



H₂-basierte reFuels als Baustein einer CO₂-neutralen Mobilität

Wasserstoff für die Wärmeversorgung und den öffentlichen Nahverkehr
Session: Wasserstoff im ÖPNV – Erfahrungen und Ausblicke

1. Juli 2022 Dr.-Ing. Olaf Toedter



Motivation: Gestaltung der Verkehrswende


24.06.2021: Überarbeitung des KSG

Bundesgesetzblatt Jahrgang 2019 Teil I Nr. 48, ausgegeben zu Bonn am 17. Dezember 2019 2513

**Gesetz
zur Einführung eines Bundes-Klimaschutzgesetzes
und zur Änderung weiterer Vorschriften**
Vom 12. Dezember 2019

Der Bundestag hat das folgende Gesetz beschlossen:


<p>Artikel 1 Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)</p> <p>Inhaltsübersicht</p> <p>Abchnitt 1 Allgemeine Vorschriften</p> <p>§ 1 Zweck des Gesetzes § 2 Begriffsbestimmungen</p> <p>Abchnitt 2 Klimaschutzziele und Jahresemissionsmengen</p> <p>§ 3 Nationale Klimaschutzziele § 4 Zulässige Jahresemissionsmengen, Verordnungsgebungsfrist § 5 Emissionsdaten, Verordnungsunterstützung § 6 Berichterstattung § 7 Durchführungsbestimmungen zur Europäischen Klimaschutzverordnung § 8 Subjektives Ziel bei Überschreitung der Jahresemissionsmengen</p> <p>Abchnitt 3 Klimaschutzplanung</p> <p>§ 9 Klimaschutzprogramme § 10 Berichterstattung</p> <p>Abchnitt 4 Expertenrat für Klimawagen, Verordnungsunterstützung</p> <p>§ 11 Unabhängiger Expertenrat für Klimawagen, Verordnungsunterstützung § 12 Aufgaben des Expertenrats für Klimawagen</p>	<p>Abchnitt 5 Verpflichtungen der öffentlichen Hand</p> <p>§ 13 Informationspflichten § 14 Bund-Länder-Gemeinschaft § 15 Klimawachstum-Berichterstattung</p> <p>Anlage 1 Sektoren: S. 1 bis §§ 4 und 5) Anlage 2 S. 1 bis § 1)</p> <p>Abchnitt 1 Allgemeine Vorschriften</p> <p>§ 1 Zweck des Gesetzes</p> <p>Zweck dieses Gesetzes ist es, zum Schutz vor den Auswirkungen des weltweiten Klimawandels die Erreichung der nationalen Klimaschutzziele sowie die Erhaltung der europäischen Zielvorgaben zu gewährleisten. Die ökologischen, sozialen und ökonomischen Folgen werden berücksichtigt. Grundlage bildet die Verpflichtung nach dem Übereinkommen von Paris auf Grund der Klimaimpaktkonvention der Vereinten Nationen, wonach der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf nicht über 2 Grad Celsius und möglichst auf 1,5 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen ist, um die Auswirkungen des weltweiten Klimawandels so gering wie möglich zu halten, sowie das Erstreben der Bundesrepublik Deutschland auf dem Klimagipfel der Vereinten Nationen am 23. September 2019 in New York, Treibhausgasneutralität bis 2038 als langfristiges Ziel zu verfolgen.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Das Bundesgesetzblatt in Internet: www.bundesgesetzblatt.de | Ein Service des Bundesanzeiger Verlag www.bundesanzeiger-verlag.de | 

Quelle: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/ksg_aendg_2021_3_bf.pdf
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>

Deutschland soll früher klimaneutral werden

- Treibhausgasemissionen
 - Bis 2030: 65 % weniger CO₂ (bislang 55 %)
 - Bis 2040: 88 % weniger CO₂
 - 2045: Klimaneutralität (bislang 2050)
- Zulässige jährliche CO₂-Emissionsmengen für einzelne Sektoren wie Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr oder Gebäudebereich werden abgesenkt.



