



# Das Projekt reFuels – Chance und Herausforderungen für die Mobilität der Zukunft

Thomas Koch, Olaf Toedter

Deutsche Physikalische Gesellschaft, Bad Honnef, Oktober 2023



# Weitere Anwendungen



reFuels – Kraftstoffe neu denken

strategiedialog  
automobilwirtschaft BW

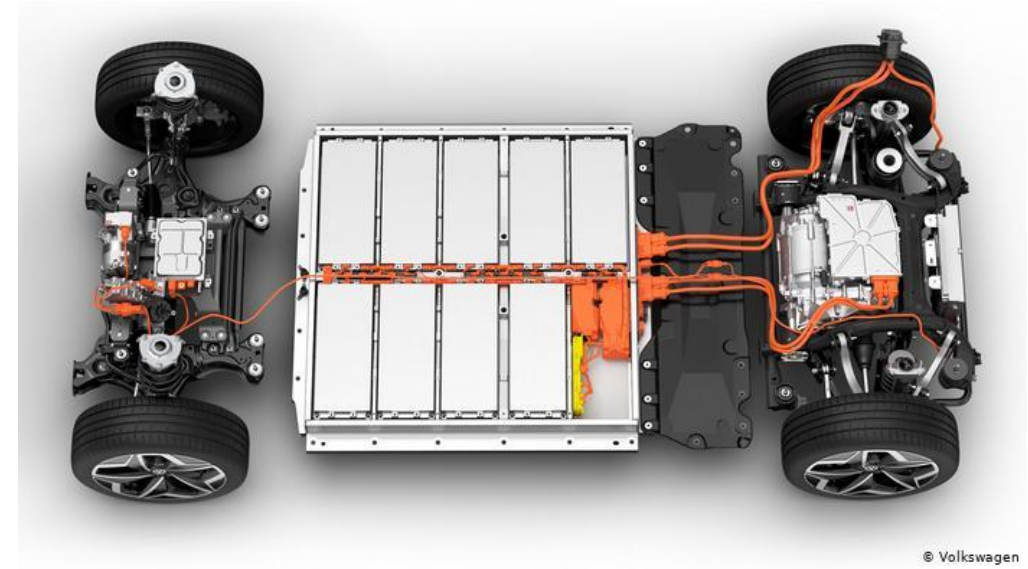
  
Baden-Württemberg  
MINISTERIUM FÜR VERKEHR

  
KIT  
Karlsruher Institut für Technologie

# Zwei Fahrzeugtechnologien (mit Kraftstofftank und/oder Batterie)



Quelle: <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/daimler-glaubt-an-zukunft-von-verbrennungsmotoren-14578856.html>



© Volkswagen

Quelle: <https://www.dw.com/de/ein-ungehobener-schatz-recycling-von-e-auto-batterien/a-51996406>



reFuels – Kraftstoffe neu denken

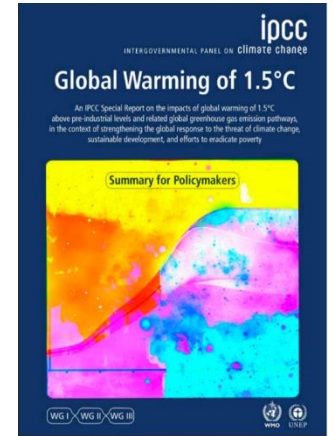
strategiedialog  
automobilwirtschaft BW

  
Baden-Württemberg  
MINISTERIUM FÜR VERKEHR

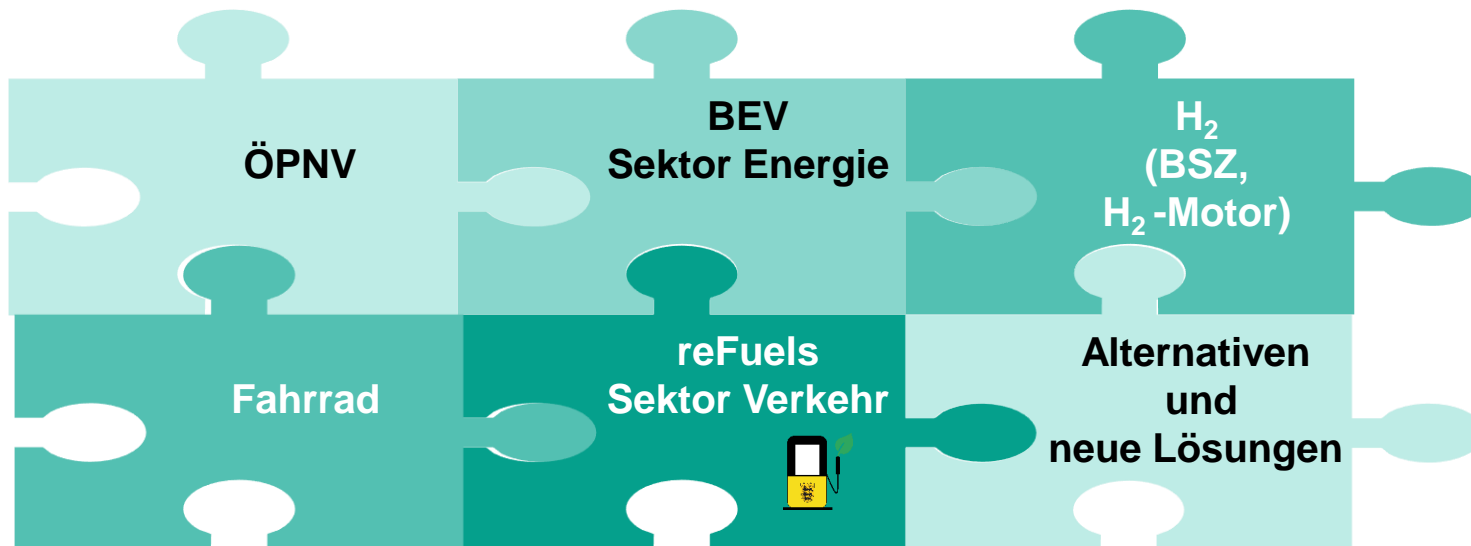
  
KIT  
Karlsruher Institut für Technologie

## Ausgangssituation

- **2018:** IPCC Bericht informiert über ein CO<sub>2</sub>-Restbudget der gesamten Menschheit von 420 GT, um die Erderwärmung auf 1,5°C zu limitieren (Wahrscheinlichkeit 66%).
- **2021:** Green Deal strebt eine schnelle und effiziente CO<sub>2</sub>-Reduktion an!
- **2021:** Im Bereich der Mobilität führen mehrere Wege ins Ziel. Viele Länder der Erde streben eine Kombination an.



[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15\\_SPM\\_version\\_report\\_LR.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf)



reFuels  =

*advanced bioFuels* und *eFuels* verhalten sich identisch!

**advanced bioFuels +**

Speiseabfälle, Biomasse, Biomüll, Pflanzen ohne Frucht,...

**eFuels**

Wasser-Elektrolyse, CO<sub>2</sub> aus der Luft: DAC,  
Fischer-Tropsch, Methanol to Gasoline



# reFuels

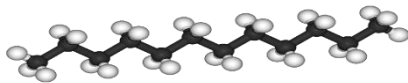
## reFuels – Beispielhafte Produktionswege



Für die Wasserstoffgewinnung wird elektrische Energie (Elektrolyse von Wasser) benötigt.

