis zu 20 Vol.%, China)
- **DME für LPG**
 - Zu Flüssiggas ähnliche Eigenschaften,
 - > Nachhaltige Alternative zu LPG (vgl. E10, Biodiesel)
- **DME für Diesel**
 - Hohe Cetanzahl (55 bis 60), Umrüstung möglich
 - > Dieseleratz insbesondere für Schwerlastverkehr, Landmaschinen, Baufahrzeuge

Chancen „grünes“ DME
-> Gute Verbrennungseigenschaften (geringe Emission von Ruß/NO_x)
-> CO₂-Footprint

Deutschland: 9.300 Biogasanlagen
-> ca. 340 PJ
(Quelle: Fachverband Biogas e.V.)

↓ 20 % der Produktion

DME-Erzeugung gemäß Projekt

- Prozesssimulation mit CHEMCAD
- 5.500 h/p.a. (Biogas)
- 2.500 h/p.a. (Biogas + H₂)
- η_{th} = 71 %

↓

DME -> 1,7 Mio. tonnen / 48,3 PJ

LPG-Absatz in Deutschland 2017*

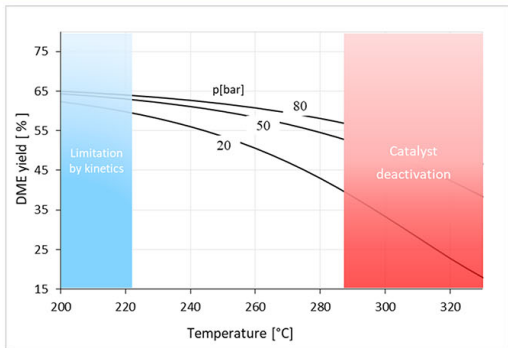
- Brenngas (Industrie + Haushalt) = 33,3 PJ
- Autogas = 6,7 PJ
- Treibgas = 0,05 Mio. Tonnen

* Angaben für DVGW-Mitgliedsunternehmen, 2017

04.11.2021 ProcessNet EVT Online-Workshop

Projekthinhalte Phase 1

- **Thermodynamische Simulation**
- Untersuchungen im Labormaßstab
 - Katalysatorscreening (kommerzielle Katalysatoren)
 - Kinetische Untersuchung
- Modellentwicklung
- Reaktormodellierung
 - Stationär
 - Dynamisch (Änderung: Biogas \leftrightarrow Biogas+ H₂)
- Entwicklung kleintechnische Versuchsanlage



Berechnete DME-Ausbeuten im thermodynamisch Gleichgewicht Feed: CO/H₂=1 [mol/mol]

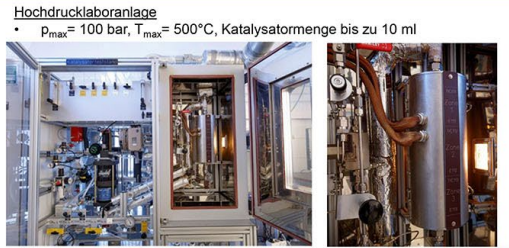
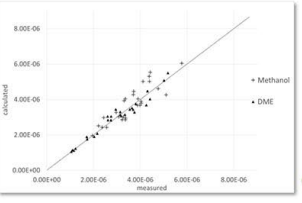
- Prozessbedingungen
 - T = 220 bis zu 280 °C
 - p = 50 bar

04.11.2021 ProcessNet EVT Online-Workshop

Projekthinhalte Phase 1

- Thermodynamische Simulation
- **Untersuchungen im Labormaßstab**
 - Katalysatorscreening (kommerzielle Katalysatoren)
 - Kinetische Untersuchung
- **Modellentwicklung**
- Reaktormodellierung
 - Stationär
 - Dynamisch (Änderung: Biogas \leftrightarrow Biogas+ H₂)
- Entwicklung kleintechnische Versuchsanlage

Hochdrucklaboranlage
 • P_{max} = 100 bar, T_{max} = 500°C, Katalysatormenge bis zu 10 ml

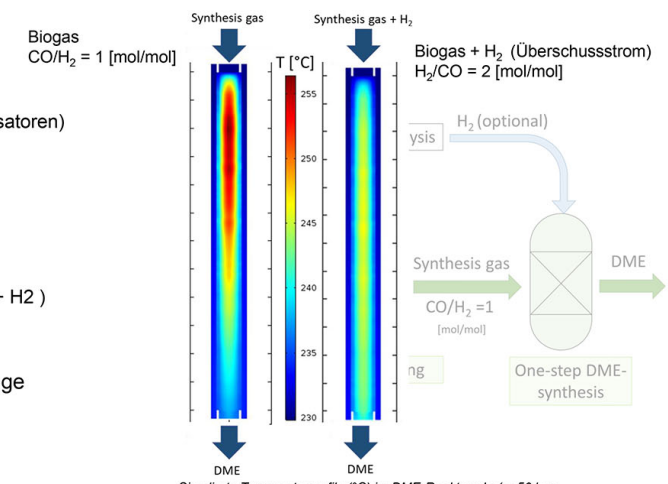



Reaktionsgeschwindigkeit
 $dr = k(T) \cdot p^n$

04.11.2021 ProcessNet EVT Online-Workshop

Projekthinhalte Phase 1

- Thermodynamische Simulation
- Untersuchungen im Labormaßstab
 - Katalysatorscreening (kommerzielle Katalysatoren)
 - Kinetische Untersuchung
- Modellentwicklung
- **Reaktormodellierung**
 - Stationär
 - Dynamisch (Änderung: Biogas \leftrightarrow Biogas+ H₂)
- Entwicklung kleintechnische Versuchsanlage



Biogas CO/H₂ = 1 [mol/mol]

Synthesis gas

Synthesis gas + H₂

Biogas + H₂ (Überschussstrom) H₂/CO = 2 [mol/mol]

H₂ (optional)

Synthesis gas CO/H₂ = 1 [mol/mol]

DME


One-step DME-synthesis

Simulierte Temperaturprofile (°C) im DME-Reaktorrohr (p=50 bar, T_{Eintritt} = 230 °C, H₂/CO = 1 (l.) und H₂/CO = 2 (r.))

04.11.2021 ProcessNet EVT Online-Workshop

Projekthinhalte Phase 1


- Entwicklungsarbeit DBI
 - Planung, Auslegung, Dokumentation
 - Bau und Inbetriebnahme
 - Testbetrieb
- Auslegungsdaten:
 - p_{max} = 65 bar
 - T_{max} = 350 °C
 - ca.1 Liter Katalysator
 - Thermoöl gekühlter Festbettreaktor
 - Reaktionszone: 2 x 1.000 mm
 - einfach skalierbar (Rohrbündelreaktor)
- DME-Produktion ca. 5 kg/d (ohne Rückführung)



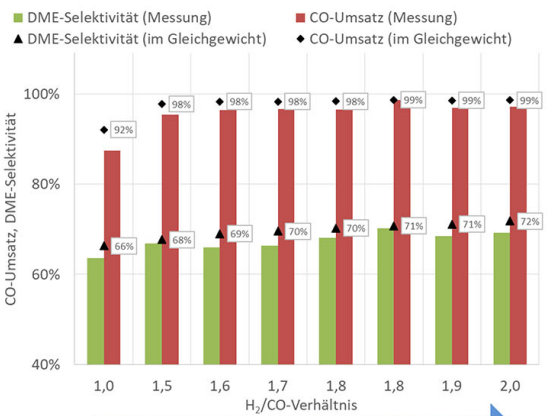
Kleintechnische Versuchsanlage zur DME-Produktion DBI - Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg

04.11.2021 ProcessNet EVT Online-Workshop

Projekthinhalte Phase 1




- Erfolgreiche Inbetriebnahme
- Highlights
 - Hohe Effizienz (DME-Ausbeute nahe dem thermodynamischen Gleichgewicht)
 - Zusätzlicher Wasserstoff steigert die Ausbeute
 - Schnelles Umschalten möglich
 - Biogas ↔ Biogas + H₂ (< 2 Minuten)
 - Dynamischer Betrieb nachgewiesen!
 - Stabiler Prozess über die gesamte Betriebszeit



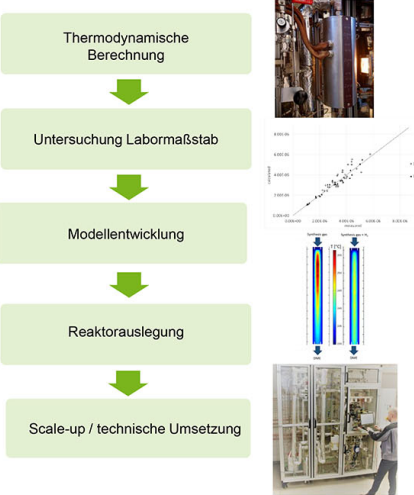
Gemessene und thermodynamisch berechnete DME-Selektivität und CO-Umsatz in Abhängigkeit verschiedener H₂/CO-Verhältnisse (50 bar)

04.11.2021 ProcessNet EVT Online-Workshop 11

Projekthinhalte Phase 1




- Dynamische Produktion von DME aus Biogas und volatilem H₂ aus EE möglich
 - Synthesegasproduktion durch trockene Reformierung
 - Verwendung kommerzieller Katalysatoren
 - Auslegung und Test einer kleintechnischen Versuchsanlage
 - Erfolgreiche Inbetriebnahme
 - Stabiler Prozess
 - Hohe Effizienz
- Abschluss Phase 1 nach erfolgreicher Inbetriebnahme
- Beginn Phase 2

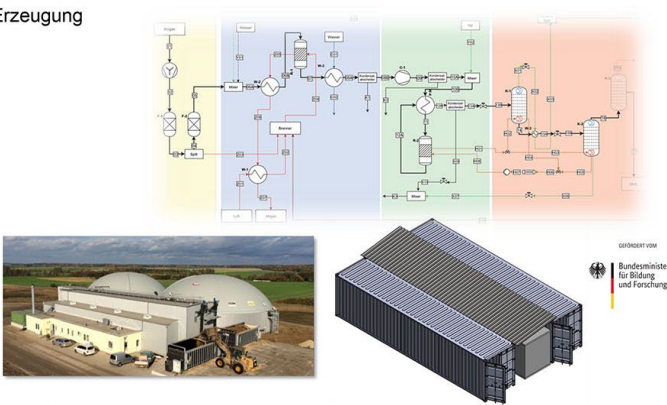



04.11.2021 ProcessNet EVT Online-Workshop


Zielstellung Phase 2 (Projekt: „FlexDME“)



- Phase 2:
 - Einwicklung einer Gesamtanlage zur DME-Erzeugung aus Biogas und volatilem H₂ aus EE
 - Installation an einer Biogasanlage
 - Inklusive aller Module:
 - Biogasreinigung, Reformier, DME-Reaktor, Produktaufbereitung
 - Techn. Zielparameter
 - DME-Produktion 40 Tonnen/p.a.
 - Wechsel der Betriebsmodi: < 0,5 Stunden
 - Betriebsstunden: > 1.000 h
 - Beginn der Tests der Einzelmodule 2021
 - Inbetriebnahme Gesamtanlage 2022

04.11.2021 ProcessNet EVT Online-Workshop

Energie mit Zukunft. Umwelt und Verantwortung. 

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!


Ihr Ansprechpartner

Marcus Friedel
Projektleiter

DBI - Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg
Halsbrücker Straße 34
D-09599 Freiberg

Web: www.dbi-gruppe.de
Tel.: (+49) 3731 4195 - 351
E-Mail: Marcus.Friedel@dbi-gruppe.de

Besucheradresse: Karl-Heine-Straße 109/111, D-04229 Leipzig



Quellangaben



Bildquellen

- fotolia.com
Andrzej Thiel, alex.pin, Carolina K Smith MD, johannesspreter, JiSign, Robert Kneschke
- iStock.com
hidesy, ImagineGolf, OlegFedorenko
- AdobeStock
Scanrail
- Fotograf Roland Horn

Prof. Dr. Nicolaus Dahmen, Karlsruher Institut für Technologie und Institut für Katalysatorforschung und -technologie

Power enhanced BtL – Nutzung des bei Vergasungsprozessen anfallenden CO₂ in integrierten Prozesse

Prof. Dr. Nicolaus Dahmen

Institut für Katalysatorforschung und -technologie (IKFT)

Hermann-von-Helmholtz-Platz 1

76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Tel.: +49 721 608-22596

E-Mail: nicolaus.dahmen@kit.edu

In Biomass-to-liquids-Prozessen fallen je nach Verfahren unterschiedlich große CO₂-Emissionen an. An Fallbeispielen aus aktuellen Projekten wird gezeigt, inwieweit diese durch Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff wieder in den Prozess zurückgebracht werden können, um die Produktausbeute und Kohlenstoffeffizienz zu erhöhen. Dabei kann der Wasserstoff mit CO₂ entweder zur Synthesegas umgewandelt werden (reverse water gas shift reaction) oder direkt bei der Vergasung oder Synthese zugegeben werden. Beispiele sind das am KIT entwickelte bioliq-Verfahren und die Fermentation von Synthesegas zu C₄-Produkten (EU ECRIA-Projekt AMBITION)

bei denen sowohl das in der Synthesegaserzeugung als auch das bei der Fermentation anfallende CO₂ genutzt werden können. Es zeigt sich, dass bei idealen Bedingungen die Mehrkosten für den Wasserstoff durch die vergrößerte Produktmenge kompensiert werden kann. Andererseits bestehen große Unsicherheiten bezüglich der Effizienzen und Herstellungskosten durch die Wahl der Rahmenbedingungen, der Parameterwerte, und des technischen Aufwandes für die verschiedenen Verfahren. Eine bessere Vergleichbarkeit lässt sich durch harmonisierte Prozess- und Kostenmodelle erreichen, an denen am KIT gearbeitet wird.



KIT
Karlsruher Institut für Technologie

Online workshop 4.11.1021: SynBioPtX –
Synergien biomasse- und strombasierter Technologien

Power enhanced BtL – Nutzung des bei Vergasungsprozessen anfallenden CO₂ in integrierten Prozessen

Prof. Dr. Nicolaus Dahmen



KIT – Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft


www.kit.edu

Outline

- Motivation: complete transformation of bio-carbon into products
- Case studies from recent projects based on process simulations
 - bioliq process boosted by hydrogen
 - Fischer-Tropsch synthesis
 - Methanol-to-gasoline process
 - Direct biomass gasification with FT-synthesis
 - Syngas fermentation for C₄-products
- Conclusions



PBtL - Expectations




Lignocellulose gasification	$C_6H_8O_4 + 2 O_2 \rightarrow 5.2 CO + 2.8 H_2 + 0.8 CO_2 + 1.2 H_2O$
Water-gas-shift	$2.5 CO + 2.5 H_2O \rightleftharpoons 2.5 CO_2 + 2.5 H_2$
Sum after shift	$C_6H_8O_4 + 2 O_2 \rightarrow 2.7 CO + 5.3 H_2 + 3.3 CO_2$
BtL synthesis	$2.7 CO + 5.3 H_2 \rightarrow 2.7 "CH_2" + 2.7 H_2O$
RWGS	$3.3 CO_2 + 3.3 H_{2,ext} \rightleftharpoons 3.3 CO + 3.3 H_2O$
PtL synthesis	$3.3 CO + 6.6 H_{2,ext} \rightarrow 3.3 "CH_2" + 3.3 H_2O$
PBtL	$C_6H_8O_4 + 2 O_2 + 10 H_{2,ext} \rightarrow 6 "CH_2" + 8 H_2O$
Water electrolysis	$10 H_2O \rightleftharpoons 10 H_2 + 5.5 O_2$

- Hydrocarbon yield may be doubled!
- Oxygen by-produced sufficient for autothermal gasification

3 Prof. Nicolaus Dahmen Institut für Katalyseforschung und -technologie

H₂ boosted bioliq process with FT synthesis




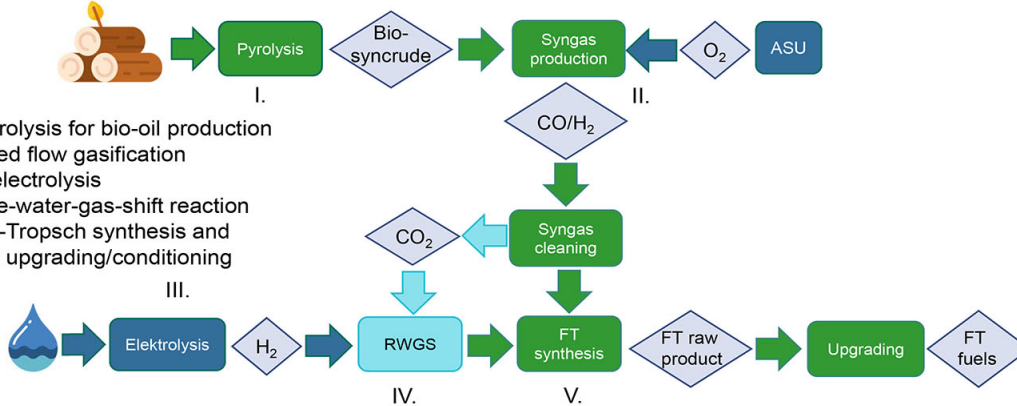
- Thermal fuel capacity: 110 MW_{th}
- Hydrogen used in dedicated reverse-water-gas-shift reaction
- Share of electricity costs: 50.7 %
- Full heat integration and export