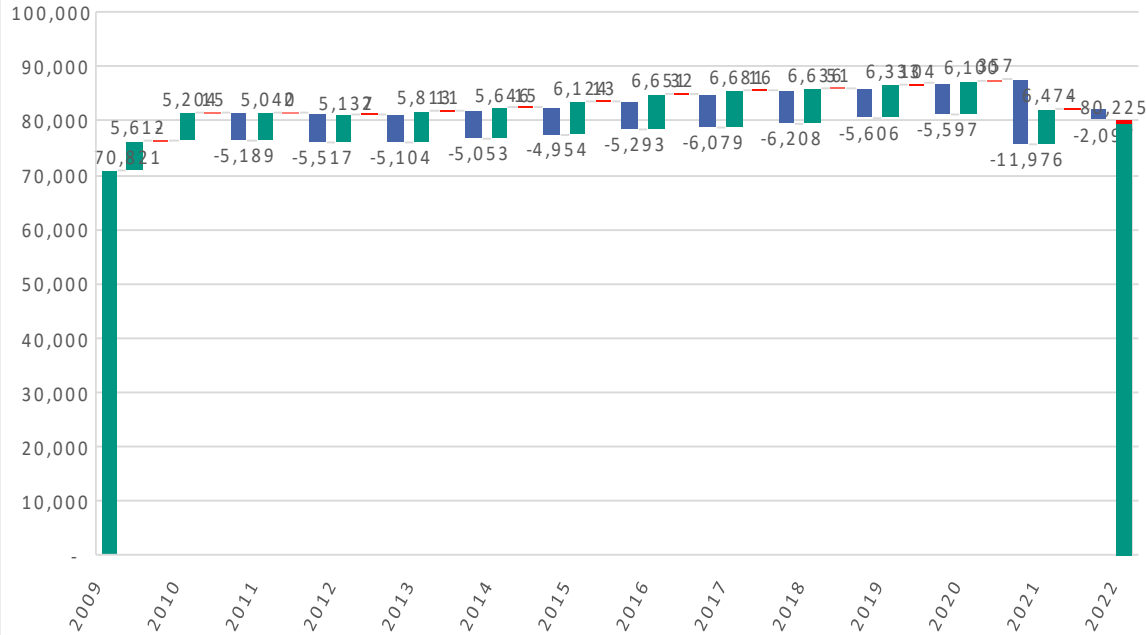
Eine gesamte Reduzierung der CO₂ Emissionen von 65% bis 2030 ist im KSG verankert.