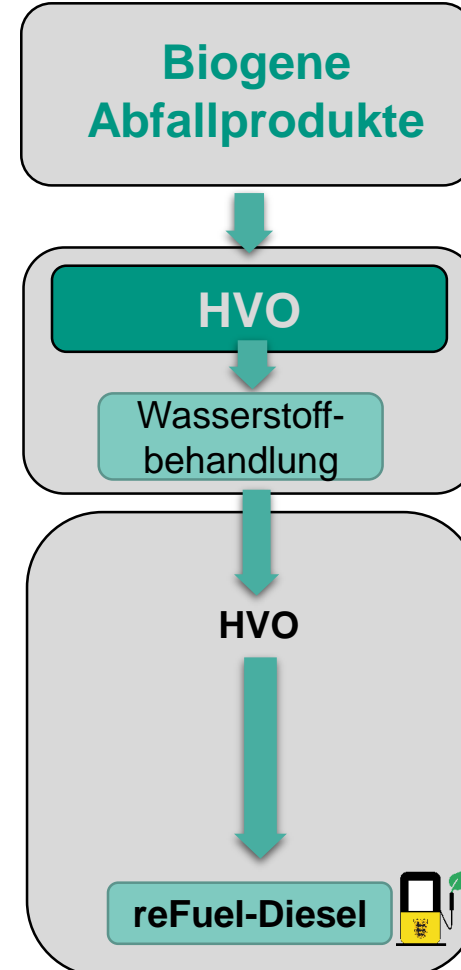
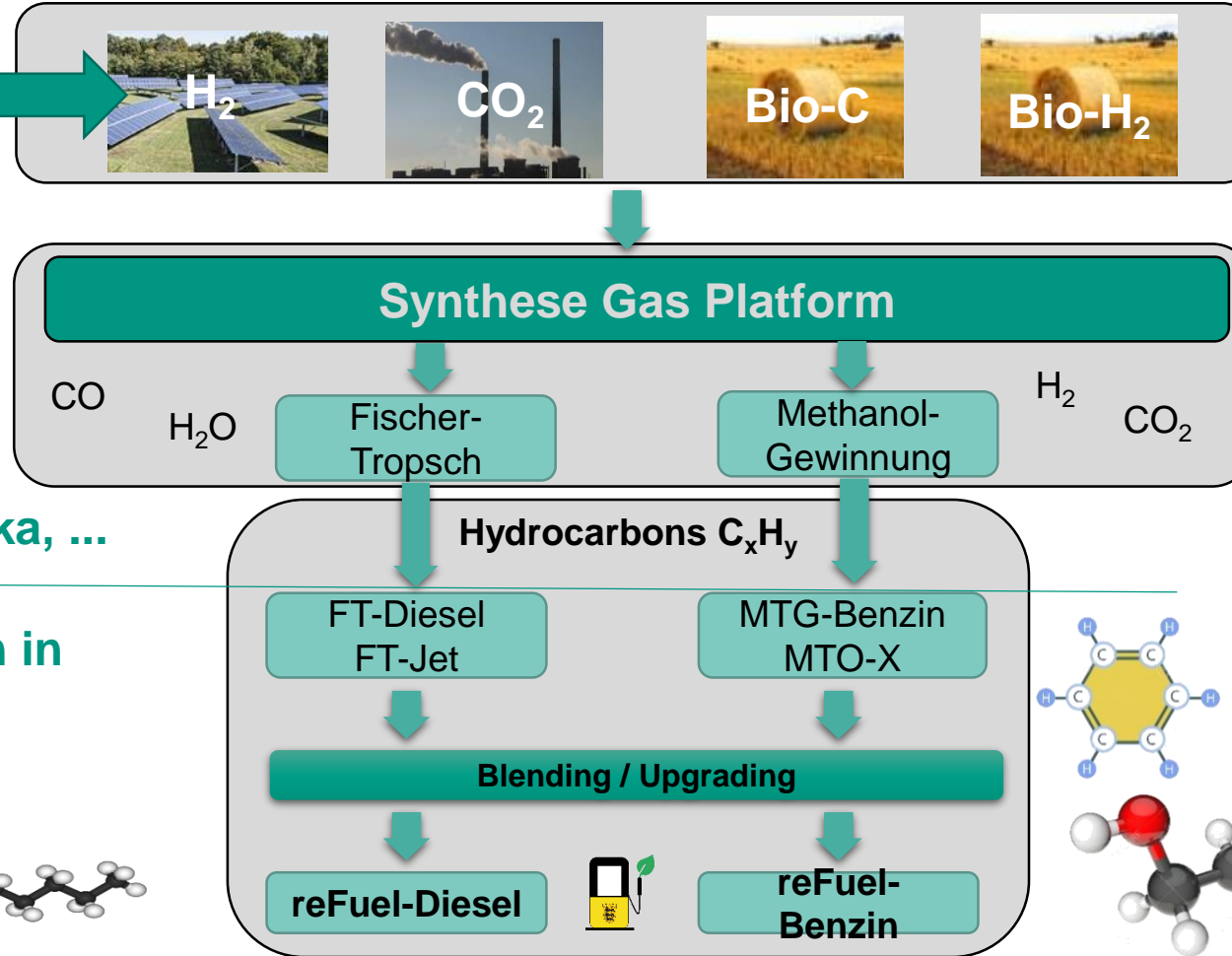
Syncrude aus Gunstregionen wie Afrika, Arabien, Südamerika, ...

Endverarbeitung in Raffinerien in Europa.



### eFuels

### 2.-3. Gen bioFuels (kein Tank/Teller Konflikt)



Es werden nur C und H Quellen benötigt. Damit können Energieträger hergestellt werden.



- Ergebnisbericht
  - Übersicht
  - Cluster A
  - Cluster B
  - Cluster C
- reFuels Demo

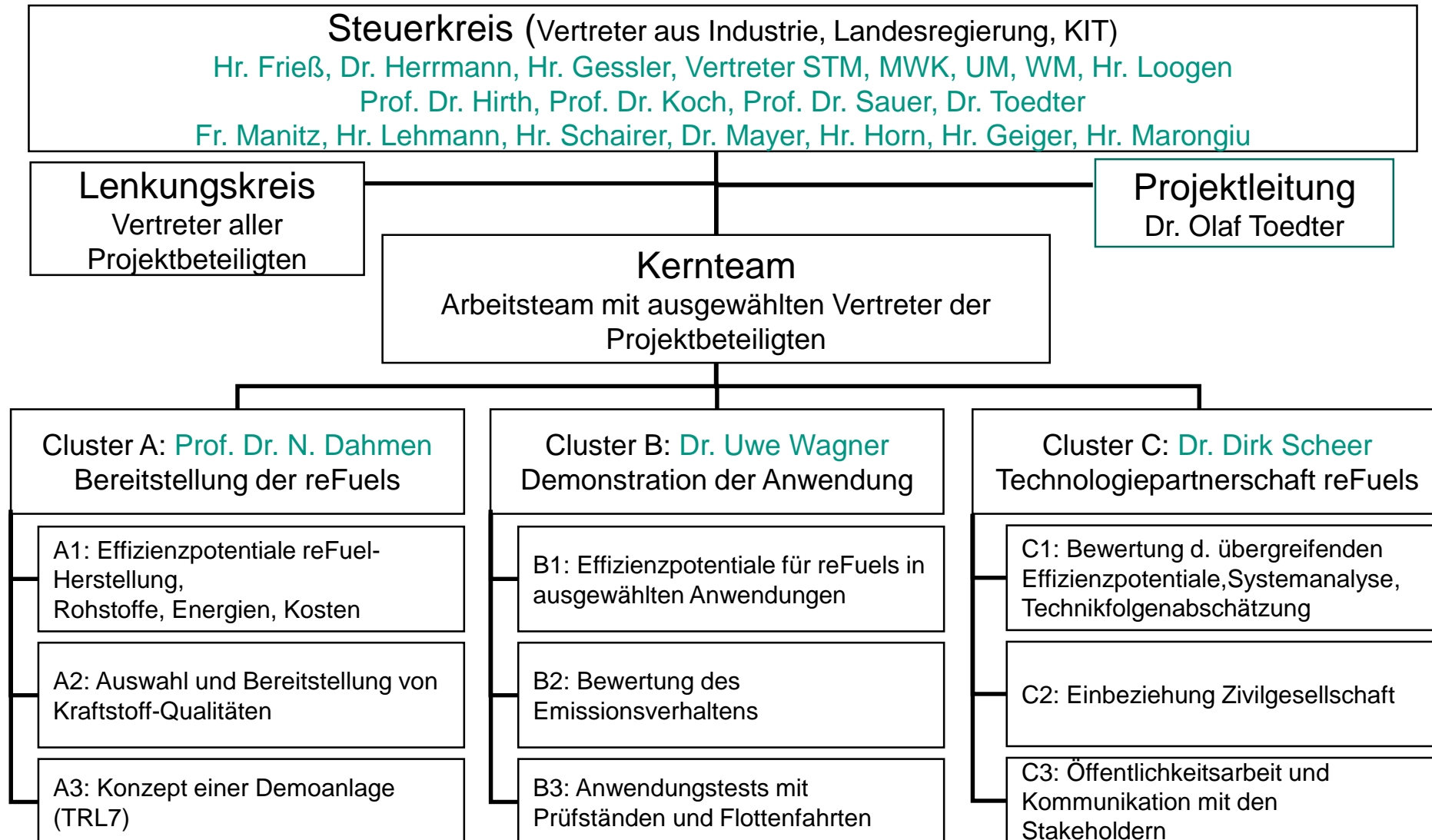


- Ergebnisbericht
  - Übersicht
  - Cluster A
  - Cluster B
  - Cluster C
- reFuels Demo