	BtL	PBtL	PtL, max	PBtL, min
Product capacity / MW	32.6	123.3	123.5	32.7
Fuel efficiency	29.8 %	45 %	46.2 %	
Overall efficiency	63.0 %	56.6 %	62.4 %	
Carbon conversion	24.9 %	97.7 %	99 %	
Net production cost / EUR/L _{ge}	2.05	2.15	2.75	2.64

F. Albrecht et al., Fuel 194 (2017)

5 Prof. Nicolaus Dahmen Institut für Katalyseforschung und -technologie

Case study 1 Hydrogen boosted bioliq process





- Fast pyrolysis for bio-oil production
- Entrained flow gasification
- Water electrolysis
- Reverse-water-gas-shift reaction
- Fischer-Tropsch synthesis and product upgrading/conditioning

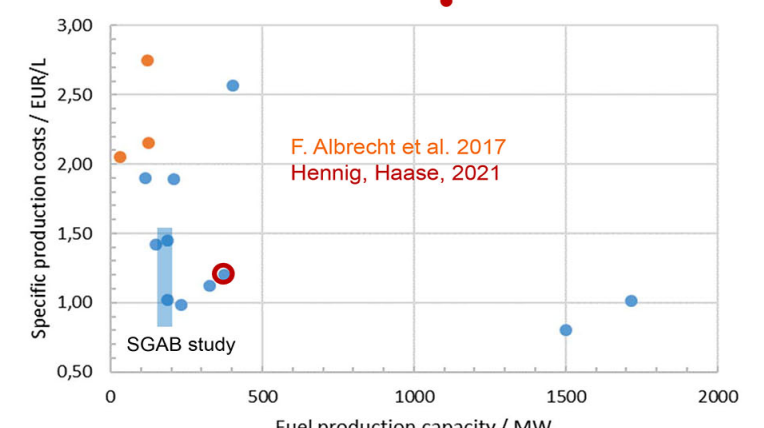
F. Albrecht et al., Fuel 194 (2017)

4 Prof. Nicolaus Dahmen Institut für Katalyseforschung und -technologie

Production cost estimates



- Meta-study on production costs of FT-fuels from wood biomass via the bioliq process



N. Dahmen, J. Sauer, Processes (2021)

6 Prof. Nicolaus Dahmen Institut für Katalyseforschung und -technologie

H₂ boosted bioliq process with MtG

I. Fast pyrolysis for bio-oil production
 II. HP entrained flow gasification
 III. Renewable hydrogen supply
 IV. Methanol/DME to gasoline processes

M. Hennig, M. Haase, Fuel Processing Technology (2021), KIT ITAS

7 Prof. Nicolaus Dahmen Institut für Katalysatorforschung und -technologie

Interim conclusion

- Yield increase by a factor of up to 3.8 predicted
- Scale may be selected too small to benefit from economies of scale
- Costs for renewable hydrogen nearly compensated by yield increase when full carbon utilization is achieved, but...
- ... if carbon conversion cannot be increased significantly, H₂ supply costs cannot be compensated

9 Prof. Nicolaus Dahmen Institut für Katalysatorforschung und -technologie

H₂ boosted MtG process

- Straw converted by 11 pyrolysis plants
- H₂ supplied to methanol synthesis (no RWGS required)
- Share of H₂ costs: 68.5 % (8 EUR/kg)

	H-BtL
Product capacity / MW	400
Fuel efficiency (gasoline/LPG)	47.0 %
Overall efficiency	48.2 %
Carbon conversion	69.5 %
Net production cost / EUR/L _{ge}	3.24

M. Hennig, M. Haase, Fuel Processing Technology (2021)

8 Prof. Nicolaus Dahmen Institut für Katalysatorforschung und -technologie

Case study 3 Syngas fermentation to C₄- and C₈-hydrocarbons

Gas	Vol. %
CO	0
H ₂	4.2
CO ₂	52.3
CH ₄	27.3

Gas	Vol. %
CO	31.6
H ₂	20.3
CO ₂	18.7
CH ₄	15.4
H ₂ O	4.8

I. Syngas fermentation(s)
 II. CO₂ separation
 III. Hydrogen supply

13 Prof. Nicolaus Dahmen Institut für Katalysatorforschung und -technologie

Case study 3 Fermentation of syngas to butanol

AMBITION **KIT**
Karlsruher Institut für Technologie

- Based on TNO Milena indirect gasification technology (scaled to 100 MW_{th})
- Without and with complete CO₂ separation and utilization by CO₂ + H₂ ⇌ CO + H₂O
- Specific production cost reduce by 50% when increasing the yields by a factor of 4!

$$7 \text{ CO} + 5 \text{ H}_2 \rightleftharpoons \text{C}_4\text{H}_9\text{OH} + 3 \text{ CO}_2 \quad (\text{Naveira, 2016})$$

Assumptions (best guess):
Productivity 1 g/Lh
Concentration 10 g/L
80 % CO to BuOH

AMBITION final report; ambition-research.eu

14 Prof. Nicolaus Dahmen Institut für Katalyseforschung und -technologie

Energy balance estimate

AMBITION **KIT**
Karlsruher Institut für Technologie

Case 1: Once through

C-recovery:
21.2 % beechwood
17.0 % lignin

Case 2: CCU

74.1 % beechwood
79.3 % lignin

Further improvement

AMBITION final report; ambition-research.eu

16 Prof. Nicolaus Dahmen Institut für Katalyseforschung und -technologie

Butanol – cost evaluation

AMBITION **KIT**
Karlsruher Institut für Technologie

- Yield increase overcompensates CO₂ recovery and H₂ supply costs
- CO₂: 110 €/t
- H₂: 1.65 and 3.3 €/kg
- Microorganisms not considered
- Profitability < 20 a

Minimum selling price BuOH / EUR/t

15 Prof. Nicolaus Dahmen Institut für Katalyseforschung und -technologie

Cost comparison

AMBITION **KIT**
Karlsruher Institut für Technologie

Recovery method	Capacity Mio.L/a	TCI /\$/L	MSP / \$/L	Reference
Distillation	113.5	4.49	2.75	Baral 2016 [3]
Vacuum fermentation	113.5	3.61	1.74	Baral 2016
Gas stripping	113.5	3.62	1.27	Baral 2016
Liquid liquid extraction	113.5	5.43	1.93	Baral 2016
Vacuum fermentation	113.5	3.61	1.5	Baral 2016
Vacuum stripping	95	4.68	0.88	Tao 2014
Vacuum stripping	140	1.7	0.57	Tao 2014
Distillation	12.3	0.83	0.48	Kumar 2012
Adsorption	49.4	6.2	1.73	Jang 2018 [4]
Distillation	61.7		1.12	Huang, 2019 [7]
This study	19.2-46.6		0.87-1.78	AMBITION

17 Prof. Nicolaus Dahmen Institut für Katalyseforschung und -technologie

Interim conclusions III



- Less gas conditioning efforts after gasification (but potentially after fermentation including waste water treatment), cleaning before or/and after fermentation, use of remaining CH₄
- Use of mixed cultures for more flexibility in syngas quality and tolerance towards impurities
- Compensate low yields by value added products/cheap feedstocks

18

Prof. Nicolaus Dahmen

Institut für Katalyseforschung und -technologie

Final conclusions



- Power enhanced BtL processes are promising: They combine energetic bio-carbon with the need of complete C-conversion by electrical power and zero-energy carbon.
- In optimum cases increased effort is compensated by yield
- Hydrogen can be supplied by RWGS or directly to gasification or synthesis
- Further detailing and optimisation of flow-sheeting is required, e.g. by proper process design, heat integration ...
- Comparison of studies difficult (detail level of simulations, basic assumptions => meta-study in progress)

19

Prof. Nicolaus Dahmen

Institut für Katalyseforschung und -technologie

Prof. Dr. Ralf Peters, Forschungszentrum Jülich GmbH und IEK-14: Institute of Electrochemical Process Engineering

Herstellung von Kerosin über biogene und elektroasierte Prozessrouten

Ralf Peters, Joachim Pasel, Remzi Can Samsun
 Institut für Energie- und Klimaforschung IEK-14: Elektrochemische Verfahrenstechnik
 Wilhelm-Johnen-Straße
 52428 Jülich
 Tel.: +49 2461 61-4260
 E-Mail: ra.peters@fz-juelich.de

Um die ambitionierten CO₂-Reduktionsziele zu erreichen, müssen alle energieverbrauchenden Sektoren defossilisiert werden. Fortschritte bei der CO₂-Reduktion wurden durch den Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung und durch die energetische Optimierung von Industrieprozessen erzielt. Für den Verkehrssektor bleiben die Fortschritte weit hinter den Erwartungen zurück, d.h. die CO₂-Reduktion ist nahezu unsichtbar. PkW, leichte Nutzfahrzeuge und Busse können mit Batterien und H₂-betriebenen Brennstoffzellen auf Elektromobilität umgestellt werden. LKW und Schiffe können diese Technologien teilweise mit Einschränkungen in Reichweite und Nutzlast anwenden. Batteriebetriebene Flugzeuge sind aufgrund der geringen gewichtsspezifischen Energie-

dichte der Batterien auf Kleinflugzeuge beschränkt und H₂-basierte Brennstoffzellensysteme sind nur für Pendleranwendungen für kleinere Flugzeuge mit etwa 19 Passagieren geeignet. Mit H₂-betriebene Strahltriebwerke führen zu einer CO₂-Minderung, lösen jedoch nicht das Problem einer begrenzten On-Board-Speicherkapazität von H₂ bei langen Missionen. Daher müssen für den zukünftigen Luftverkehr flüssige Kraftstoffe aus erneuerbaren Quellen bereitgestellt werden. Der Vortrag beschreibt unter technischen und ökonomischen Aspekten Herstellungspfade für Kerosin aus biogene Quellen und über verschiedene elektroasierte Prozessrouten. Hybridprozesse beider Linien könnten effizient zusammenwirken.

Herstellung von Kerosin über biogene und elektroasierte Prozessrouten

4. NOVEMBER 2021 | RALF PETERS, JOACHIM PASEL, REMZI CAN SAMSUN

ProcessNet EVT Online-Workshop
 "SynBioPTx - Synergien biomasse- und strombasierter Technologien"

ra.peters@fz-juelich.de

IEK-14: Institute of Electrochemical Process Engineering

Member of the Helmholtz Association



Options for Sustainable Aviation



Urban air transport
 Commuters
 Enabling technology



CS-23 commuter class
 < 20 passengers
 Robust technology for air transport
 Use in inaccessible regions with partially poor infrastructure



Regional aircraft/ air taxi
 < 40 passengers
 Technology carrier for hybrid systems