Gestaltung der Verkehrswende

Entwicklung des Bus Fahrzeugmarktes

Verlauf Deutsche Busflotte

Zulassung CEB Zulassung BEB Abmeldung



➔ 50% CO₂-Reduktion TTW würde **50% BEB** erfordern

➔ 40,1 t Busse = 50%

➔ 39,6 t BEB in 8 Jahren

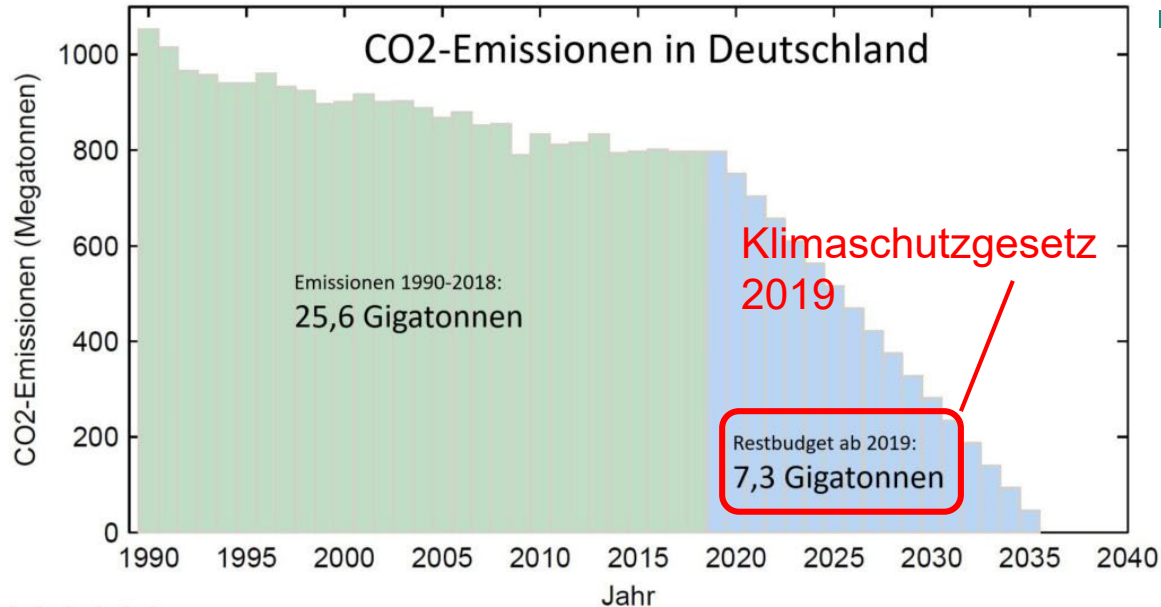
➔ ~5 t BEB / Jahr @6,7 t#/a



Gestaltung der Verkehrswende

Betrachtung des Restbudgets

■ Treibhausgas-Restbudget



- Der „Sachverständigenrat für Umweltfragen“ nennt für 2020 ein Restbudget von
 - 4,2Gt CO_{2äq} für die Erreichung der Paris-Ziele (1,5°C @ 50%)
 - 6,6 Gt CO_{2äq} 1,75°C @ 50% → identisch Ziel aus KSG 2019

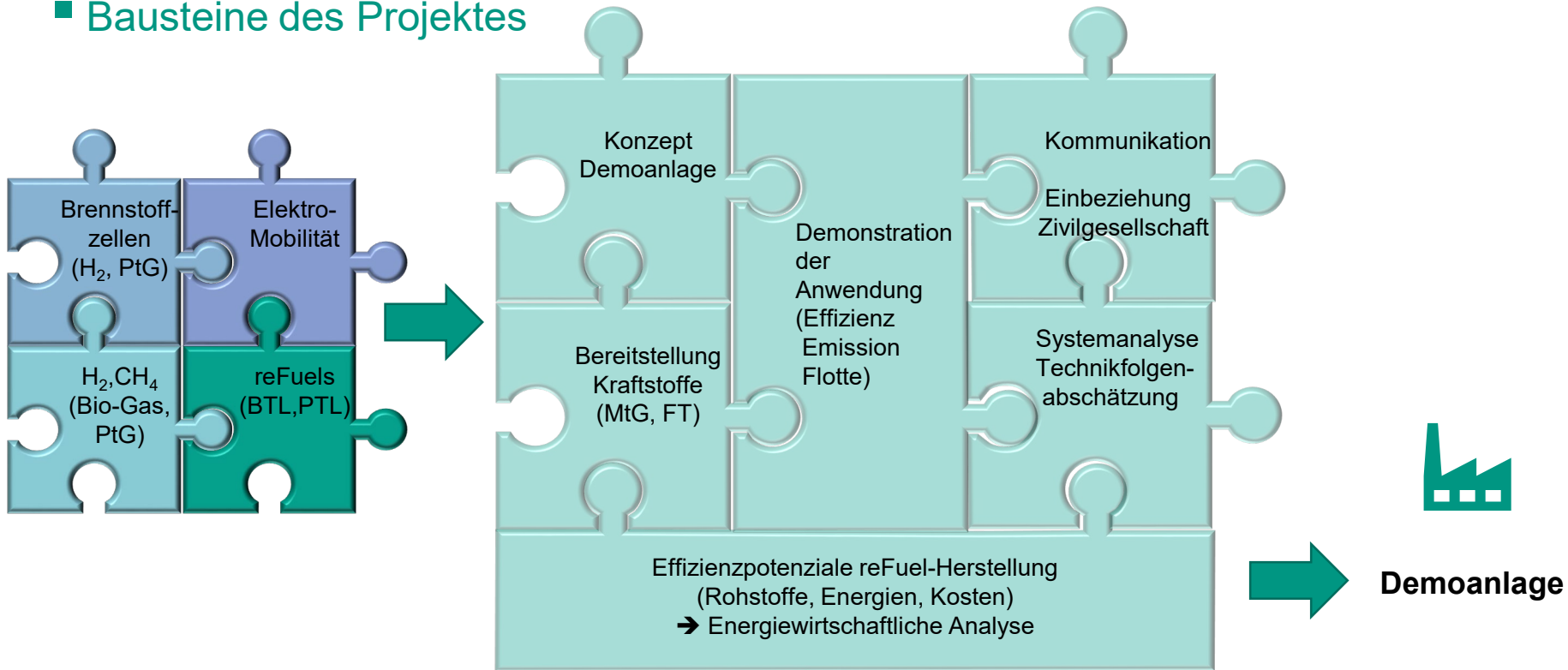
Rahmstorf, S, 2019, Spectrum.de SciLogs <https://scilog.spektrum.de/klimalounge/wie-viel-co2-kann-deutschland-noch-ausstossen/>