# reFuels – Kraftstoffe neu denken

## Organisation des reFuels-Projekts





### *reFuels Projekt (1/2019 – 12/2020)*

- Bereitstellung und Validierung von *reFuels* Produktmustern (normgerechte Produktmuster Diesel und Benzin) im Tonnen-Maßstab
- Erhöhung der Technologie-Reifegrade für Methanol- und Fischer-Tropsch-basierte Verfahren
- Erhöhung der Kohlenstoff- und Energieeffizienz durch effiziente Nutzung und Aufbereitung der Koppelprodukte und durch Nutzung der Energie- und Stoffströme gekoppelter Anlagen in der Integration der Prozesse
- Ganzheitliche Bewertung – Herstellungsverfahren, Herstellkosten, Produkteigenschaften, Umwelteinflüsse (Lebenszyklusanalyse) und Anwendung im Bestand
- Stakeholder-Diskurs und Kommunikation der Ergebnisse in die Gesellschaft
- Entwicklung des Konzeptes einer Raffinerie-integrierten Demonstrationsanlage inkl. Bewertung der Stoffströme und Kosten und Darstellung von Effizienzpotenzialen



### ***reFuels-Projekt-Verlängerung und -Ergänzung (1/2021 – 6/2022)***

- Vorbereitung der Umsetzung und Integration in ein bestehendes Anlagenumfeld
- Erweiterung der bewerteten Technologieszenarien um Importszenarien für Zwischenprodukte wie Methanol und Erstellung eines weiteren Konzeptes für eine Raffinerie-integrierte Demoanlage auf dieser Basis
- Erhöhung der Beimischquoten bis zum „reFuels-Reinkraftstoff“ → 85% Otto + 100% paraffinischer Diesel
- Dauerlauf in Kooperation mit einer Spedition mit ca. 1 Mio. Kilometer

### ***reFuels-DEMO (6/2022 – laufend)***

- Umsetzung der Antrag- und Planungsaktivitäten zur Integration in ein bestehendes Anlagenumfeld
- Durchführung weiterführender Analysen

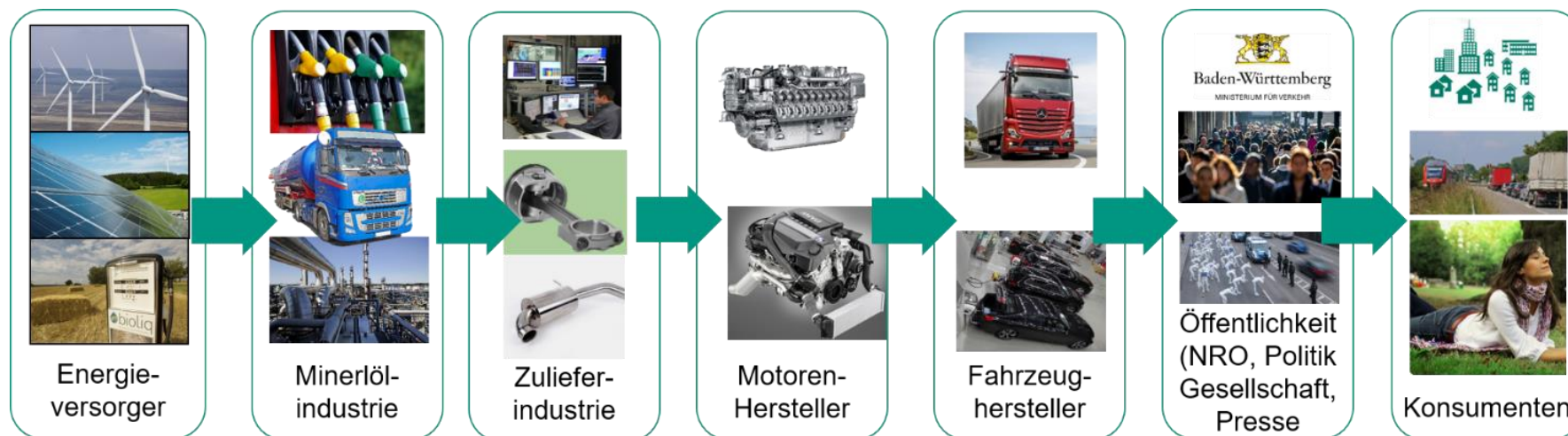


### *Hemmnisse zu Beginn des Projektes*

- Unterschiedliche Kraftstoffsyntheseprozesse (Pyrolyse, Fischer-Tropsch, Methanisierung, etc.) und unterschiedliche Ausgangsstoffe (Feedstocks) werden mit unterschiedlichen Bezeichnungen (advanced Biofuels, e-Fuels, Reststoff-Kraftstoffe etc.) bezeichnet und meist alternativ diskutiert statt ergänzend.
- Der Technologiereifegrad einzelner Prozessschritte war gegeben, aber nicht für integrierte Anlagenkonzepte mit signifikanten Mengen demonstriert.
- In der öffentlichen Diskussion wurden die einzelnen Technologiepfade als ausschließlich betrachtet statt als ergänzend.
- In der Wissenschaft wurden viele unterschiedliche Ausprägungsformen und Kraftstoffformulierungen diskutiert, was eine Fokussierung der Industrie sowohl auf der Synthese- als auch auf der Anwendungsseite erschwert.

### *Hemmnisse zu Beginn des Projektes*

- Es gab keine zusammenhängende Umweltbilanzierung, die vergleichbar die unterschiedlichen Technologiepfade und die komplette Prozesskette von der Energiewandlung über die Synthese, bis zur Nutzung abbildet.
- Bisherige Systemanalysen haben nur einzelne Kraftstofftypen betrachtet, statt eines Gesamtkonzeptes.
- Die o.g. Informationen mussten mit den betroffenen Stakeholdern diskutiert und der Öffentlichkeit kommuniziert werden.