<https://e-sat.de/de/>
<https://lillium.com/>
<https://h2fly.de>

<https://www.airliners.de/chancen-do328/59481>



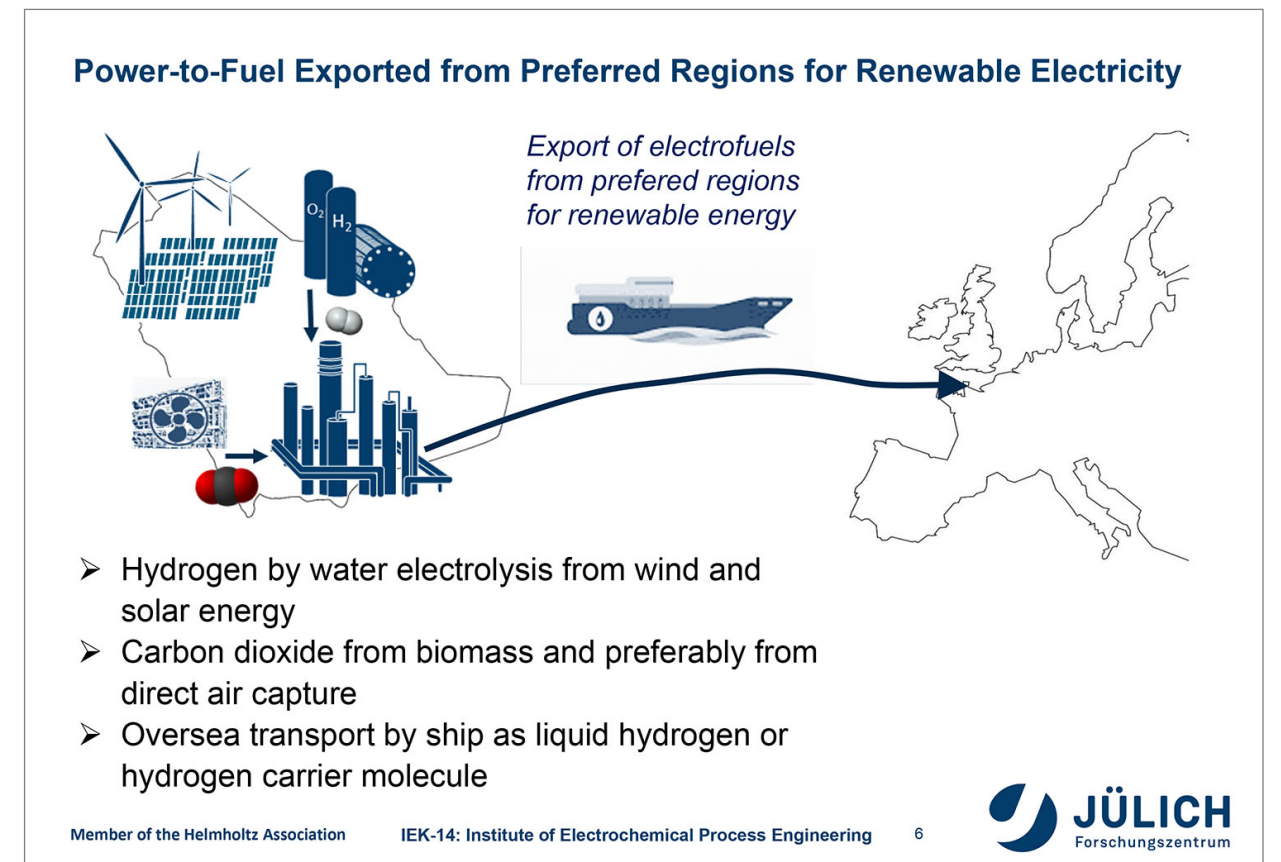
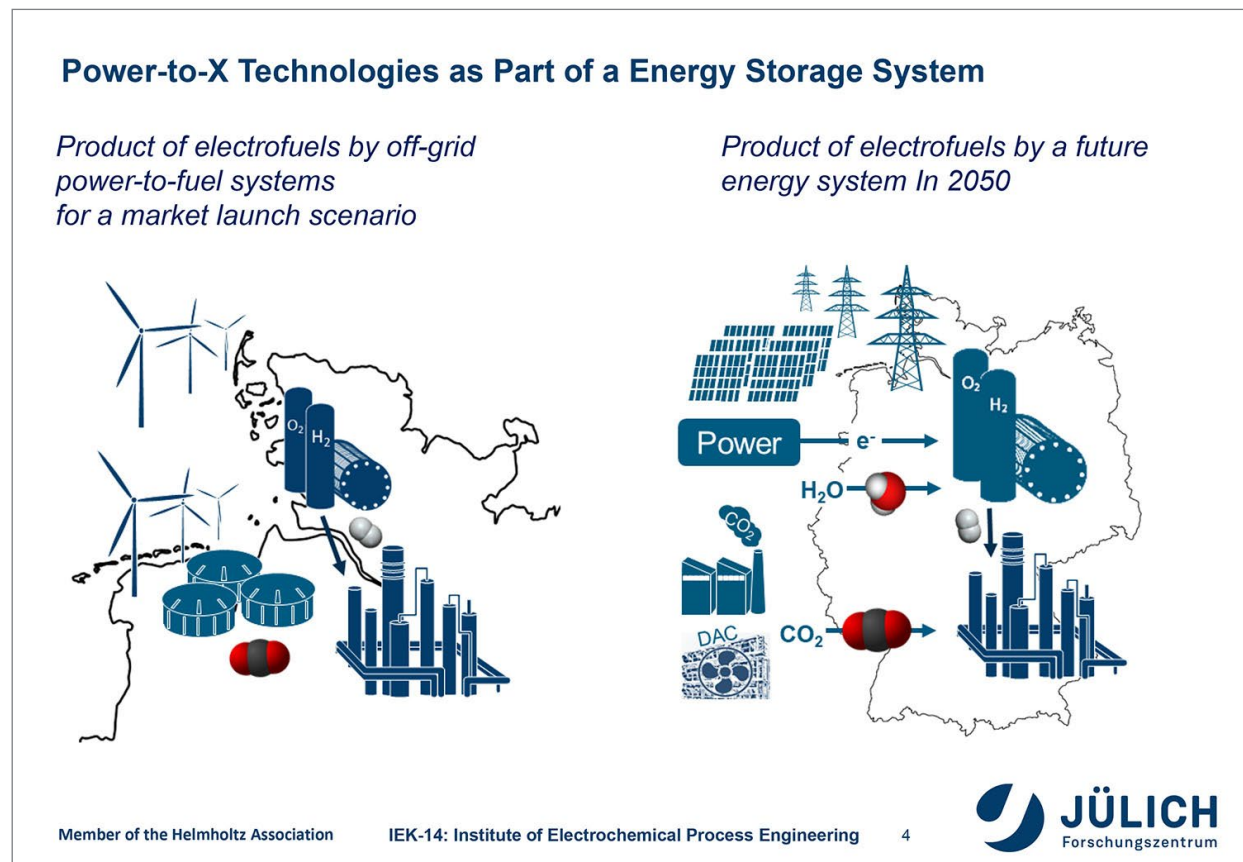
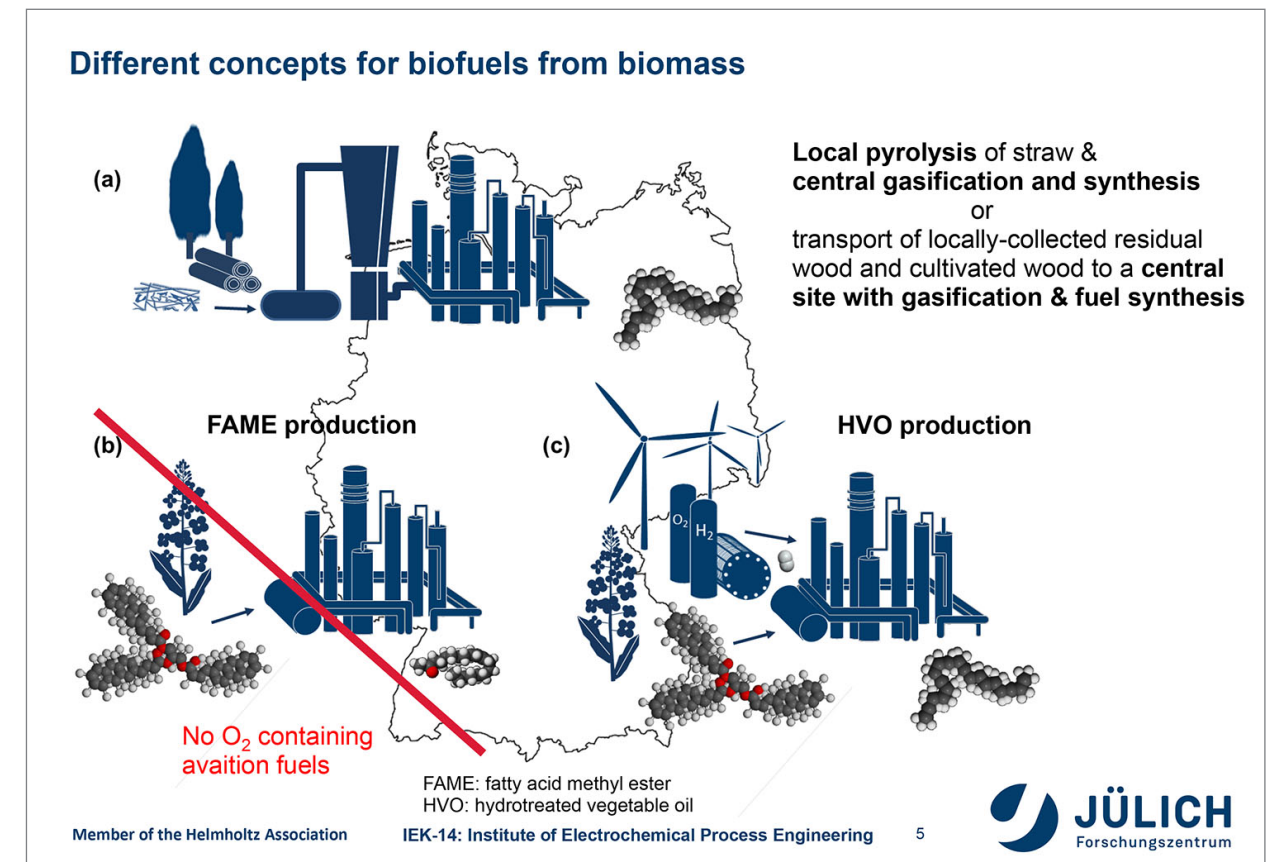
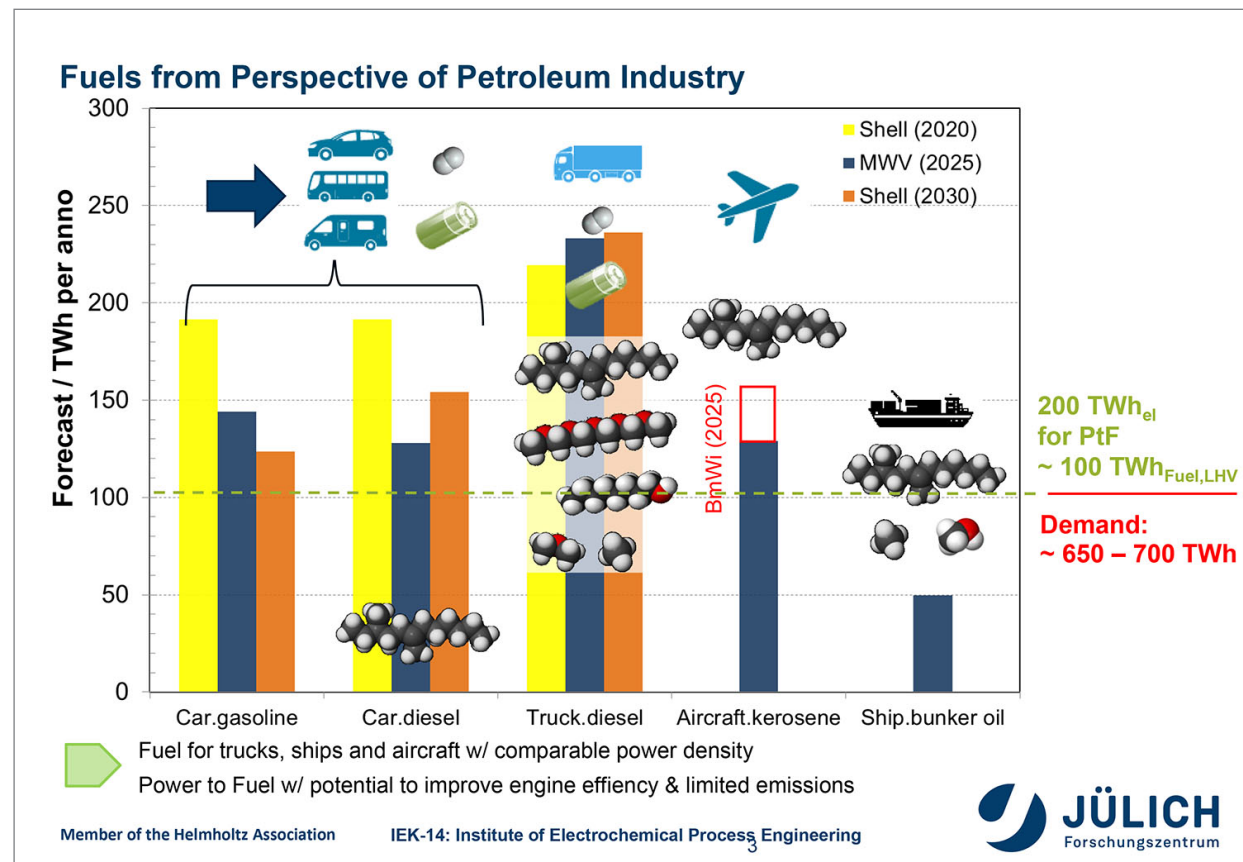
Narrow-body airliner
 < 200 passengers; 37.5 m length
 68 – 94 tonnes take-off weight
 3500 – 5000 km mission range
Sustainable Aviation Fuels

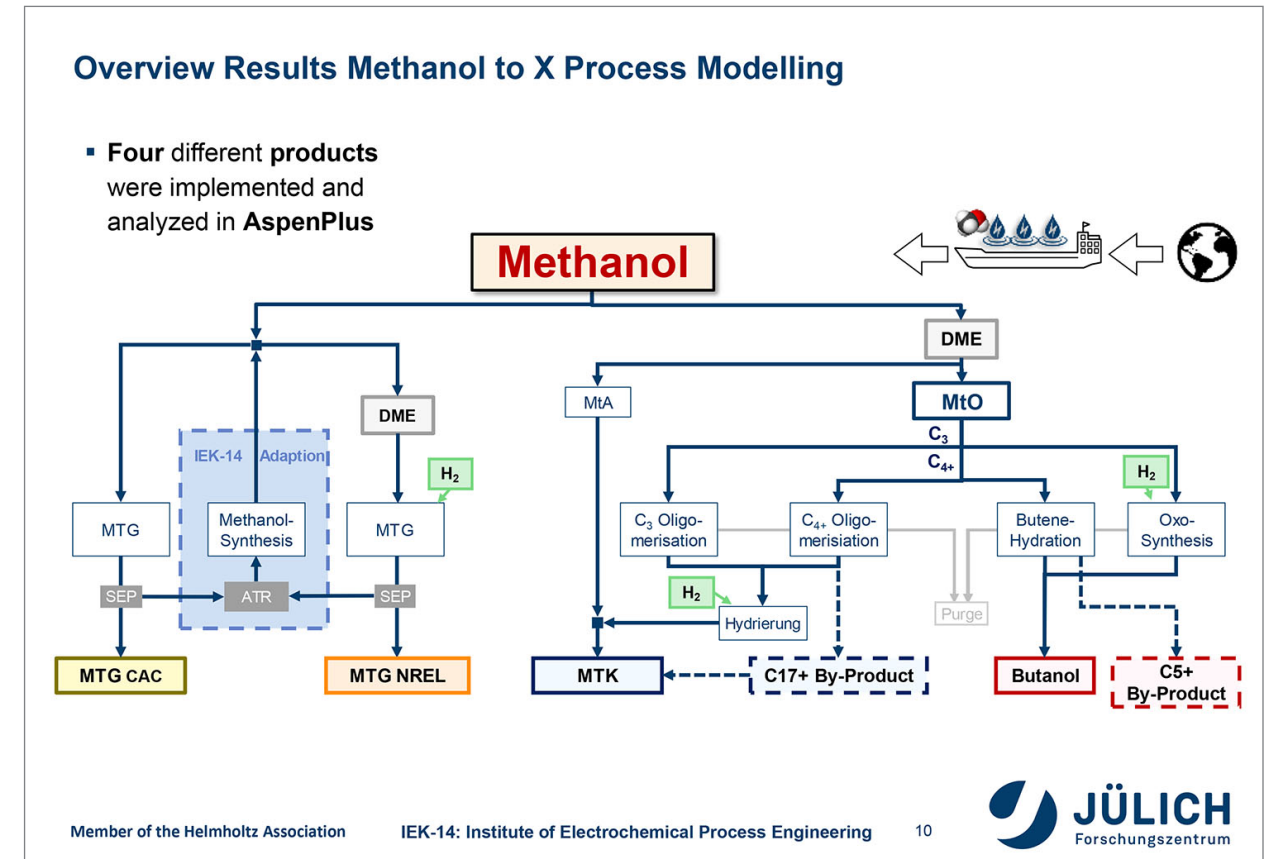
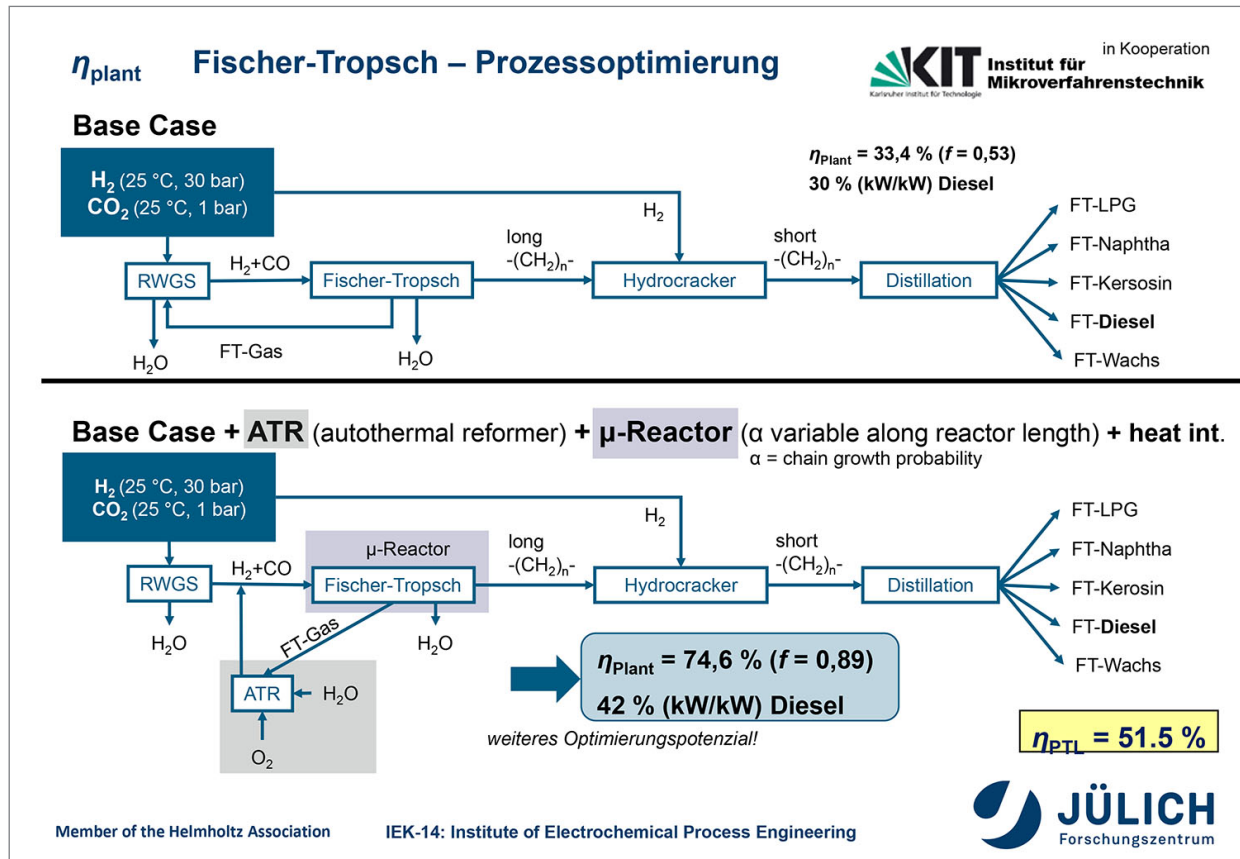
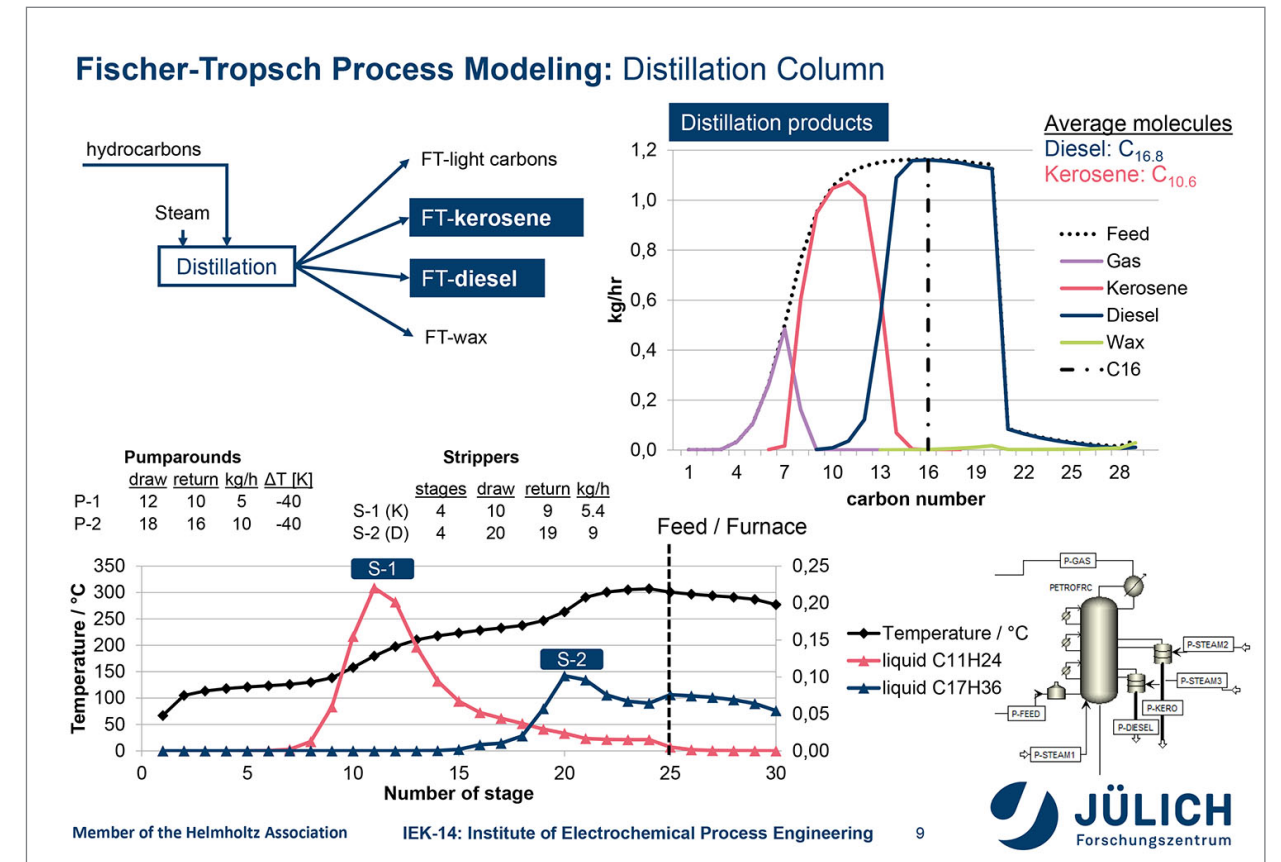
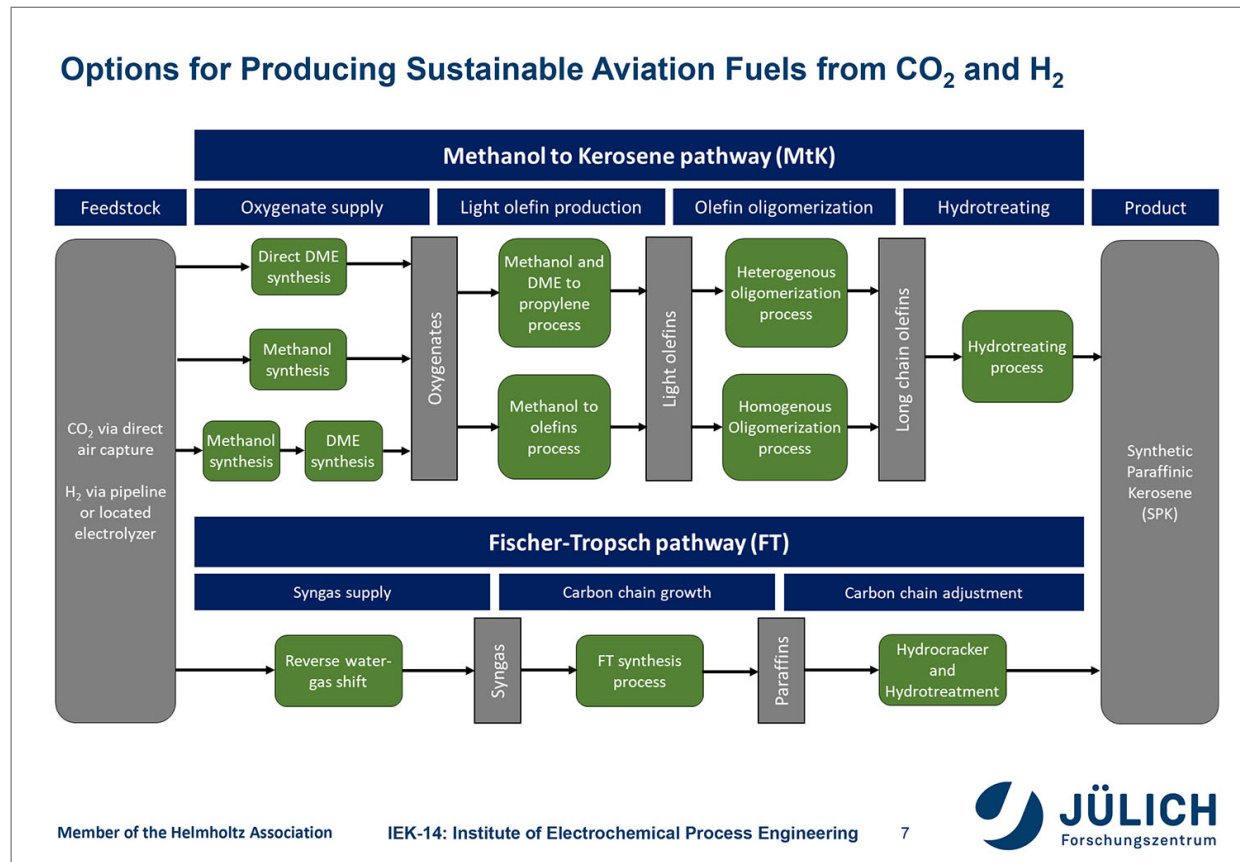
<https://www.dlr.de/content/de/artikel/luftfahrt/forschungsflotte-infrastruktur/dlr-flugzeugflotte/dornier-do-228-212.html>