reFuels – Kraftstoffe neu denken

reFuels als Baustein zur CO₂-neutralen Mobilität

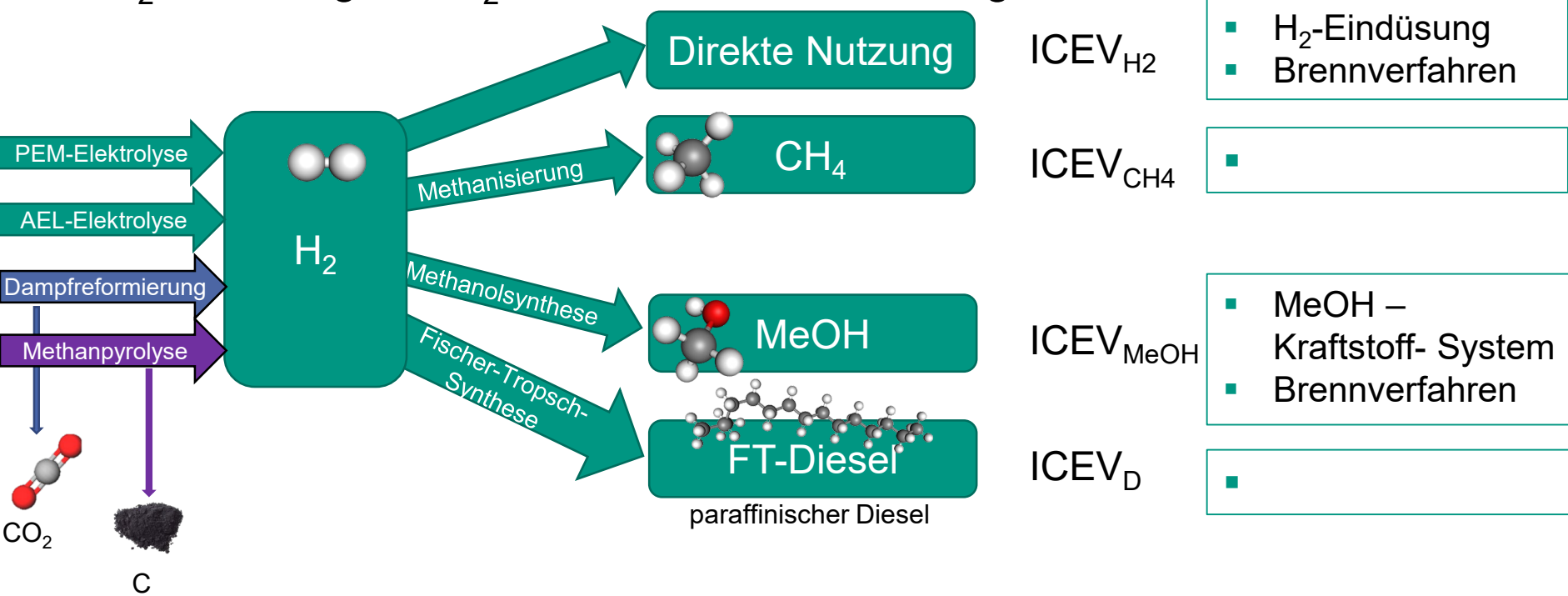
■ Bausteine des Projektes



reFuels – Kraftstoffe neu denken

Wasserstoff-basierte Energieträger

■ H₂ –Nutzung in CO₂- neutralen Antriebssträngen



reFuels – Kraftstoffe neu denken

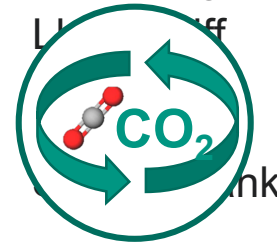
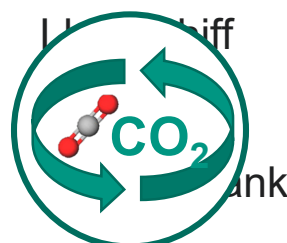
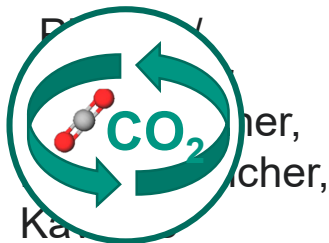
Wasserstoff-basierte Energieträger