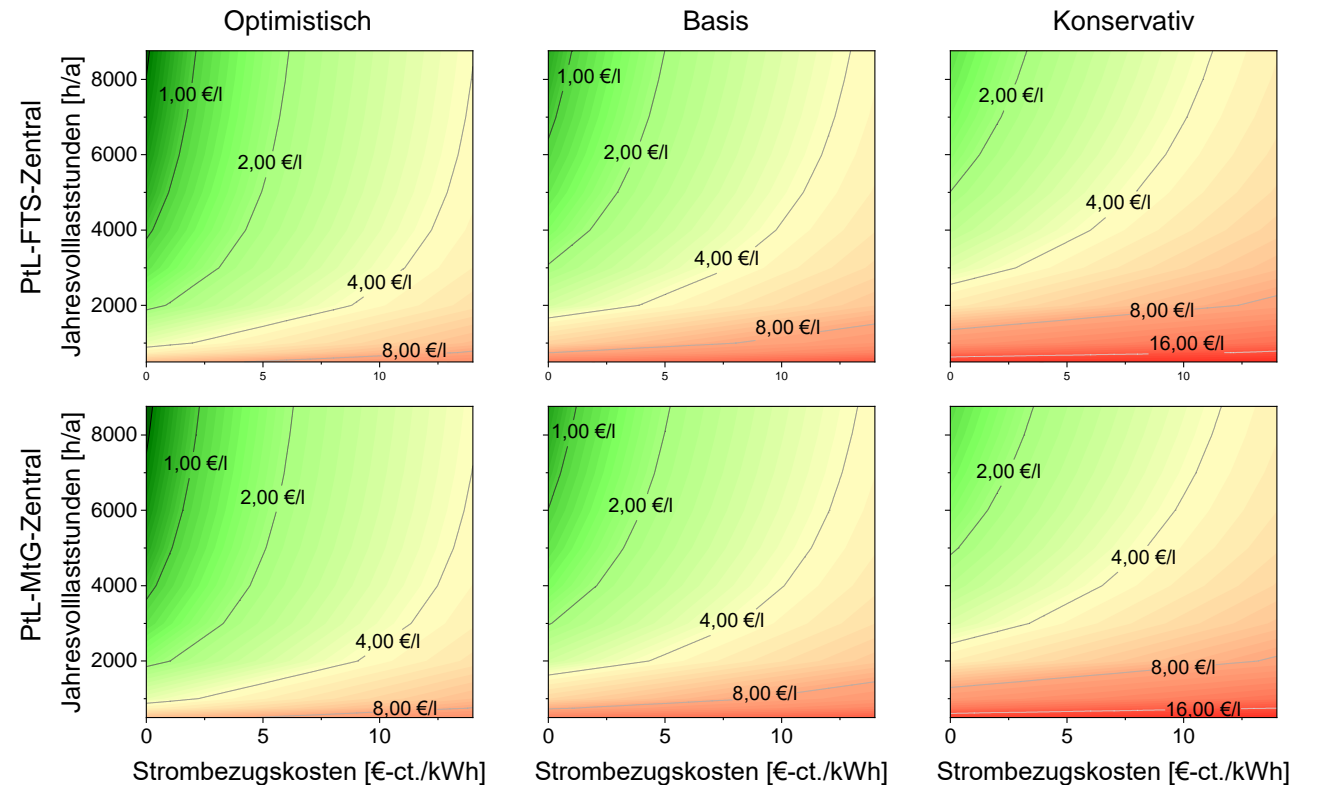
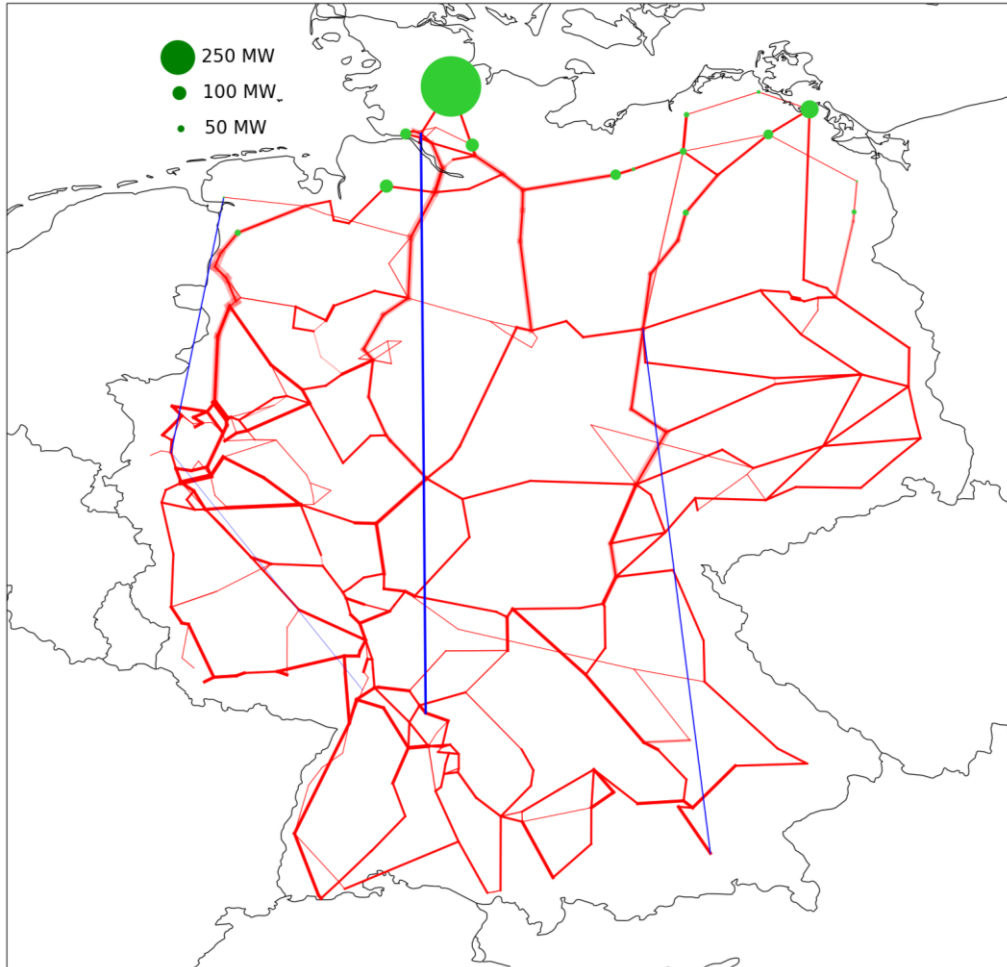


## Agenda

- Ergebnisbericht
  - Übersicht
  - Cluster A
  - Cluster B
  - Cluster C
- reFuels Demo

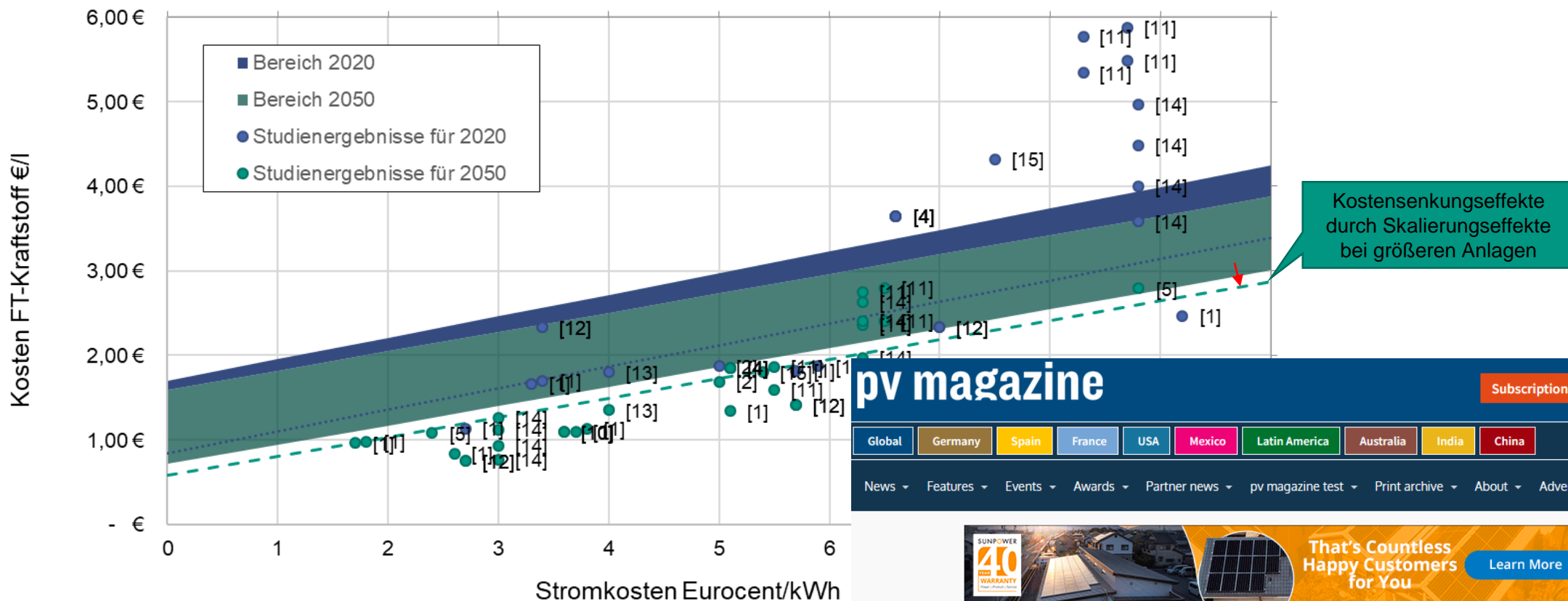


### ■ Optimale Allokation der Elektrolyse nach RED II in 2030 und Kraftstoffsynthese-Kosten



# reFuels – Kraftstoffe neu denken

## Ergebnisbericht Cluster A1: Exkurs



pv magazine

Subscriptions

Global Germany Spain France USA Mexico Latin America Australia India China

News Features Events Awards Partner news pv magazine test Print archive About Advertise

SUNPOWER 40 YEAR WARRANTY

That's Countless Happy Customers for You

Learn More

[1] Agora/Frontier Economics 2018	[6] UBA/lfeu/Infras/LBST 2016
[2] Leopoldina/Acatech 2017	[7] Öko-Institut/DLR/lfeu/Infras 2016
[3] UBA 2019	[8] Enervis 2017
[4] UBA/Öko-Institut/KIT/Infras 2016	[9] Öko-Institut/Fraunhofer ISI 2015
[5] FVV 2018	[10] Dena/EWI 2018

### Saudi Arabia's second PV tender draws world record low bid of \$0.0104/kWh

The record low price was offered for the 600 MW Al Shuaiba PV IP project, which competed in the second round of the country's procurement scheme for renewable energies.