Member of the Helmholtz Association

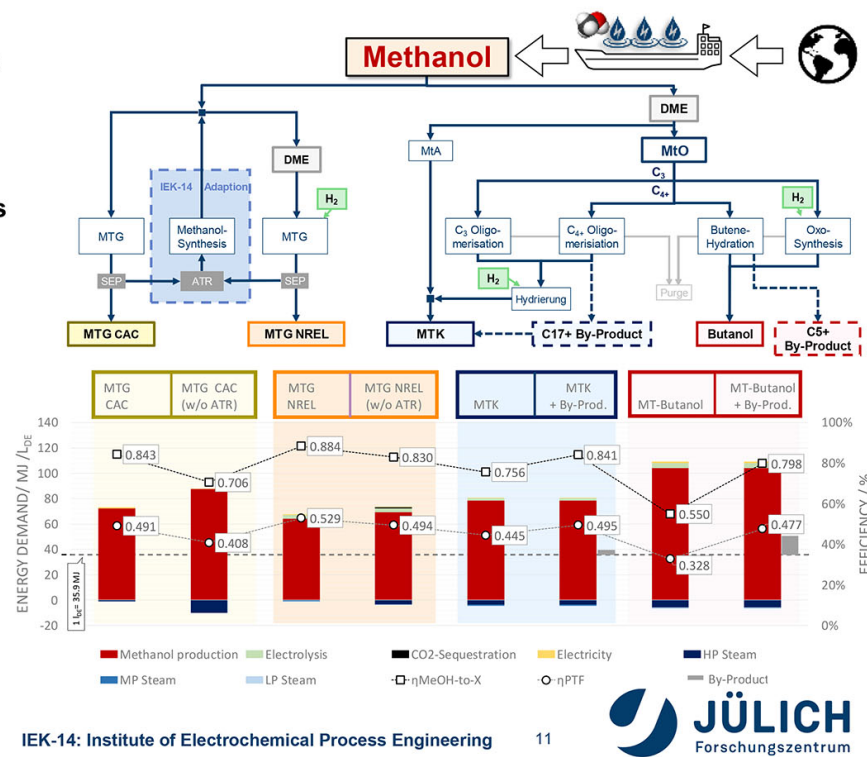
IEK-14: Institute of Electrochemical Process Engineering 2





Overview Results Methanol to X Process Modelling

- Four different products were implemented and analyzed in AspenPlus
- MTG processes show the highest efficiencies followed by MTK and MTAcohols
- The addition of an ATR within the MTG pathways offers significant efficiency improvement
- Economic comparison performed



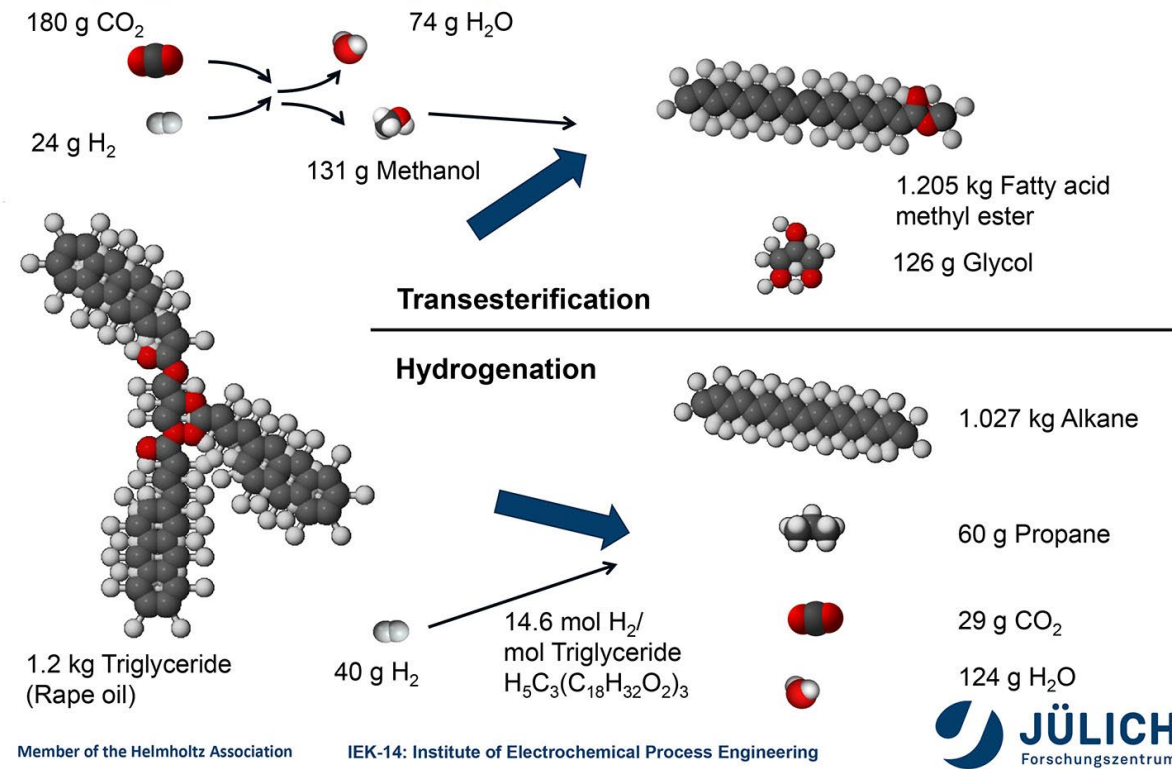
Member of the Helmholtz Association

IEK-14: Institute of Electrochemical Process Engineering

11



Coupling Biomass with Hydrogen and Electro-based Fuels

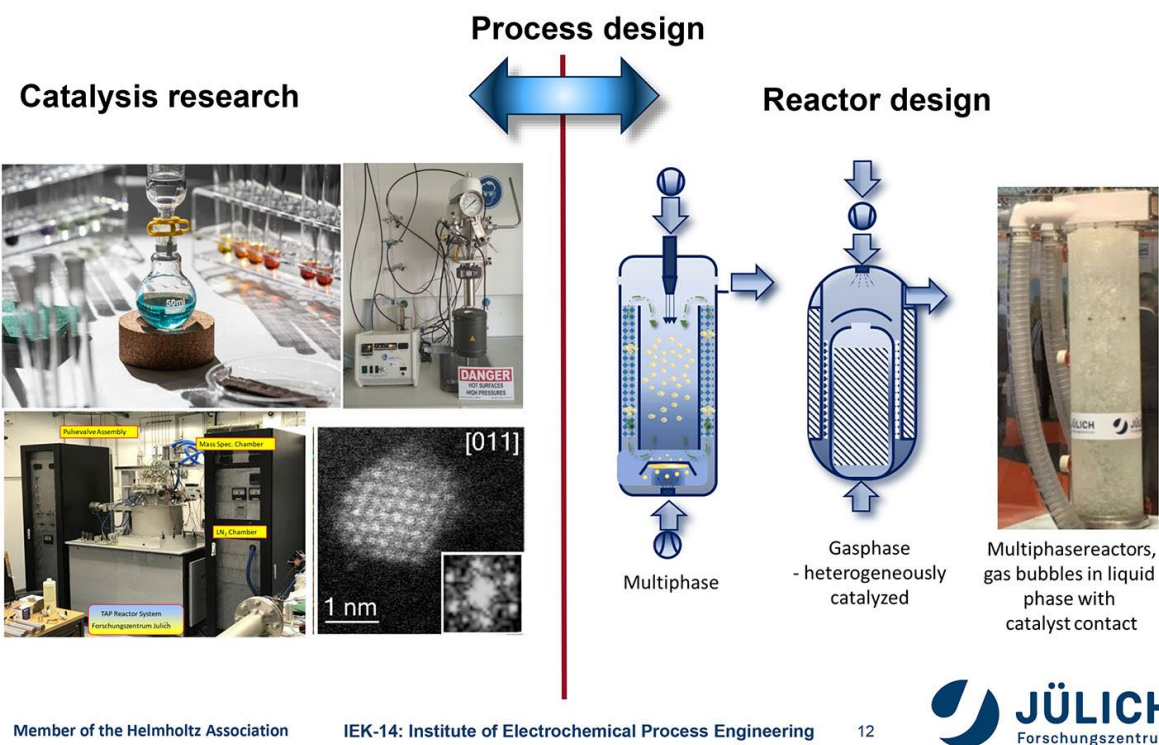


Member of the Helmholtz Association

IEK-14: Institute of Electrochemical Process Engineering



R&D Tasks for Power-to-Fuel and Power-to-Chem Technologies



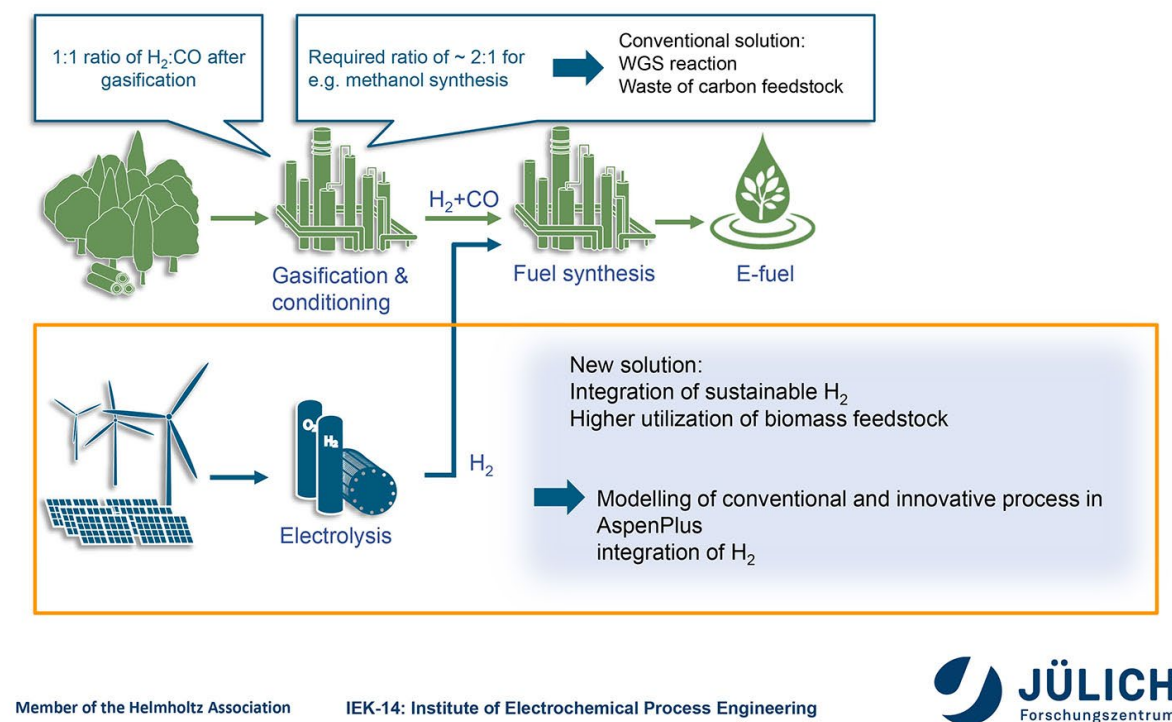
Member of the Helmholtz Association

IEK-14: Institute of Electrochemical Process Engineering

12



Hydrogen integration in biofuel production I



Member of the Helmholtz Association

IEK-14: Institute of Electrochemical Process Engineering



Sustainable CO₂ from biogas plants

Biogas plants in Germany

- ~ 9000 biogas plants
- 193 points pipeline feed
- Product gas: CH₄:CO₂ ≈ 1:1
- Average size: 500 kW_{el}
- MeOH production: Plant size: ~ 1 MW Potential: ~ 1 300 t/a