Unterschiedliche Anwendungen nutzen unterschiedliche Vorteile

■ H₂-basierte Energieträger



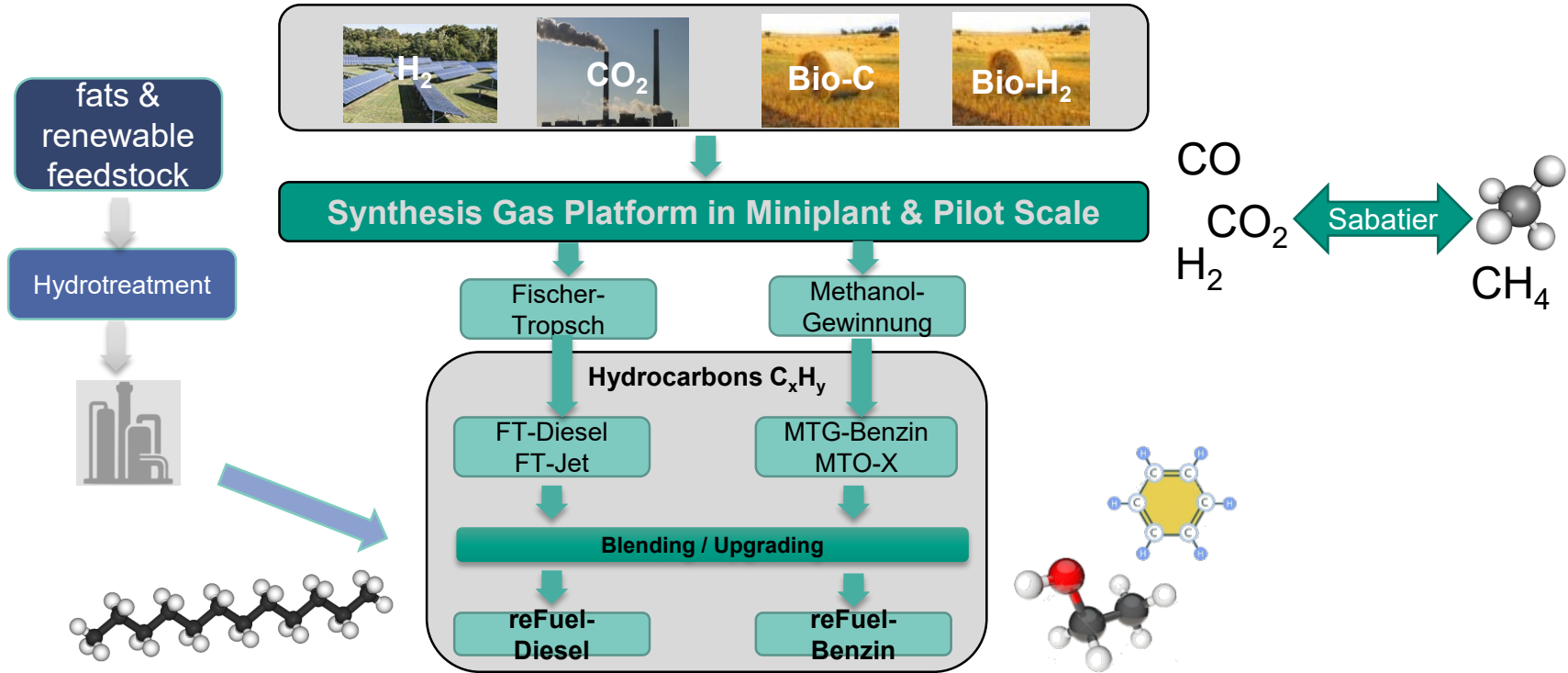
Dichte	0,0899 kg/m ³	0,657 kg/m ³	792 kg/m ³	765-780 kg/m ³
volum. E-Dichte	7200 MJ/L	0,0317 MJ/L	15,6 MJ/L	36 MJ/L
graph. E-Dichte	118,8 MJ/kg	50 MJ/kg	19,7 MJ/kg	42,8 MJ/kg
Transport	Pipeline/ Lkw/Schiff	Pipeline/ Lkw/Schiff	Lkw/Schiff	Lkw/Schiff
Speicherung	Druckspeicher, Kryospeicher, LOHC-Speicher, Kaverne	Druckspeicher, Kaverne	Druckspeicher, Kaverne	Druckspeicher, Kaverne