APRIL 8, 2021 EMILIANO BELLINI

# Electricity From These Power Plants Will Cost Just 1 Cent Per Kilowatt Hour

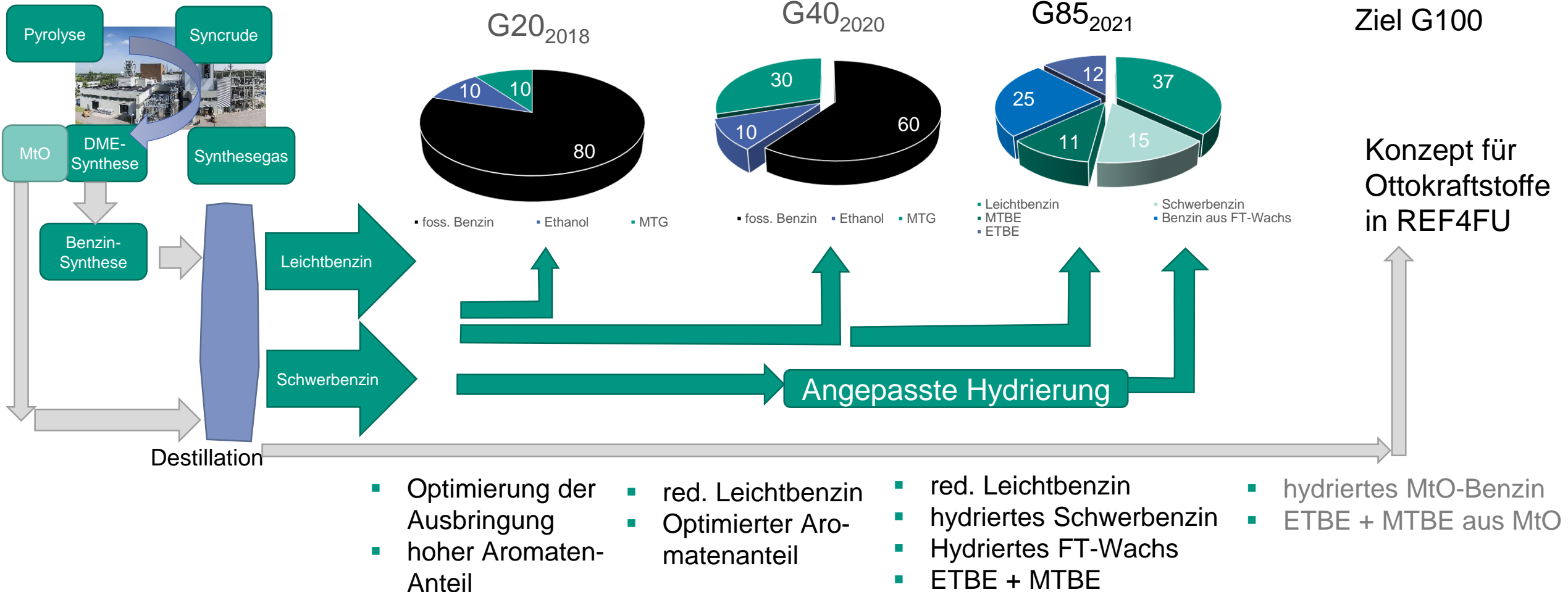




# reFuels – Kraftstoffe neu denken

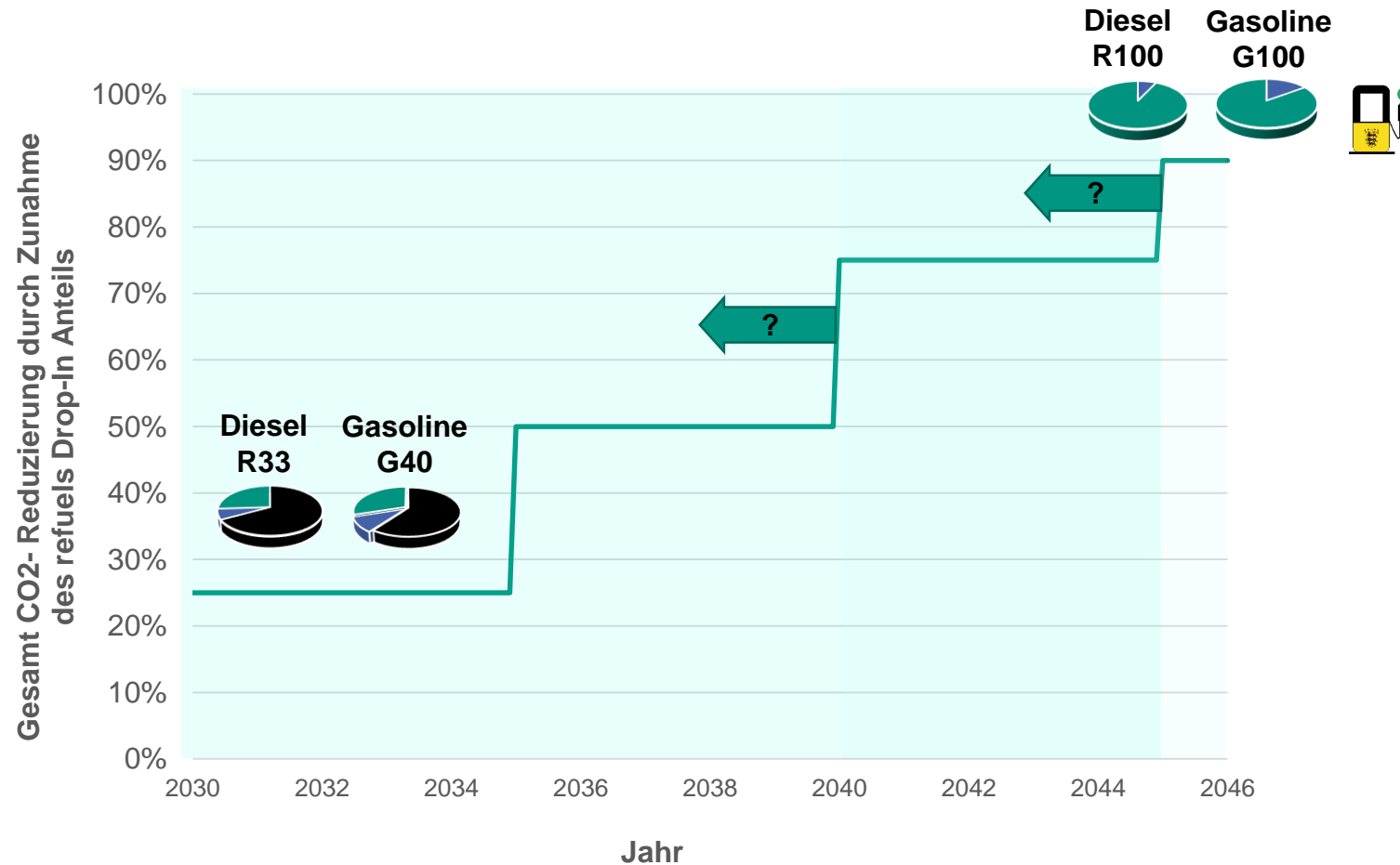
## Ergebnisbericht Cluster A2

### ■ Methanol-to Gasoline (MtG) – Blending von EN 228-Kraftstoffen



# reFuels – Kraftstoffe neu denken

## Ergebnisbericht Cluster A2: Exkurs



### ■ Integrierter Synthese-Container zur Herstellung von Fischer-Tropsch-Kraftstoffen aus $\text{CO}_2$

- Integration des RWGS
- Integration der Hydrierung der Produkte
- Integration der Separation der Produkte





## Agenda

- Ergebnisbericht
  - Übersicht
  - Cluster A
  - Cluster B
  - Cluster C
- reFuels Demo