"From by-product to valuable resource – process CO₂ for present and future utilization for chemicals. Evaluation on the German perspective"

Targets:

- Technical analysis of CO₂ from biogas plants as sustainable feedstock for fuels and chemicals
 - CO₂ from cement industry and fossil sources as comparison
- Evaluation of CO₂ capture and CO₂ utilization potential in Germany

Collaboration of

- FZJ (Future fuels) &
- UFZ (CO₂ from biogas) for publication about sustainable utilization of CO₂

Member of the Helmholtz Association IEK-14: Institute of Electrochemical Process Engineering **JÜLICH** Forschungszentrum

BiRG Energetic use of biogenic residues and waste materials funded by

Conversion of biogenic residues into product gas by pyrolysis, shift and microbial methanation

Water-gas shift

- Technology transfer from fuel cell application
- Inlet: 30 - 40% CO after pyrolysis, instead 10 – 15% CO in case of reforming
- Reactor design
- Reactor testing
- System integration

Member of the Helmholtz Association IEK-14: Institute of Electrochemical Process Engineering 17 **JÜLICH** Forschungszentrum

Hydrogen integration in biofuel production II

Aspen flowchart: H₂ integration

- Integration of hydrogen raises output by 40 %
- Overall efficiency raised by 4 %

Member of the Helmholtz Association IEK-14: Institute of Electrochemical Process Engineering **JÜLICH** Forschungszentrum

Demonstration project NRW-Revier-Power-to-BioJetFuel

Concept and potential for a demonstration plant for the production of renewable synthetic jet fuel as a contribution to the energy system transformation of NRW

Technical analysis

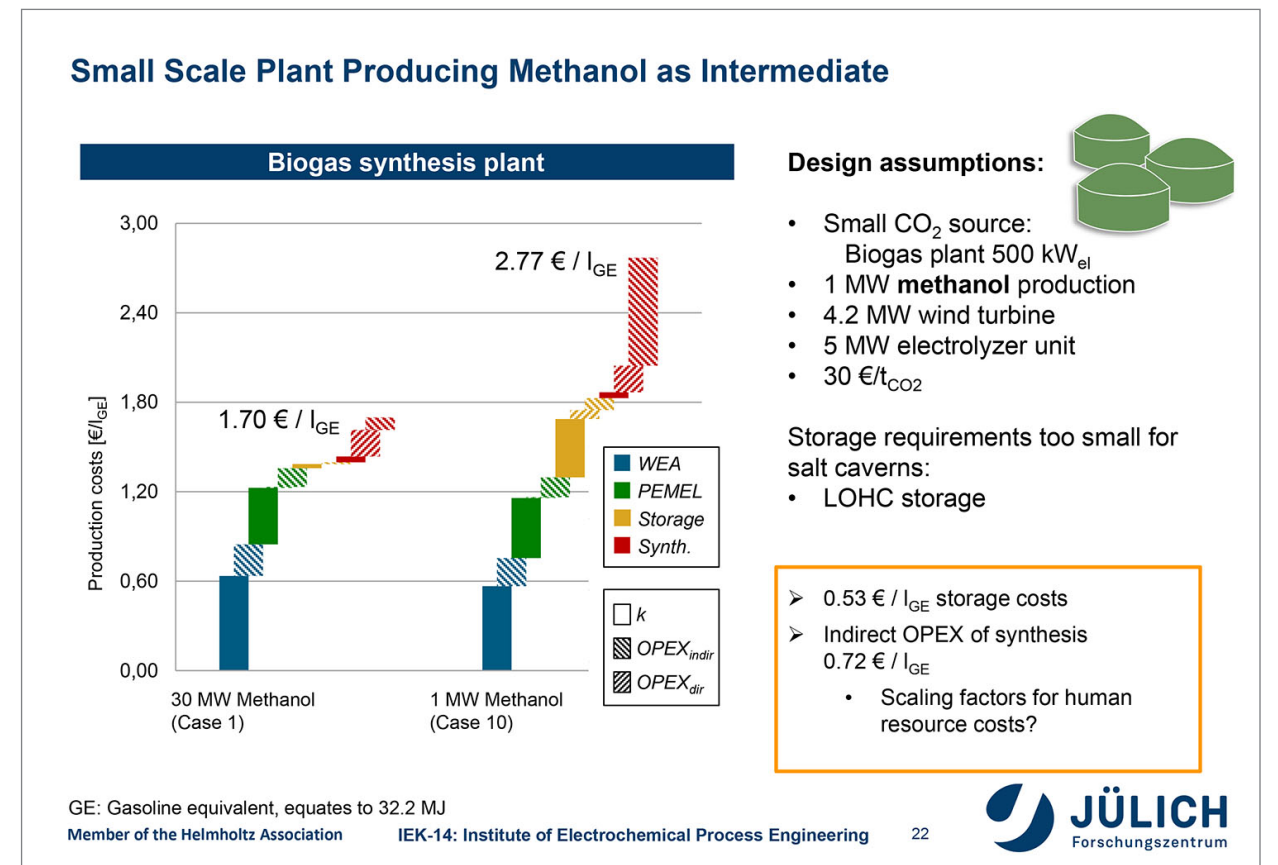
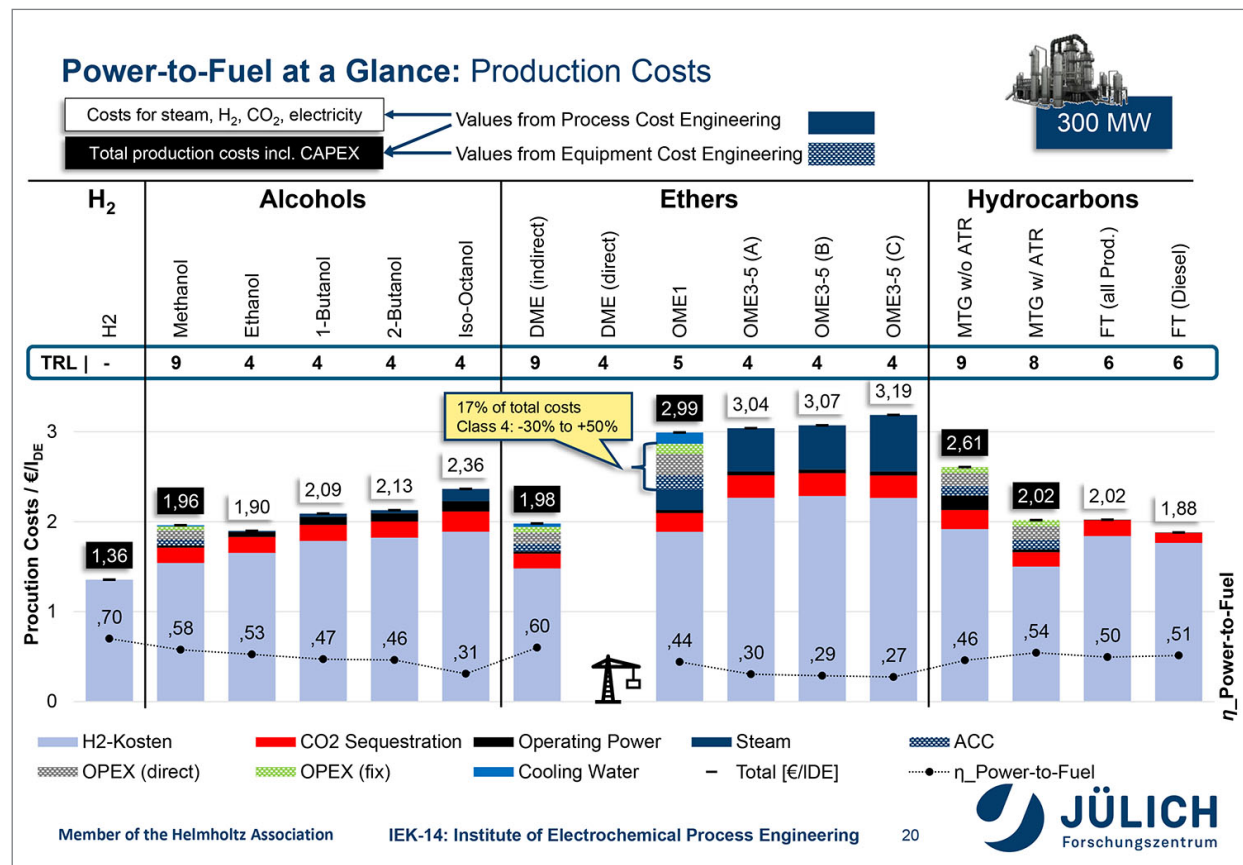
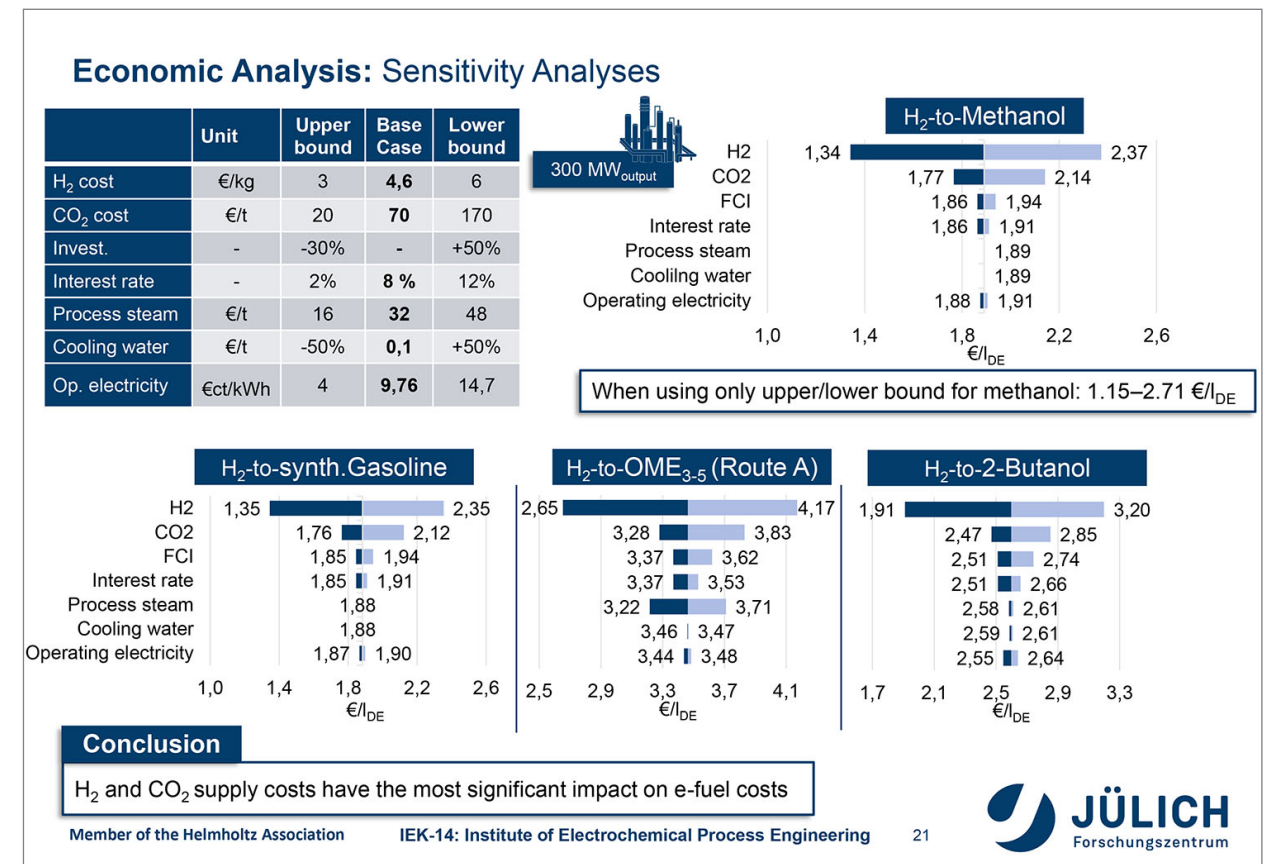
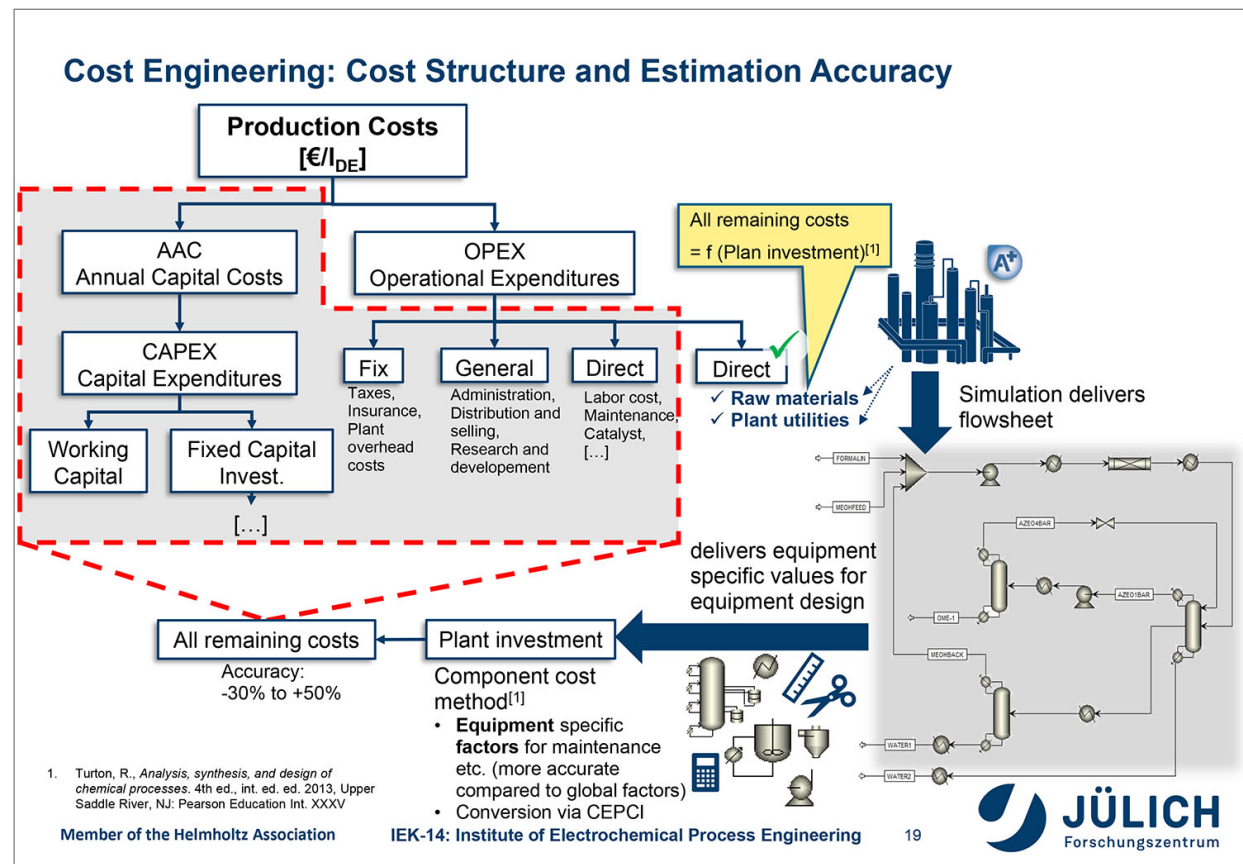
- Prozess design and simulation of possible process routes:
 - Fischer-Tropsch /w CO₂/H₂ or CO/H₂
 - Methanol-to-kerosene
- Additives and other fuels
- Technical comparison of the elaborated production paths
- Development of a concept for a demo system based on the top variants