reFuels Kraftstoffe neu denken

H₂ ist ein essentielles Element vieler chemischer Prozesse

■ Synthesepfade zu reFuels



reFuels – Kraftstoffe neu denken

Kraftstoffe



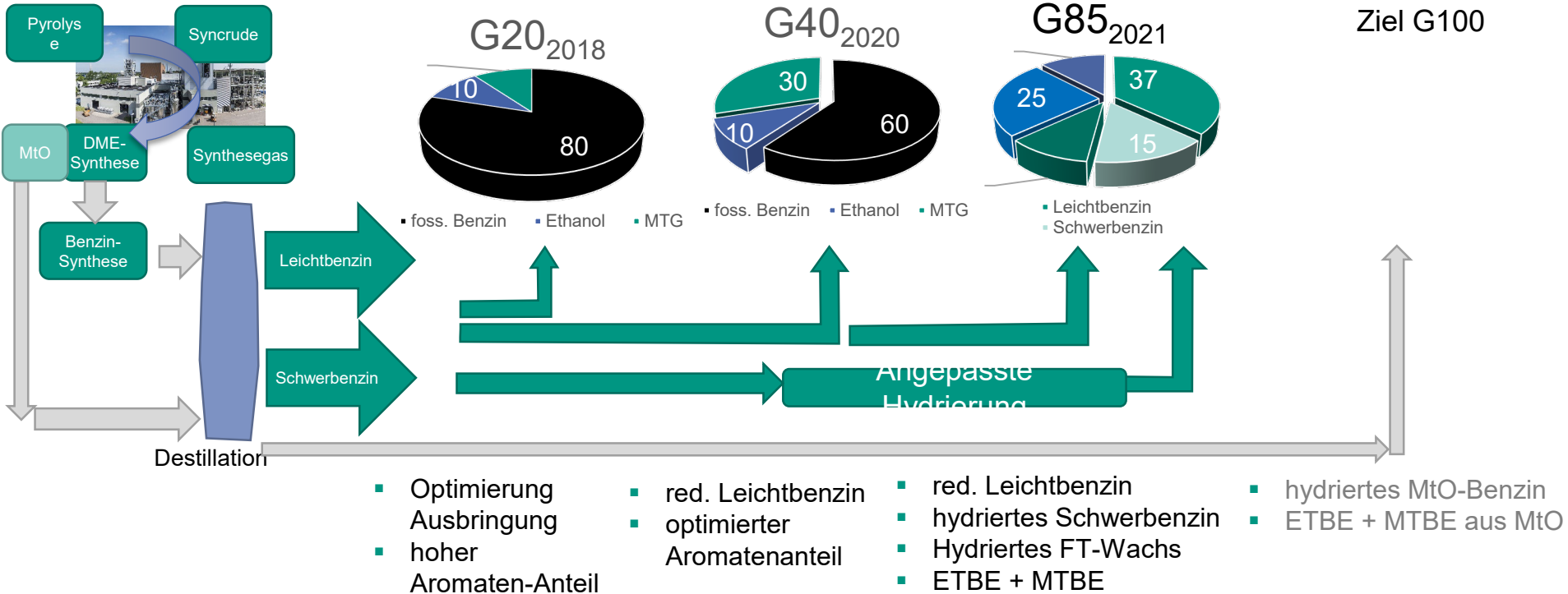
Foto: Amadeus Bramsiepe, KIT



Steuerkreis reFuels

Benzin-Synthese-Strategie zu 100% regenerativem Normkraftstoff

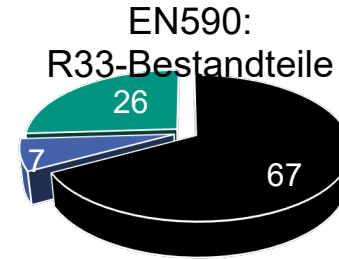
- Methanol-to Gasoline (MtG) – Blending von EN 228-Kraftstoffen



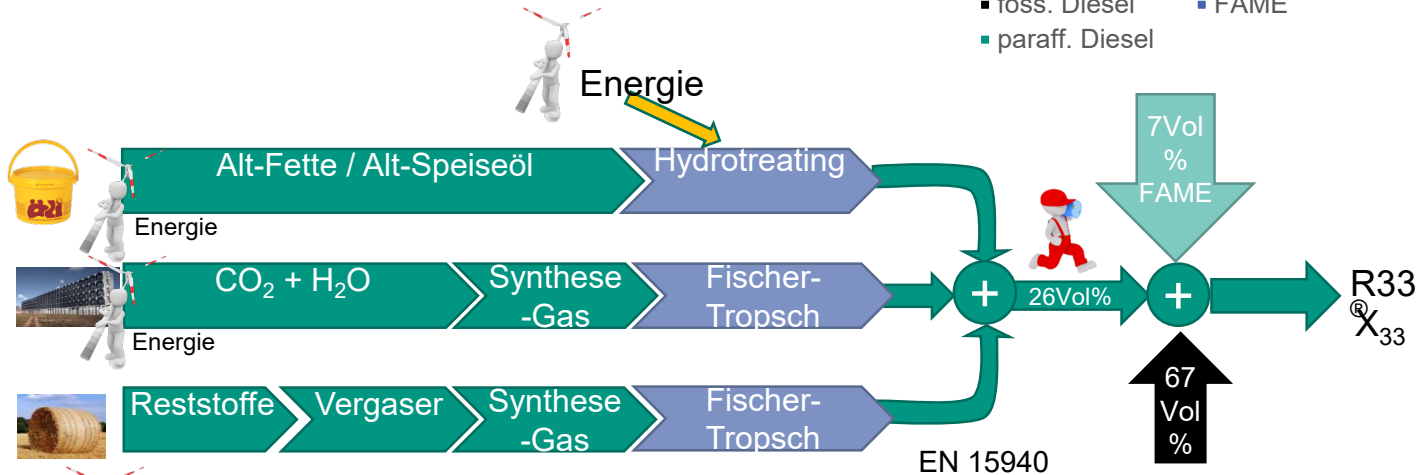
reFuels – Kraftstoffe neu denken

reFuels Verfügbarkeitsbetrachtung

▪ Diesel-Kraftstoff



- foss. Diesel
- FAME
- paraff. Diesel



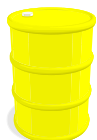
EN590-tauglicher Blend aktuell auf 26 Vol% Beimengung begrenzt
 EN15940 – Freigabe für alle Nutzfahrzeug-Antriebe ab ca. 2015



reFuels – Kraftstoffe neu denken

Kraftstoff-Anwendung

- Tests G40 an Motoren bei Ford , Mahle  und KIT 



	Einzylindermotor	Vollmotor	Fahrzeug
■ Partikel (PM und PN)	✓	✓	✓
■ CO	✓	✓	✓
■ HC	✓	✓	✓
■ NOx	✓	✓	✓
■ Ölverdünnung		✓	
■ Kaltstart Partikel		✓	✓ +