### ■ Analyse der reFuels und ihrer Blends

Kraftstoff	Siedende [°C]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Verhältnis [% (V/V)]	RON
E5	197,1	747,4	4,8 % Ethanol	95,0
G40	180,1	751,8	10 % EtOH + 30 % bioliq® 2020 +60% fossiles Benzin	100,8
G85	173,7	762,9	85% regenerativ	95,2
bioliq®/10 2018	196,9	-	90 % E5 + 10 % bioliq® 2018	96,4
bioliq®/10 2019	197,1	-	90 % E5 + 10 % bioliq® 2019	96,0
bioliq®/30 2019	190,2	-	90 % E5 + 30 % bioliq® 2019	97,4

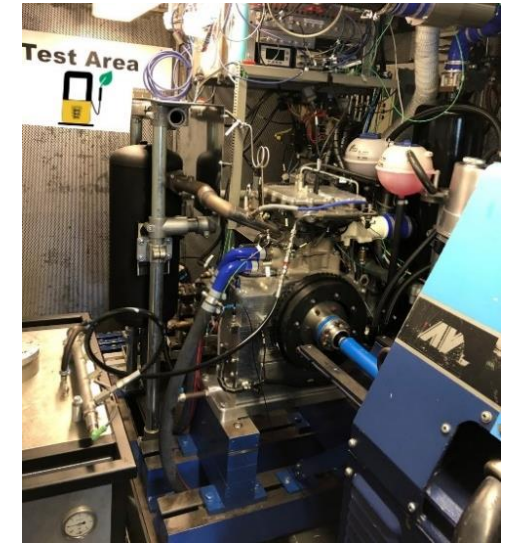
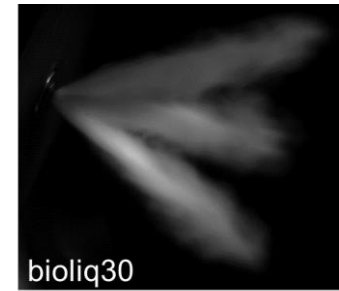
Kraftstoff	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Verhältnis [% (V/V)]	Cetanzahl
B0	833,1	100% fossiler Diesel	53,5
B7	837,6	93% fossiler Diesel + 7 % FAME	52,7
R33 <sup>1</sup>	821,0	7 % FAME + 26% BtL + 67% foss. Diesel B0	62,6
S33	821,0	7% FAME + 24% PtL + 69% foss. Diesel B0	59,9
R33 <sup>2</sup>	821,9	7 % FAME + 26% BtL + 67% foss. Diesel B0	56,7
HVO	780,1	100% BtL	74,8

- Es lassen sich fast alle Kraftstoffe durch regenerative Kraftstoffe ersetzen, mind. 85%
- Keine Auffälligkeiten in der Materialverträglichkeit
- Keine Auffälligkeit in den Rohemissionen bei optimierten Blends
- Keine Auffälligkeiten im Betrieb
- Sekundär-Potenzial zur Emissionsreduktion

# reFuels – Kraftstoffe neu denken

## Ergebnisbericht Cluster B

- Positive Analyse der reFuels und ihrer Blends in Motor, Fahrzeug und Flotte



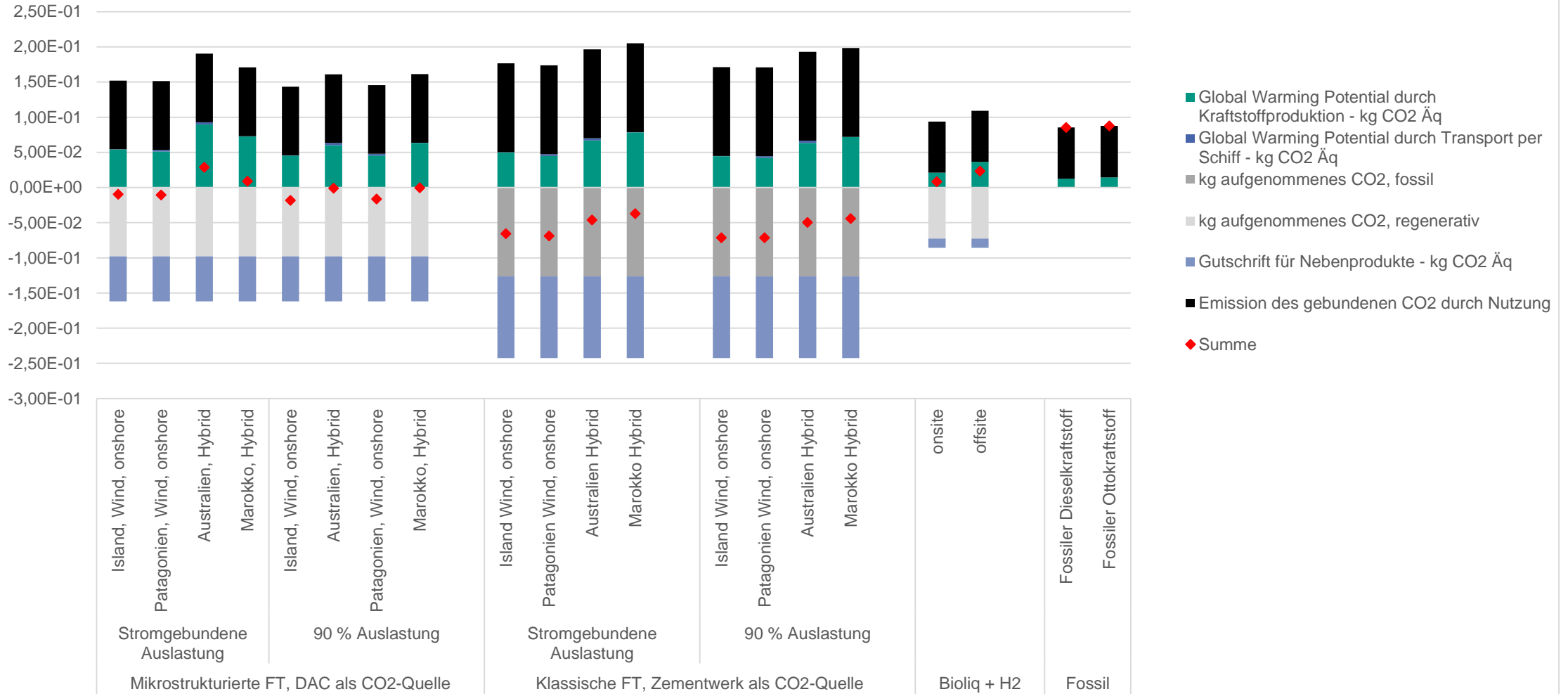
## Agenda

- Ergebnisbericht
  - Übersicht
  - Cluster A
  - Cluster B
  - Cluster C
- reFuels Demo





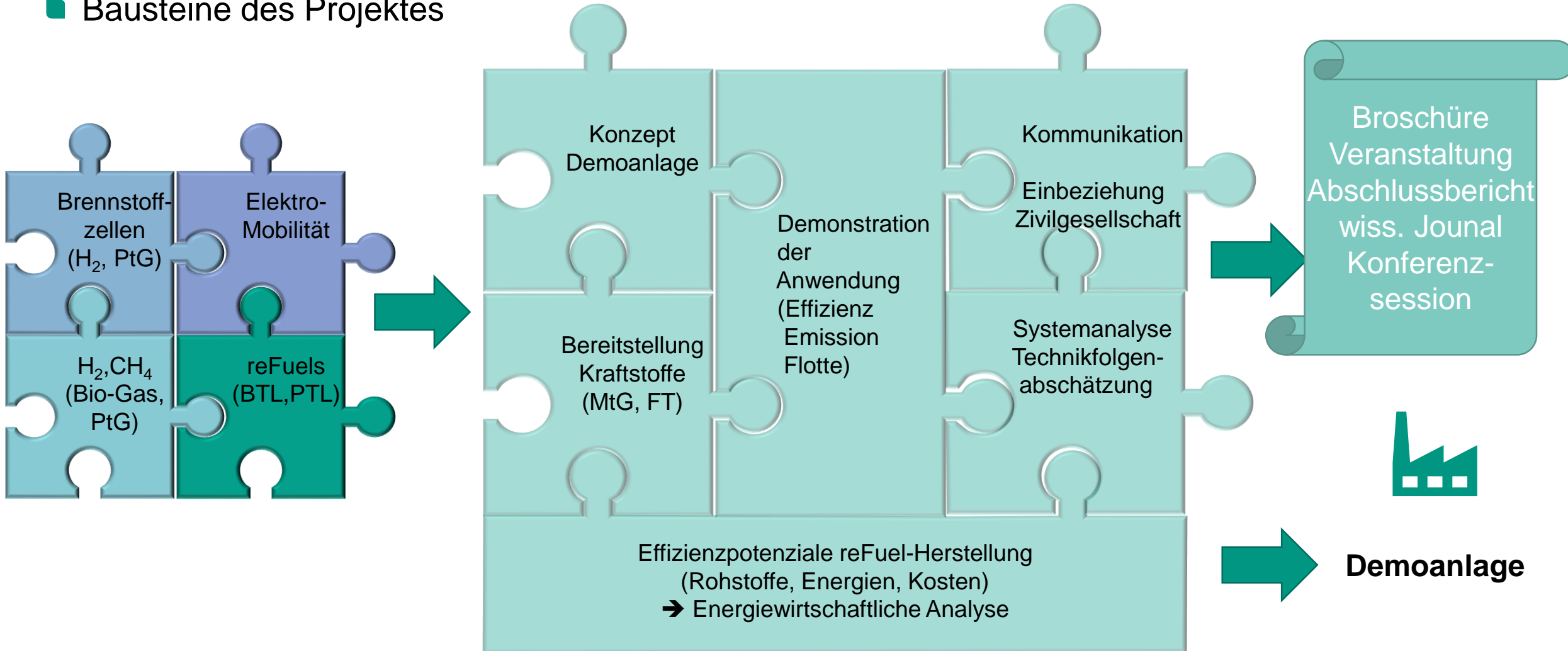
### Ökobilanz: vor Optimierung schon durchweg großes Treibhausgasreduktionspotenzial der reFuels