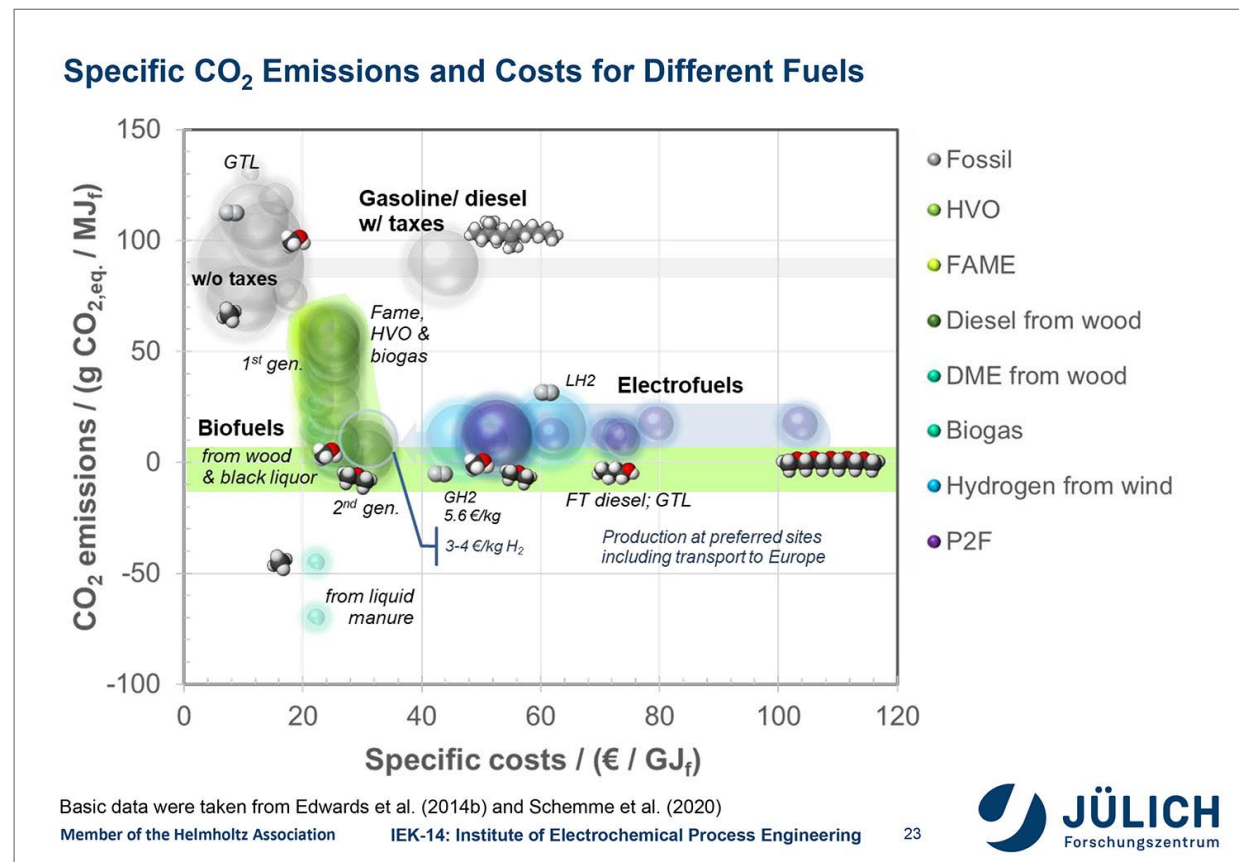
Economic analysis

Economic evaluation of the developed process variants using the component cost method

- Determination of the cost of the product
- Market survey
- Survey of potentials for the long-term supply of H₂ and CO₂
- Analysis of the potential of the NRW location

Member of the Helmholtz Association IEK-14: Institute of Electrochemical Process Engineering **JÜLICH** Forschungszentrum





Summary

Hydrogen

- **Efficiency, power density, durability, and costs** need to be quickly addressed
- **Next generation materials** and components are ultimately important for the future of H₂
- All **electrolyzer technologies are important** and will play its role in green H₂ production

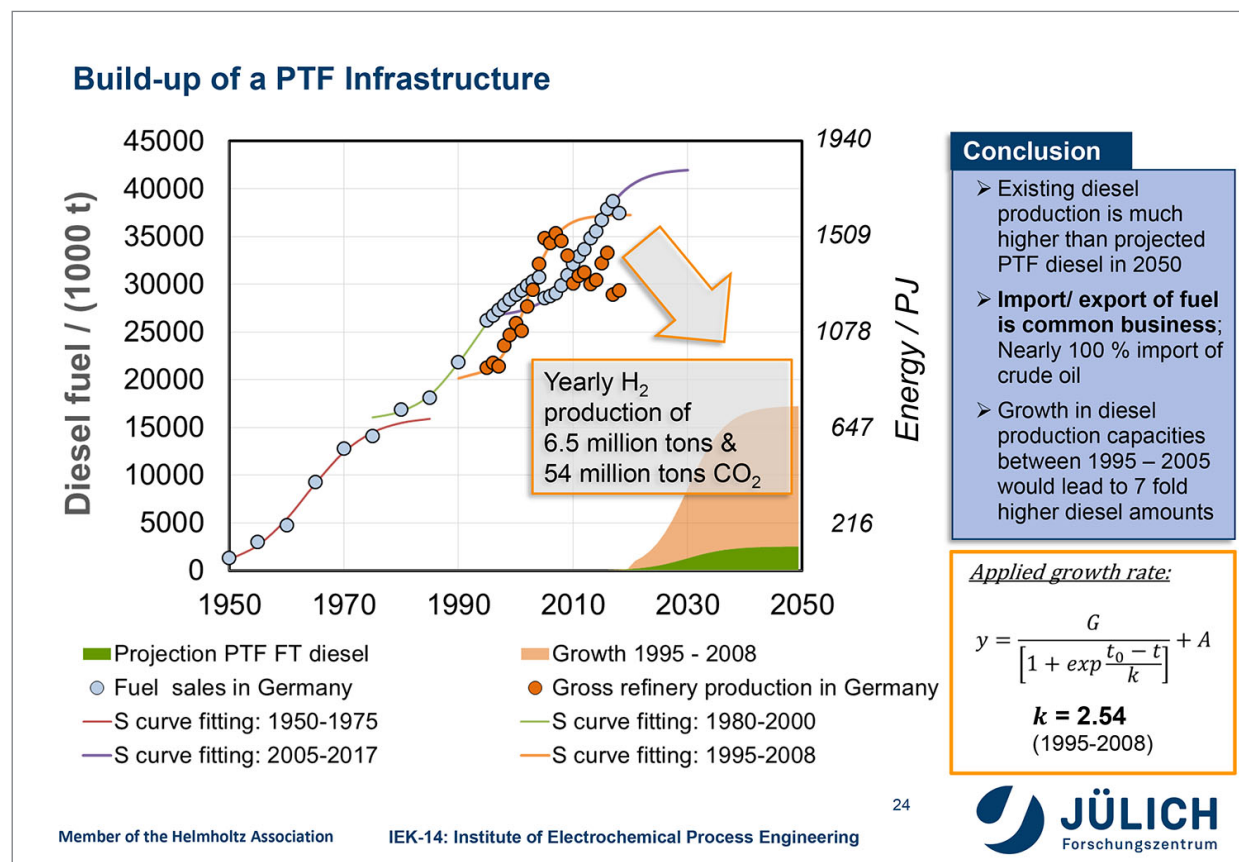
Sustainable Aviation Electrofuels

- Evaluation of different process chains, Fischer-Tropsch & Methanol to Kerosene based on renewable electricity
- Determination of the cost of the product
- Transfer to industrial products including certification

Bio Fuels for Aviation

- Implementation of renewable hydrogen for hydrogenation
- Biofuels lead to halved costs related to electro-based fuels

Member of the Helmholtz Association IEK-14: Institute of Electrochemical Process Engineering 25



Dr. Andreas Waibel, CAPHENIA GmbH

Eine neue Kraftstoffroute: Power and Biogas to Liquid

Dr. Andreas Waibel

CAPHENIA GMBH

House of Logistics and Mobility (HOLM)

Bessie-Coleman-Straße 7

60549 Frankfurt am Main

E-Mail: andreas.waibel@caphenia.com

Erneuerbare synthetische Kraftstoffe werden in der notwendigen Energie- und Verkehrswende eine zentrale Rolle spielen. Schließlich muss die Energie der Zukunft nicht nur erneuerbar, sondern auch speicherbar und transportierbar sein. Erneuerbare Flüssigkraftstoffe haben in der Summe entscheidende Vorteile, während alternative Energieträger wie Wasserstoff oder Batterien an ihre Grenzen stoßen. Allerdings stoßen auch die bestehenden Herstellungswege von erneuerbaren synthetischen Kraftstoffen auf entscheidende Hemmnisse. Dazu zählen nicht nur prozesstechnische Herausforderungen, sondern auch die Limitierung von einzelnen Rohstoffen, die Limitierung der Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom und die teilweise prohibitiv hohen Herstellungskosten.

Das CAPHENIA-Verfahren hilft diese Hemmnisse zu überwinden. Durch die Kombination von BtL

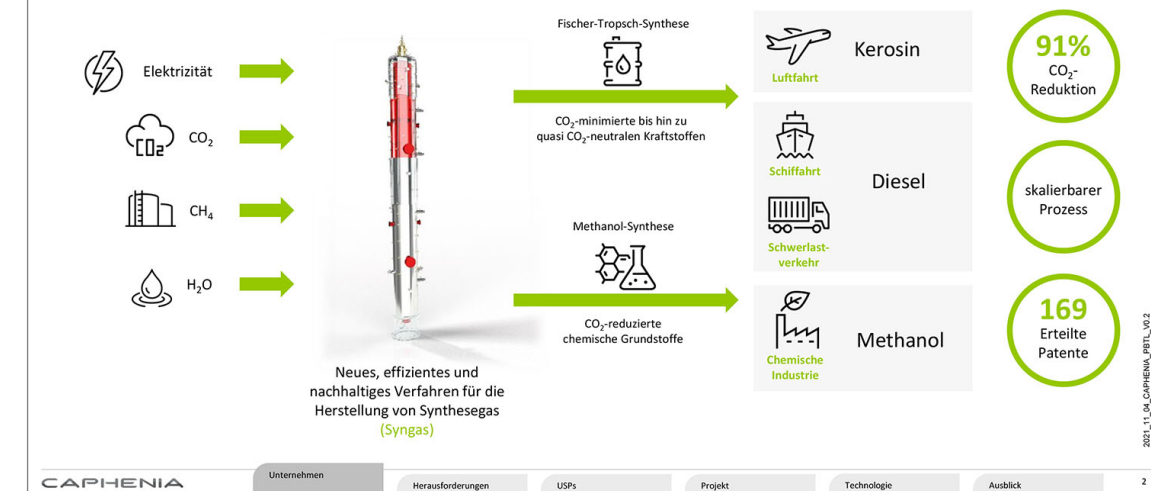
(Biomass-to-Liquid) und PtL (Power-to-Liquid) Verfahrenselementen, sowie einer neuartigen Kombination von Prozessschritten, können die Bedarfe an erneuerbarem Strom (um einen Faktor 6), sowie die Herstellungskosten signifikant reduziert werden. Im weiteren erlaubt das Verfahren den gesamten Stoffstrom einer Biogasanlage zu nutzen (d.h. das Methan, sowie das CO₂). Dadurch können CO₂-Emissionen von Biogasanlage in Zukunft vermieden werden. Diese werden bis dato (bei einer Einspeisung in das Erdgasnetz) aus dem Biogasstoffstrom abgetrennt und in die Atmosphäre emittiert.

Im Kern stellt das CAPHENIA-Verfahren eine neue Route zur Herstellung von Syngas (CO/H₂) dar. Diese Plattform-Chemikalie kann sowohl für die Herstellung von Kraftstoffen, aber auch als Ausgangsstoff für die Herstellung von weiteren Basischemikalien dienen.



CAPHENIAs Technologie: Eine neue Route zur Erzeugung von Syngas

Syngas ist die Grundlage zur Produktion aller Arten von Kraftstoffen und Chemikalien



Begrenzte Möglichkeiten einer Batterie in einem Verkehrsflugzeug Am Beispiel des Airbus A350-900ULR (Ultra Long Range)

280 Tonnen

Maximales Startgewicht ⁽¹⁾

6.768 Tonnen

Gewicht einer Batterie um gleichen Energiegehalt von Kerosin zu erreichen ^{(2) (3)}
In Deutschland verkehren Güterzüge im Regelfall mit Bruttogewichten von etwa 1.600 Tonnen.



Maximales Landegewicht	207,0 Tonnen
Maximales Gewicht ohne Treibstoff	195,7 Tonnen
Maximale Treibstoffmenge	141.000 Liter 112,8 Tonnen ⁽¹⁾

(1) A350-900, Airbus.
(2) „Batterien sind etwa sechzig mal schwerer als Kerosin mit demselben Energieinhalt.“ (S. 22, Revolutioniert der Elektroantrieb die Luftfahrt? (2019). DLR-Magazin – Das Magazin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt.)
(3) Thielmann, A., Wietschel, M., Funke, S., Grimm, A., Hettesheimer, T., Langkau, S., ... Edler, J. (2020). Batterien für Elektroautos.

2021_11_04_CAPHENIA_PPTL_002

Innovatives Verfahren zur Herstellung von erneuerbaren Kraftstoffen CAPHENIA-Technologie nutzt Biogas vollständig und spart erneuerbaren Strom

Der Ansatz

Innovativer, effizienter Umwandlungsprozess

Internationaler Patentschutz - 169 Patente in 50 Ländern

Erneuerbare und CO₂-minimierte Kraftstoffe (Kerosin, Benzin, Diesel)
Luftfahrt, Schifffahrt, Schwerlastverkehr

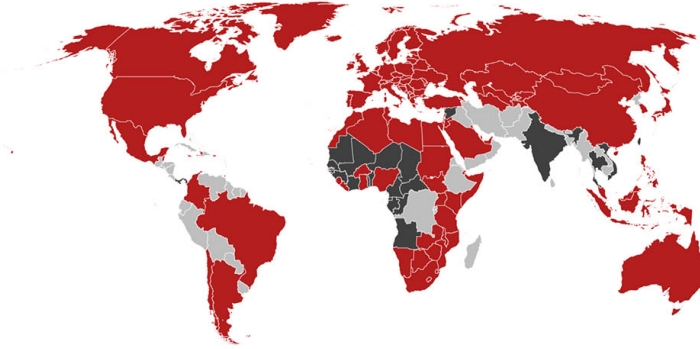
Die Vorteile

- ✓ Nutzt Biogas als gesamten Stoffstrom
- ✓ Senkt den Bedarf an erneuerbarem Strom
- ✓ Senkt die Herstellungskosten
- ✓ Produziert Kraftstoff mit extrem niedrigem CO₂-Fußabdruck
- ✓ Prozess skalierbar

Die Partner

2021_11_04_CAPHENIA_PPTL_002

CAPHENIAs globaler IP-Schutz Das CAPHENIA-Verfahren ist in allen relevanten globalen Märkten patentrechtlich geschützt



**insgesamt
230 Patente**

169 erteilt

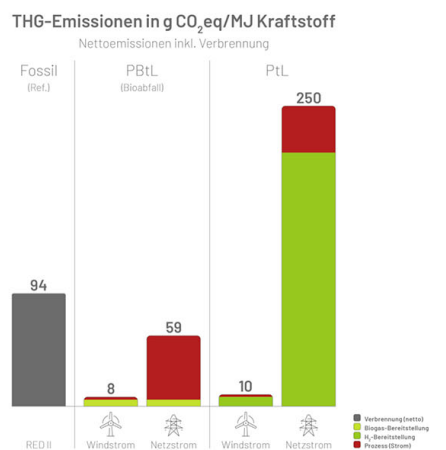
61 ausstehend

■ Land mit mindestens einem erteilten Patent
■ Land mit mindestens einer Patentanmeldung
■ Land ohne Anmeldung oder Patente

2021_11_04_CAPHENIA_PPTL_002

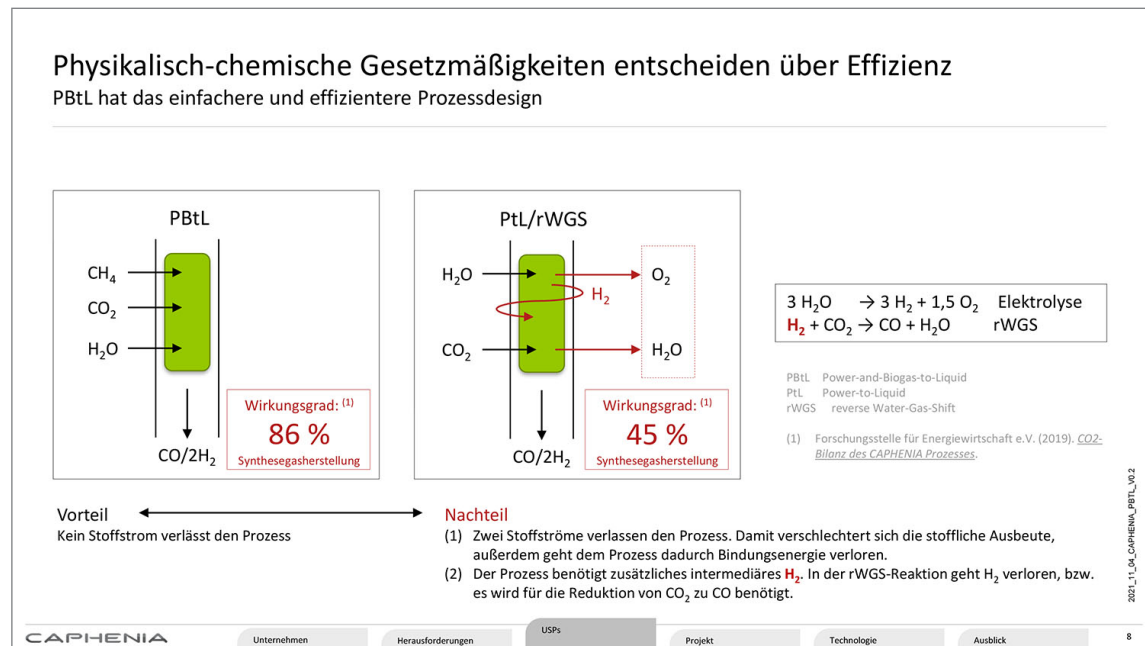
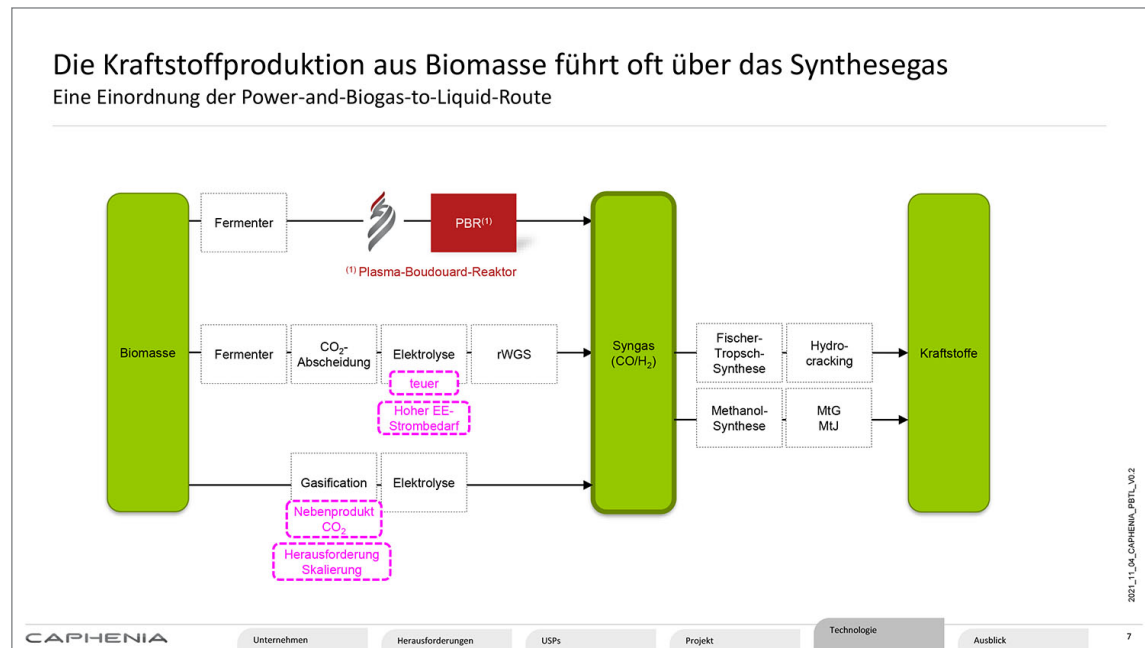
Mit PBtL können die größten CO₂-Einsparungen erreicht werden Ergebnisse einer Well-to-Wheel-Analyse der Technischen Universität Hamburg (TUHH)

„Ein Power-and-Biogas-to-Liquid Verfahren weist einen extrem niedrigen CO₂-Fußabdruck auf und führt zu CO₂-Einsparungen von 91 % gegenüber der fossilen Referenz. Selbst bei Nutzung von Netzstrom wird noch eine CO₂-Einsparung von 37 % erreicht, während ein PtL-Prozess ⁽¹⁾ dabei 2,6-mal mehr, als die fossile Referenz ausstoßen würde.“



PTL Power-to-Liquid
 rWGS reverse Water-Gas-Shift
 (1) Elektrolyse in Kombination mit rWGS.
 (2) TUHH. (2021). Untersuchung der Umweltauswirkungen eines Power-and-Biogas-to-Liquid (PBtL) Prozesses zur Herstellung von erneuerbaren synthetischen Kraftstoffen.

2021_11_04_CAPHENIA_PPTL_002



Die Gewinnung von H₂ aus Methan ist energetisch hoch effizient

Die Methanpyrolyse stellt eine offensichtliche Alternative zur Wasserelektrolyse dar

Feedstock	Energieaufwand zur Produktion von 1 mol H ₂	Effizienz	Energieaufwand (kJ/mol)	Prozess
CH ₄	7,6-mal effizienter	37,5 kJ/mol	Methanpyrolyse	
H ₂ O		286 kJ/mol	Wasserelektrolyse	

(1) Sanchez-Bastardo, N., Schlögl, R. & Ruland, H. (2020). Methane Pyrolysis for CO₂-Free H₂ Production: A Green Process to Overcome Renewable Energies Unsteadiness. Chemie Ingenieur Technik. <https://doi.org/10.1002/cite.202000029>

CAPHENIA | Unternehmen | Herausforderungen | USPs | Projekt | Technologie | Ausblick | 11

CAPHENIA nutzt die Methanpyrolyse zur H₂-Produktion

Drei Viertel des Wasserstoffs im neuen Synthesegas-Verfahren resultieren aus der Pyrolyse von Methan

Es wird ein thermisches Verfahren der Methanpyrolyse eingesetzt. Eine Plasma-Lichtbogen Technologie erlaubt die effiziente Einspeisung von thermischer Energie sowie eine Konversionsrate >98 %.

CAPHENIA | Unternehmen | Herausforderungen | USPs | Projekt | Technologie | Ausblick | 12

CAPHENIA kombiniert Methanpyrolyse mit Boudouard

Dabei werden Nachteile der Einzelprozesse in einen systemischen Gesamtvorteil überführt

$$\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2 \text{H}_2 \quad \text{Methanpyrolyse} \quad (1)$$

$$\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{CO} \quad \text{Boudouard-Reaktion} \quad (2)$$

Die Boudouard-Reaktion kann nur über hohe Temperaturen erschlossen werden. Dieser vermeintliche Nachteil wird – durch die Kombination von Methanpyrolyse und Boudouard-Reaktion – in einen Vorteil umgewandelt. Die, nach der Pyrolyse verbleibende, hohe thermische Energie des Kohlenstoff-Wasserstoff-Aerosols kann durch die Boudouard-Reaktion in chemische Bindungsenergie umgewandelt werden. Damit entsteht ein energetisch hoch effizienter Prozess.

CAPHENIA | Unternehmen | Herausforderungen | USPs | Projekt | Technologie | Ausblick | 13

CAPHENIA kombiniert hetWGS und schafft flexibles Syngas-Verfahren

Das CO:H₂-Verhältnis im Synthesegas wird einstellbar

$$\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2 \text{H}_2 \quad \text{Methanpyrolyse} \quad (1)$$

$$\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{CO} \quad \text{Boudouard-Reaktion} \quad (2)$$

$$\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2 \quad \text{het. Water-Gas-Shift-Reaktion} \quad (3)$$

CAPHENIA | Unternehmen | Herausforderungen | USPs | Projekt | Technologie | Ausblick | 14

Wärmerückgewinnung macht das Verfahren zusätzlich effizient

Quench verhindert Rückreaktionen

86%
Gesamtwirkungsgrad

Wärmerückgewinnung
Das Synthesegas besitzt nach durchlaufen der hetWGS-Stufe noch eine Temperatur von ca. 900°C. Diese thermische Energie wird über Wärmeübertrager rückgewonnen und für die Vorheizung der Feedstock-Gase (CH₄, CO₂ und H₂O) benutzt. Damit erreicht der Gesamtprozess einen Wirkungsgrad⁽¹⁾ von 86 %.

Quench
Der letzte Prozessschritt beinhaltet einen sogenannten Quench. Dabei wird das Synthesegas in kurzer Zeit abgekühlt, um jenen Temperaturbereich schnell zu durchlaufen, in welchem Rückreaktionen (z. B. Methanisierung) stattfinden können. Durch die schnelle Abkühlung werden die Rückreaktionen praktisch unterbunden.

PBR-Syngas-Reaktor
Sämtliche Prozessschritte finden in einem einzelnen Reaktor in verschiedenen Zonen statt.

hetWGS heterogene Wasser-Gas-Shift
PBR Plasma-Boudouard-Reaktor

(1) Wirkungsgrad ist definiert über das Verhältnis von Energieoutput (thermisch, chemisch) zu Energieinput (elektrisch, thermisch, chemisch)

2021_11_04 CAPHENIA_PPTL_V02

CAPHENIA | Unternehmen | Herausforderungen | USPs | Projekt | Technologie | Ausblick | 15

Drei bekannte Reaktionen, erstmals zusammen gedacht

Der CAPHENIA-Prozess: Eine neue Route zur Herstellung von variablem Synthesegas

$$\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2 \text{H}_2 \quad \text{Methanpyrolyse} \quad (1)$$

$$\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2 \text{CO} \quad \text{Boudouard-Reaktion} \quad (2)$$

$$\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2 \quad \text{het. Water-Gas-Shift-Reaktion} \quad (3)$$

netto von $3 \text{CH}_4 + 3 \text{CO}_2 \rightarrow 6 \text{CO} + 6 \text{H}_2$ (1 : 1)
 über $3 \text{CH}_4 + 1 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{CO} + 8 \text{H}_2$ (1 : 2) **FT-Synthese, MeOH-Synthese**
 bis $3 \text{CH}_4 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{CO} + 9 \text{H}_2$ (1 : 3)

Plattformtechnologie
Variabel einstellbares Syngas-Verhältnis, durch variabel einstellbares Verhältnis der Eduktzufuhr. Dadurch wird es möglich, verschiedene nachfolgende Syntheseschritte zu bedienen. Geeignet zur Produktion von Kraftstoffen, sowie zur Herstellung von Grundchemikalien.

2021_11_04 CAPHENIA_PPTL_V02

CAPHENIA | Unternehmen | Herausforderungen | USPs | Projekt | Technologie | Ausblick | 16

Standort der CAPHENIA Pilotanlage
infraserV Frankfurt höchst

Klimafreundliche Produktion von synthetischem Kraftstoff

- 1 CAPHENIA Anlage
- 2 Biogasaufbereitung
- 3 Fermenter

2021_11_04 CAPHENIA_PPTL_V02

CAPHENIA | Unternehmen | Herausforderungen | USPs | Projekt | Technologie | Ausblick | 17

Biomassepotentiale in Deutschland für die Herstellung von Kraftstoffen

Vergärbare Biomasse aus dem Biomassepotential von 77 Ausgangsrohstoffen - Mittelwerte

Mio. t Biomasse (Trockenmasse, Mittelwerte) ^{(1) (2)}

- Theoretisch: 238,6
- Technisch nutzbar: 112,7
- Vergärbare: 61,5

Nicht mobilisierbares Biomassenpotential

Mio. t Biomethan (Mittelwerte) ^{(1) (2)}


- Genutztes Biomethan: 11,36
- Bisher ungenutztes Biomethan: 3,6

3,6 Mio. t Kraftstoff

(1) Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH. (2015). *Ressourcendatenbank Biomassepotentiale*. DBFZ.
 (2) Biomass potentials of biogenic residues, by-products and wastes in Germany – What we do know and what we do not know. (2021, Januar). Deutsches Biomasseforschungszentrum DBFZ.

2021_11_04 CAPHENIA_PPTL_V02

CAPHENIA | Unternehmen | Herausforderungen | USPs | Projekt | Technologie | Ausblick | 18



CAPHENIA
Turning CO₂ into fuel

PBtL Power-and-Biogas-to-Liquid

Sustainable.
Affordable.
Scalable.

House of Logistics and Mobility (HOLM)
Bessie-Coleman-Straße 7
60549 Frankfurt am Main
www.CAPHENIA.com

The image features a background of a blue sky with clouds above a horizontal line, and a large, clear blue iceberg floating in the water below. The text is overlaid on the right side of the image.

Dr. René Backes, BASF AB

Biomasse und Erneuerbare Energien – Nordeuropas Perspektiven

Dr. René Backes Business Development Specialist
BASF AB
Box 7144, Sven-Hultins-Plats 5,
412 58 Goeteborg, Sweden
Tel.: +46 73 4322546
E-Mail: rene.backes@basf.com

Climate protection is firmly embedded in BASF's corporate strategy. A central goal of this strategy is to achieve a reduced scope 1+2 emission in CO2 equivalents by 25% until 2030. To accomplish this, we are continuously optimizing existing processes and gradually replacing fossil fuels with renewable energy sources. BASF is also actively striving to become more sustainable. One of our goals is to make products that are less harmful to the environment but perform just as well as conventional products or even better with unique functionalities.

Substituting fossil resources with renewable or recycled raw materials is technically more challenging as the chemical industry is long term optimized for fossil raw materials. Changing the feedstock is further-

more a challenge in energy content and availability of the raw material. Last but not least it is required to stay close to the existing production units and the optimized processes as these products are required to maintain their properties in narrow ranges to fulfill the requirements of the industries along the value chain.

The presentation will discuss in particular possibilities in renewable energies as important factor of raw material change and first steps BASF is taking. We are open to discuss with stakeholders, partners and customers how we can overcome barriers like the lack of well-functioning value chains to speed up this process.

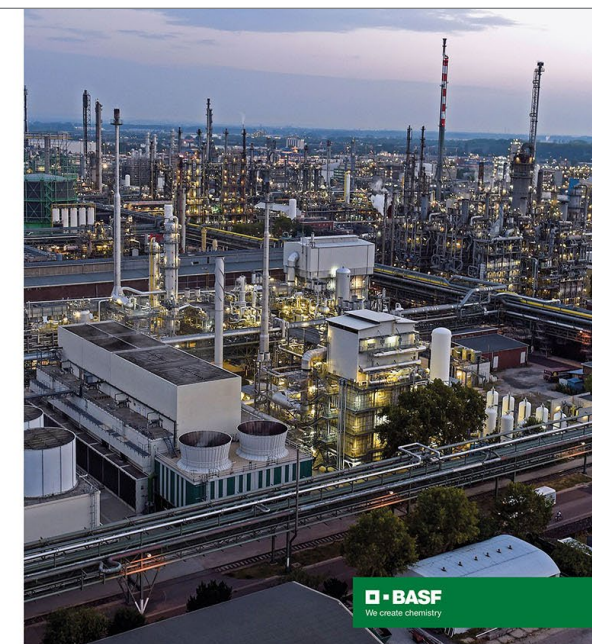


Overview

Content of this Presentation

- Introduction of BASF
- How we produce today
- Raw material change challenges and opportunities

2



BASF – we create Chemistry for a sustainable future

59.1 b€ sales

Our chemistry is used in almost **all** industries

6 Verbund sites and 241 other production sites

90 000 customers from various sectors globally

110 302 employees

We are committed to **reduce our absolute CO₂ emissions by 25% by 2030** and **aim net zero emissions by 2050.**

BASF's segments

<p>Chemicals Petrochemicals Intermediates</p>	<p>Materials Performance Materials Monomers</p>	<p>Industrial Solutions Dispersions & Pigments Performance Chemicals</p>	<p>Surface Technologies Catalysts Coatings</p>	<p>Nutrition & Care Care Chemicals Nutrition & Health</p>	<p>Agricultural Solutions</p>
--	--	---	---	--	--------------------------------------