# reFuels – Kraftstoffe neu denken

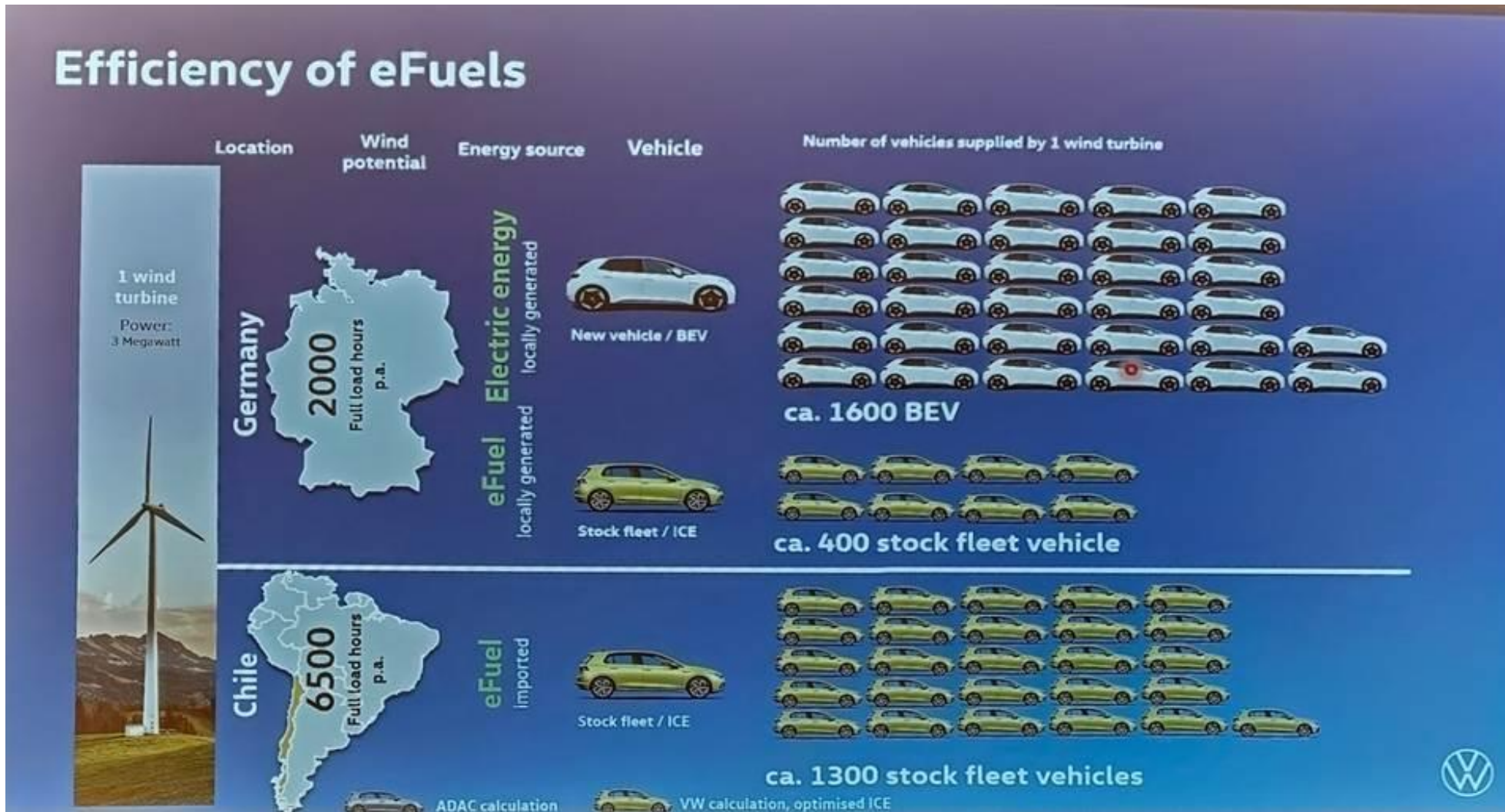
## reFuels als Baustein zur CO<sub>2</sub>-neutralen Mobilität

### ■ Bausteine des Projektes



# reFuels – Kraftstoffe neu denken

## reFuels als Baustein zur CO<sub>2</sub>-neutralen Mobilität: Exkurs



## Agenda

- Ergebnisbericht
  - Übersicht
  - Cluster A
  - Cluster B
  - Cluster C
- reFuels Demo