BASF worldwide: sites

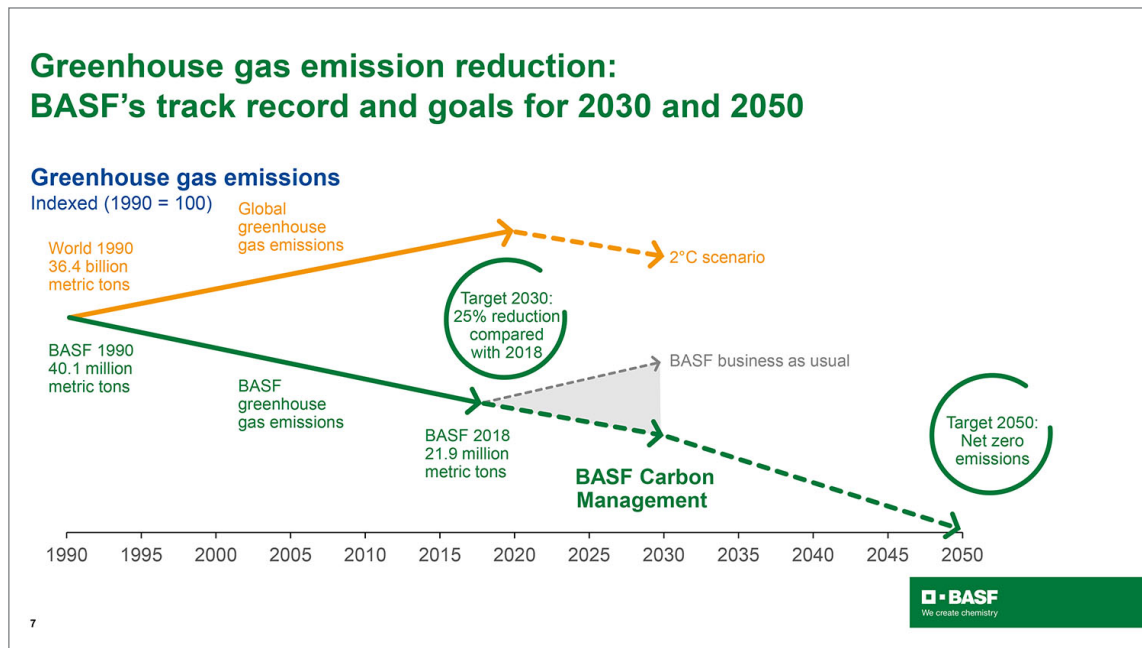
Antwerp
Ludwigshafen
Florham Park
Geismar
Freeport
Nanjing
Hong Kong
Zhanjiang
Kuantan
São Paulo

- Regional centers
- Selected sites
- Verbund sites
- Planned Verbund site
- Selected research and development sites

05.11.2021

Our purpose:

We create chemistry for a sustainable future



Overview

Content of this Presentation

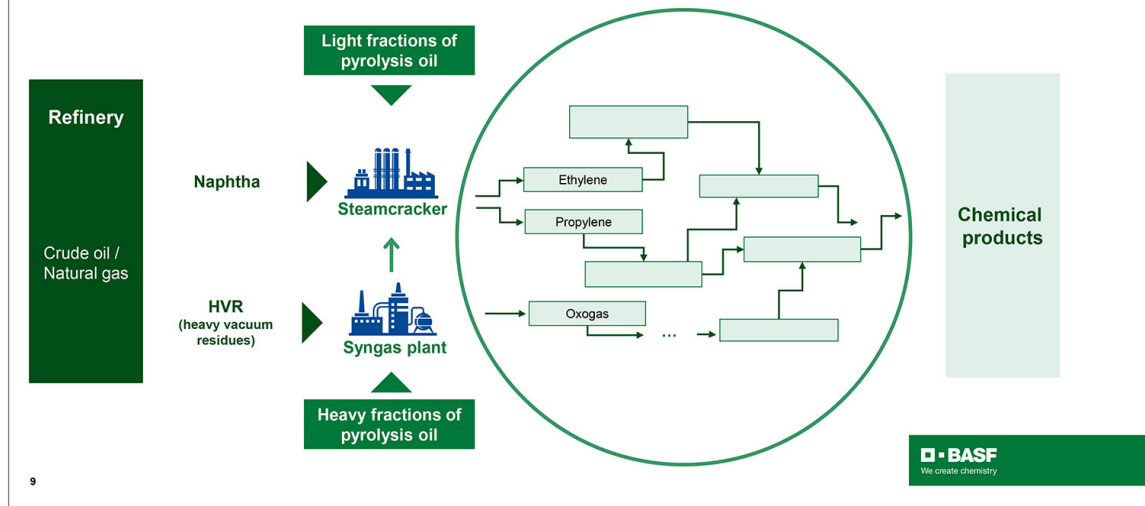
- Introduction of BASF
- How we produce today
- Raw material change challenges and opportunities



8

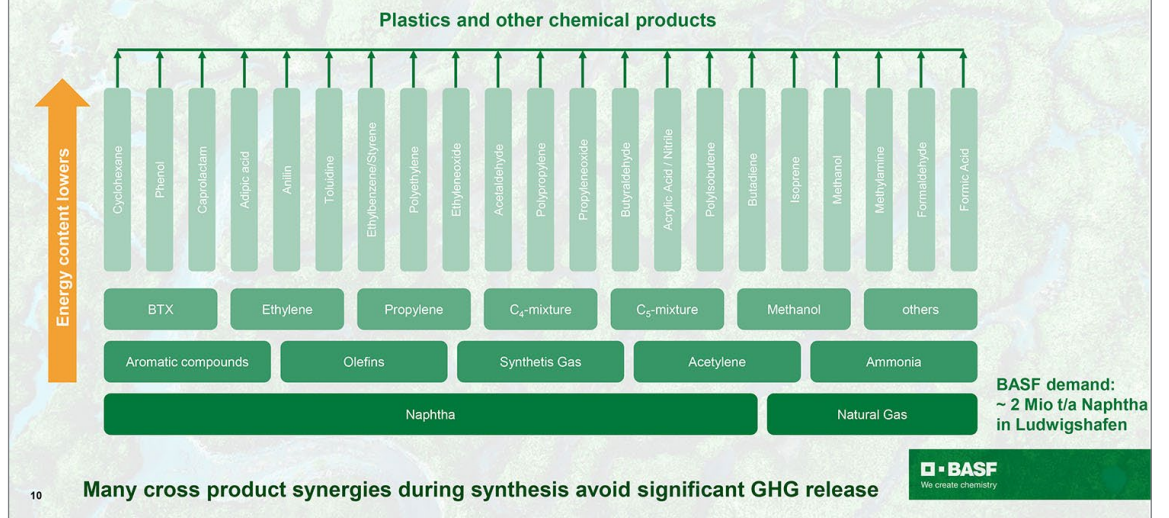
From raw materials to chemical products

Today



9

Production in the Chemical Industry



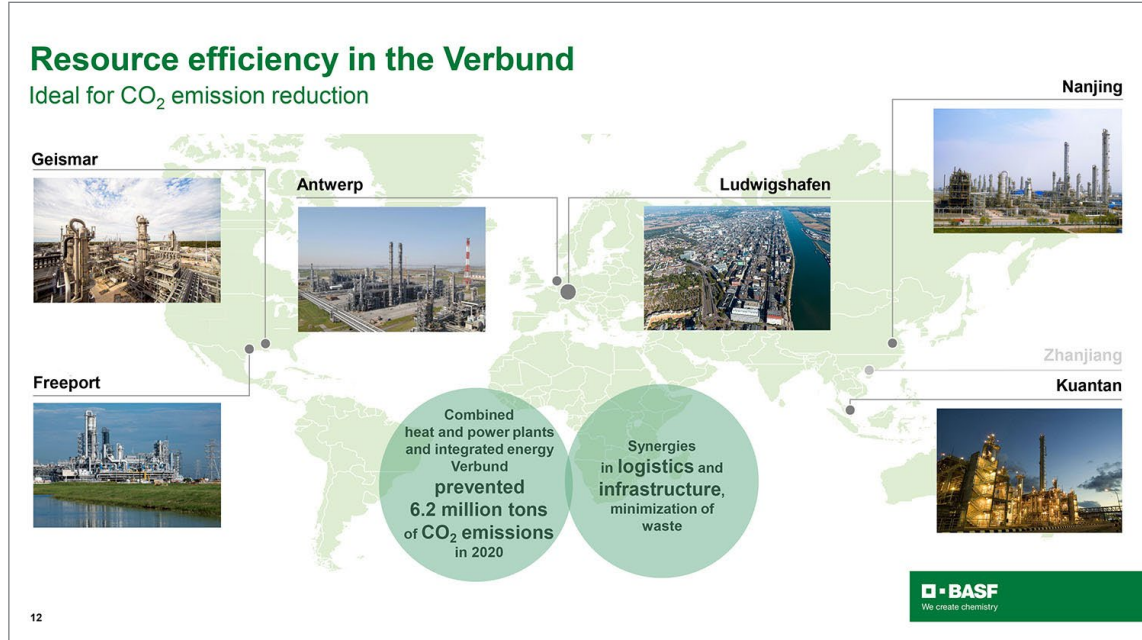
10



Verbund

integrated production site

11



Resource efficiency in the Verbund

Ideal for CO₂ emission reduction

Geismar



Antwerp



Ludwigshafen



Nanjing



Zhanjiang



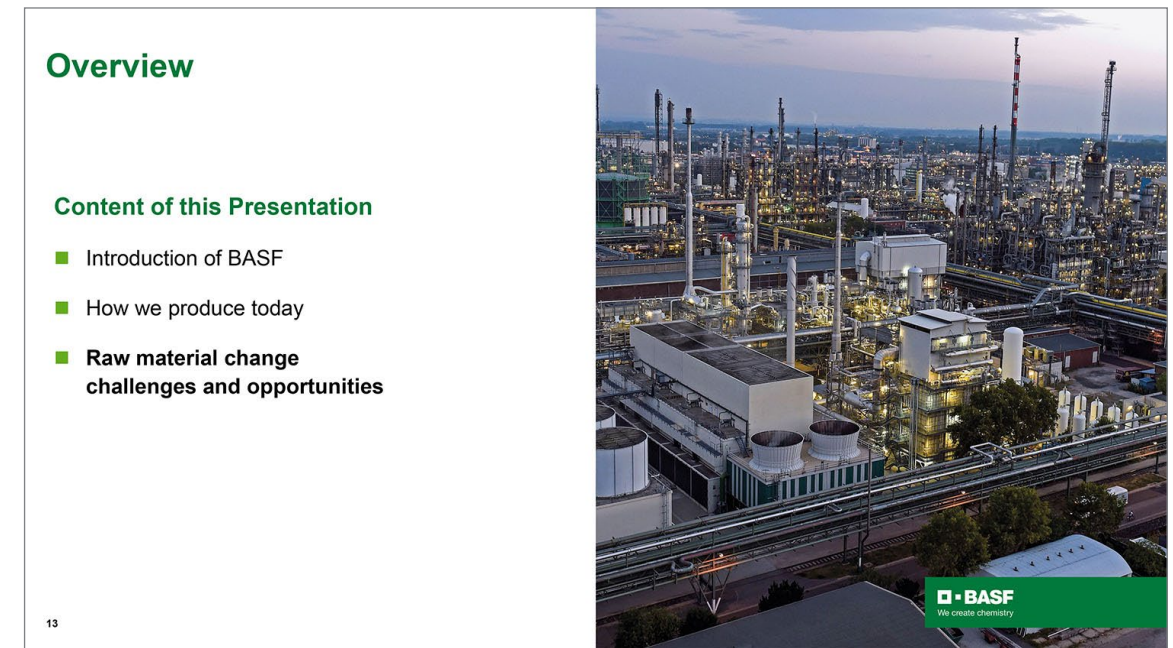
Kuantan



Combined heat and power plants and integrated energy Verbund prevented 6.2 million tons of CO₂ emissions in 2020

Synergies in logistics and infrastructure, minimization of waste

12



Overview

Content of this Presentation

- Introduction of BASF
- How we produce today
- Raw material change challenges and opportunities

13

Raw materials in the future Accessibility

Three to four classes – with different challenges

- Raw materials from growing material
 - ▶ High water and oxygen content (low energy)
 - ▶ Contamination with unwanted elements
- Raw materials from recycling
 - ▶ Designed for resistancy
 - ▶ Low energy content
 - ▶ Contamination with unwanted dirt
- Raw materials from Renewable Energy production
 - ▶ Storage of electricity in small molecules
- Fossil raw materials (in combination with BE-CCS/CCU)
 - ▶ Cheap, convenient, energy rich

14

Energy and Raw materials

Raw material
Ancient nature source

Energy & Time
200 Mio y
Heat & pressure

Fossil RM
Crude oil
Natural gas

Chemicals

Energy & Time
Renewable Energy
No time at all

Raw material
today nature source

Chemistry, as we know

NEW concepts and processes needed!

BASF
We create chemistry

Energy accumulation – new ways to chemicals

Example Biomass

CAUTION:
Hydrogen is a very light element. Therefore the J/kg value is rather high. Volume is different:
1kg Hydrogen – 11.2 m³
1kg Propylene – 0.5 m³
1kg Methane – 1.4 m³
1kg Ethanol – 0.001 m³

Alternatives to increase energy content

- **Hydrogenation of Biomass**
 - ▶ Remove Oxygen as Water
- **Disproportionation**
 - ▶ Remove Oxygen by converting parts of Biomass to CO₂ and transfer the energy content to the residual C's
- **Remonomerisation/Gasification**
 - ▶ Introduce heat to disconnect biomass to monomers (CO/H₂)

Energy required for transformation – Renewable Energy

Material	Lower heating value in MJ/kg
CO ₂	0
CO	10
wood	19
Chemicals	50
Hydrogen	120

BASF
We create chemistry

BASF's partner projects for renewable energy supply

Photo: Vattenfall

- BASF purchased a 49.5% share in the **offshore wind farm Hollandse Kust Zuid** from Vattenfall which will be the **largest offshore wind farm in the world** with a total installed capacity of **1.5 gigawatt** once **fully operational in 2023**. BASF's Dutch production sites, BASF's Verbund site in Antwerp, Belgium, and other European BASF sites will benefit from the renewable energy.
- Planned cooperation with **RWE** on **new technologies for climate protection**: Additional **offshore wind farm with a capacity of 2 gigawatts** to provide the Ludwigshafen chemical site with green electricity and enable CO₂-free production of hydrogen.
- BASF and China Resources Power made the first deal to **purchase renewable electricity** through Guangdong Power Exchange Center in Guangdong Province, China. BASF secures **100% renewable electricity for its first plants at the Zhanjiang Verbund site** under the pilot "Guangdong Renewable Energy Trading Rules" published in April 2021.

BASF
We create chemistry

To meet our high demand for renewable energy, we will focus on two pillars ensuring additionality

BASF's additional green power demand for large European sites
Ludwigshafen, Antwerp and Schwarzheide, terawatt hour per year

Year	Additional green power demand (TWh/year)
2021	~1
2025	~3
2030	~6
2035	~18
2040	~23

Invest in own assets

- Building up portfolio of own assets
- Goal: Secure long-term supply at producer economics

Purchase green power from third parties

- Contracting power purchase agreements and renewable energy certificates (PPA/REC)
- Goal: Diversified portfolio (technologies, regions) at current, attractive prices

We will combine both pillars to one diversified portfolio, taking into account costs, flexibility and availability

BASF
We create chemistry

Thank you for your kind attention



Dr. René Backes

New Business Development Specialist Renewables

rene.backes@basf.com

BASF
We create chemistry

BASF
We create chemistry

Veranstalter

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH

Unser Auftrag

Das DBFZ wurde 2008 durch das ehemalige Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) mit dem Ziel gegründet, eine zentrale Forschungseinrichtung für alle relevanten Forschungsfelder der Bioenergie einzurichten und die Ergebnisse der sehr vielschichtigen deutschen Forschungslandschaft in diesem Sektor zu vernetzen. Der wissenschaftliche Auftrag des DBFZ ist es, die effiziente Integration von Biomasse als eine wertvolle Ressource für eine nachhaltige Energiebereitstellung wissenschaftlich im Rahmen angewandter Forschung umfassend zu unterstützen. Dieser Auftrag umfasst technische, ökologische, ökonomische, soziale sowie energiewirtschaftliche

Aspekte entlang der gesamten Prozesskette (von der Produktion, über die Bereitstellung, bis zur Nutzung). Die Entwicklung neuer Prozesse, Verfahren und Konzepte wird durch das DBFZ in enger Zusammenarbeit mit industriellen Partnern begleitet und unterstützt. Gleichzeitig erfolgt eine enge Vernetzung mit der öffentlichen deutschen Forschung im Agrar-, Forst- und Umweltbereich, wie auch mit den europäischen und internationalen Institutionen. Gestützt auf diesen breiten Forschungshintergrund erarbeitet das DBFZ darüber hinaus wissenschaftlich fundierte Entscheidungshilfen für die Politik erarbeiten.



Veranstalter:

**DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH**

Torgauer Straße 116

04347 Leipzig

Telefon: +49 (0)341 2434-112

Telefax: +49 (0)341 2434-133

E-Mail: info@dbfz.de

www.dbfz.de



Umweltschutz geht uns alle an - nicht jedes
Dokument muss ausgedruckt werden!