### Willkommen bei MiRO

Mineraloelraffinerie Oberrhein

Impressum & Datenschutz

#### Willkommen bei MiRO

Portrait

Produkte & Prozesse

Sicherheit & Umwelt

Beruf & Ausbildung

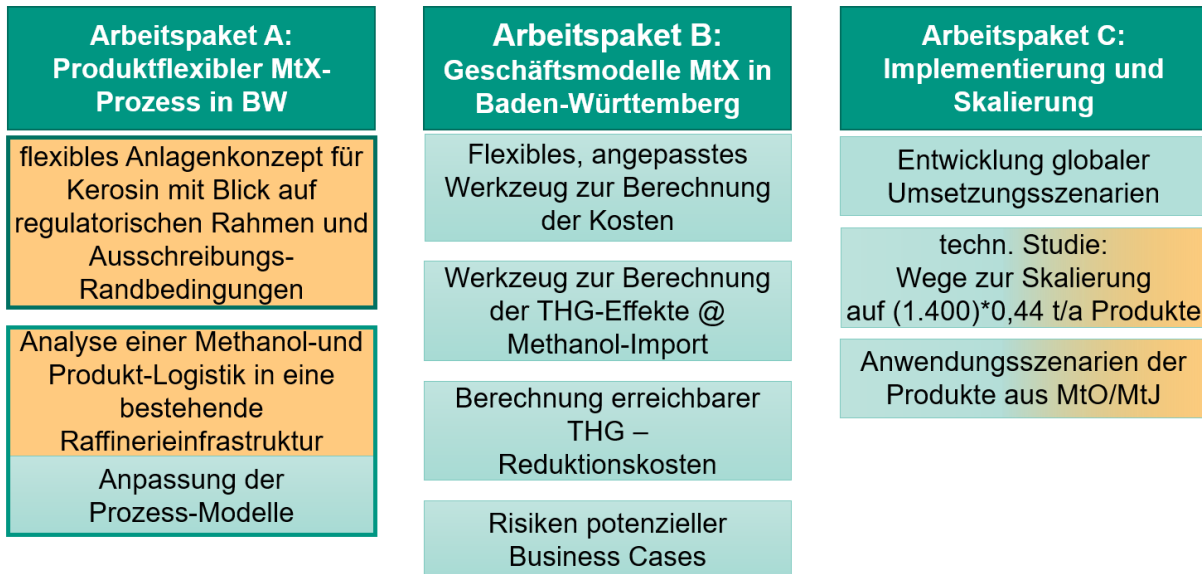
Presse

Kontakt & Info



## reFuels Demo

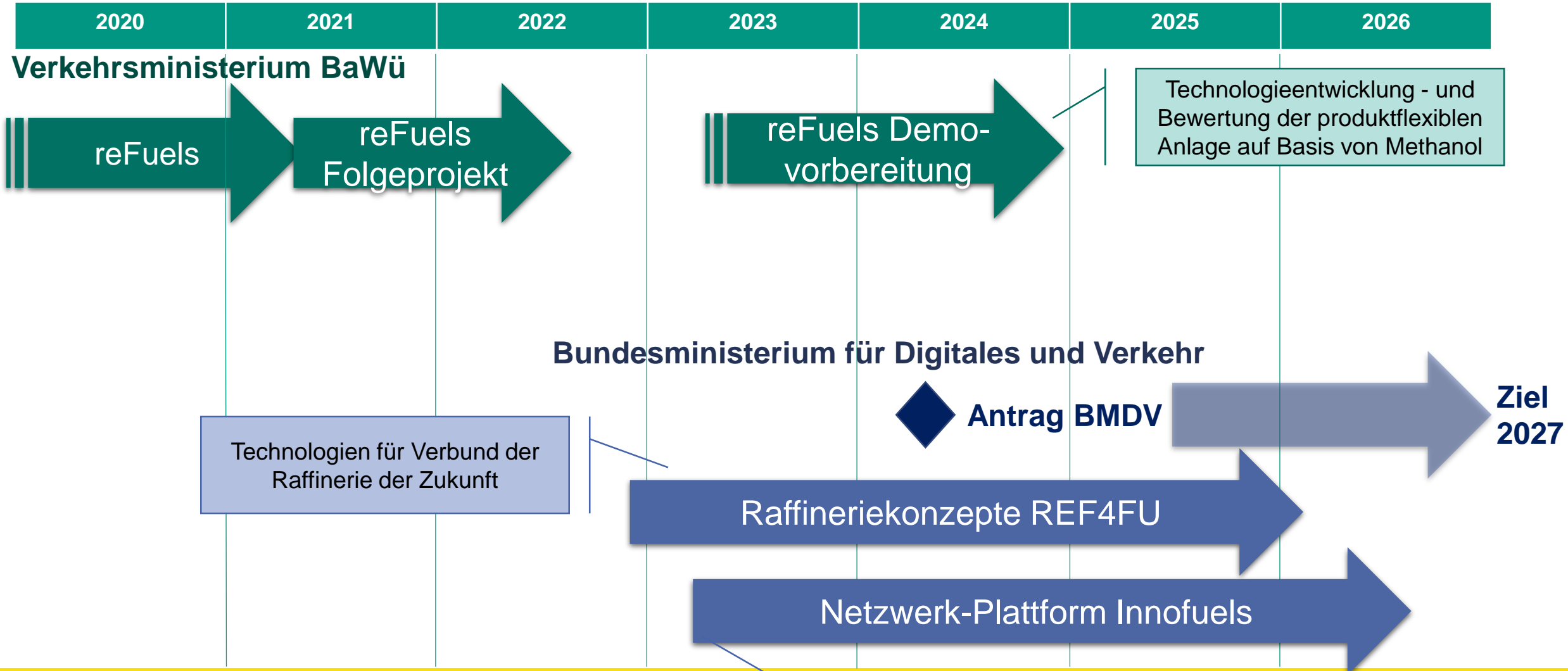
### ■ Produktflexibles MtX-Anlagenkonzept



- 27.04.2023 Abstimmung (IIP) zum Aufbau des Kostenrechnermodelles und dessen Anforderungen an die Ergebnisse des zu beauftragenden Dienstleisters
- 27.04.2023 Abstimmung (ITAS) zum Aufbau der Ökobilanz und deren Anforderungen an die Ergebnisse des zu beauftragenden Dienstleisters
- 03.05.2023 Abstimmung der geplanten Vorgehensweise mit der Technik der MiRO
- Ausarbeitung der Vergabeunterlagen schreitet erfolgreich voran.

# reFuels – Kraftstoffe neu denken

## Strategische Vorhaben zu reFuels am KIT



Kürzel	Fördersumme	Verbundvorhaben	Ausführende Stellen
M2SAF	3,097,323.65 €	01249443/1 – Nachhaltiges Kerosin aus Methanol - Methanol to Sustainable Aviation Fuel	ASG Analytik-Service AG, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., thyssenkrupp Industrial Solutions AG, BASF SE, OMV Deutschland
MEDTEMPELEKT	319,492.33 €	Co-Elektrolysetechnologien 200-400 °C zur Herstellung e-Fuels aus Kohlendioxid und Wasserdampf in einem Prozessschritt	Technische Universität München (LS für Anorganische Chemie)
RePoSe	3,425,490.22 €	01249278/1 – Real time Power Supply for e-fuels - PtL-Produktion bei variabler Stromverfügbarkeit	FhG (IWKS) Hanau, FhG (LBF), INERATEC, Provadis School, CENA
MeFuSuSION	2,897,343.19 €	01249448/1 – Methanol Fuel-Cell Supplychain Investigation	DBI Freiberg, Gumpert Automobile, Uni Stg (IABP), CreativeQuantum GmbH
MariSynFuel	6,586,425.25 €	01252589/1 – Synthetisches Methanol als maritimer Kraftstoff für die Schifffahrt aus Bremerhaven	UTG Unabhängige Tanklogistik GmbH, Alfred-Wegener-Institut, Förderung des Technologietransfers HS Bremerhaven, Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik (ISL)
InnoFuels	5,236,424.04 €	01250751/1 – Vernetzung, Weiterentwicklung und Rahmenbedingungen zum Hochlauf strombasierter Kraftstoffe und fortschrittlicher Biokraftstoffe	Uni Rostock (LS KM VM), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., KIT (IKFT), CENA, DBFZ, ZSW, KIT (IFKM), HS Rhein-Main
DeCarTrans	14,932,696.11 €	01251169/1 – Demonstrating a Circular Carbon Economy in Transport along the Value Chain	Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH, Hermann Lothar & Co. , FEV GmbH, TU BF (IEC), Coryton GmbH, FZ Jülich (IEK-14)
REF4FU	7,420,150.29 €	01250724/1 – REF4FU	KIT (IKFT), INERATEC GmbH, EDL GmbH, TU BF (IEC), KIT (IFKM), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., DBFZ
SAFari	14,929,441.71 €	01250186/1 – Entwicklung, Integration und Demonstration der vollständigen Methanol-to-Jet fuel-Prozesskette und der Nachweis der hohen Selektivität auf einem TRL > 5	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Clariant GmbH, BP Europe SE, ASG Analytik-Service AG, FhG (IISE)
SynergyFuels	13,600,982.49 €	01250722/1 – SynergyFuels	FhG (BioCat), TUM (Elektrobiotechnologie), TUM (Regenerative Energiesysteme), TUM (Bioverfahrenstechnik), TUM (Mikrobielle Biotechnologie), TUM (Chemie Biogener Rohstoffe), TUM (chem u therm. Verfahrenstechnik), Martech GmbH, Clariant GmbH, TFZ im Kompetenzzentrum nachwachsende Rohstoffe, FhG (Umsicht)



### *reFuels Gesamtprojekt*

- Mehrere tausend Kilogramm reFuels Kraftstoff wurden in Karlsruhe erfolgreich produziert, die Spezifikationen bestimmt, weiterführende Energiewandlungsschritte analysiert und die generelle Eignung festgestellt.
- Sowohl der Fischer-Tropsch als auch der Methanolpfad zeigen eine große Attraktivität und hohes Potential.
- Die meisten Einzelprozessschritte liegen mit einer Reife für eine großskalige Produktion vor. Einzelne Prozessschritte (z.B. OtJ) bedürfen weiterführender Aktivitäten.
- Eine Umsetzung einer großskaligen Anlage (ca. 50.000t/a) steht im Vordergrund der aktuellen Projektaktivitäten mit dem Fokus auf Methanol als Energieträger.
- Eine ganzheitliche Analyse mit betriebswirtschaftlichem Fokus betont die Strategie, die Zwischensyncrude (Methanol, Fischer-Tropsch) an optimalen Standorten weltweit zu platzieren.
- Der zur Verfügung gestellte Energieträger (reFuels) wird für alle geeigneten Mobilitätsformen analysiert.



Vielen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit