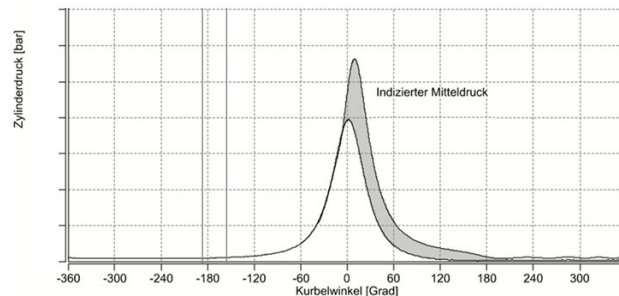
Keine unerwarteten Emissions-, Komponenten- oder Öl-Effekte
→ >30% CO₂-Reduktionspotenzial in der Flotte



reFuels - Kraftstoffe neu denken

Wasserstoffmotor als THG-neutrale Option

- Bestehende Aggregate (Diesel oder CH₄) lassen sich umbauen
- Indizierter Wirkungsgrad $\eta > 40\%$ sind darstellbar
- > 20 bar indizierter Mitteldruck sind darstellbar
- NO_x-Emissionen $< 1\text{g/kWh}$ sind darstellbar
- Saugrohreinspritzung als etablierte Technologie verfügbar
- Direkteindüsung als „Enabler“ für Effizienz- und Leistungssteigerung bei gleichzeitiger Rohemissionsabsenkung sind in fortgeschrittenem Entwicklungsstadium

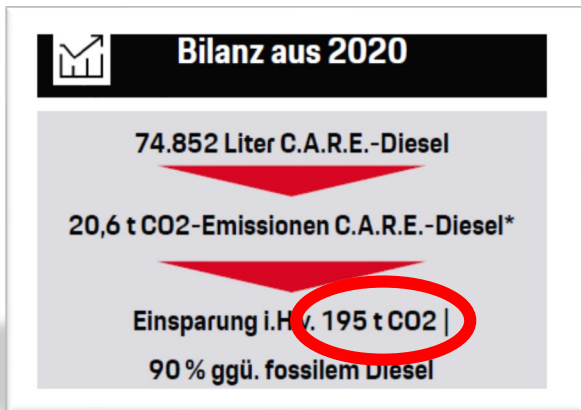


➔ Kurzfristige Lösung z.B. für Heavy Duty Trucks

reFuels - Kraftstoffe neu denken

Flottenversuch paraffinischer Diesel

- Flottenversuch bei Lila Logistik in Zusammenarbeit mit Porsche Logistik
>>500.000 km, Versuch laufend



- ➔ **Höherer volumetrischer Verbrauch wegen geringerer Dichte stellte sich nicht ein**
- ➔ **Deutliche Reduktion der Partikelemission → weniger DPF-Regeneration**
- ➔ **Keine Probleme während der Laufzeit** mit 6 LKW's innerhalb 2 ½ Jahren
→ Ausweitung des Fuhrparks und der Testszenarien auf weitere Routen

■ Importszenarien mit Transport der Produkte per Schiff

- Windanlage: Enercon E112, Wetterdaten von Pfenninger und Staffell (2016)
- PV-Anlage: 1-Achsen-Tracking

■ Marokko, Agadir

- Hybrid PV-Wind, onshore
- Kapazitätsfaktor Wind 17 %, Solar PV 30 %

■ Argentinien, Patagonien

- Windkraft, onshore
- Kapazitätsfaktor Wind 56 %

■ Australien

- Hybrid PV-Wind, onshore
- Kapazitätsfaktor Wind 30 %, Solar PV 30 %

■ Island

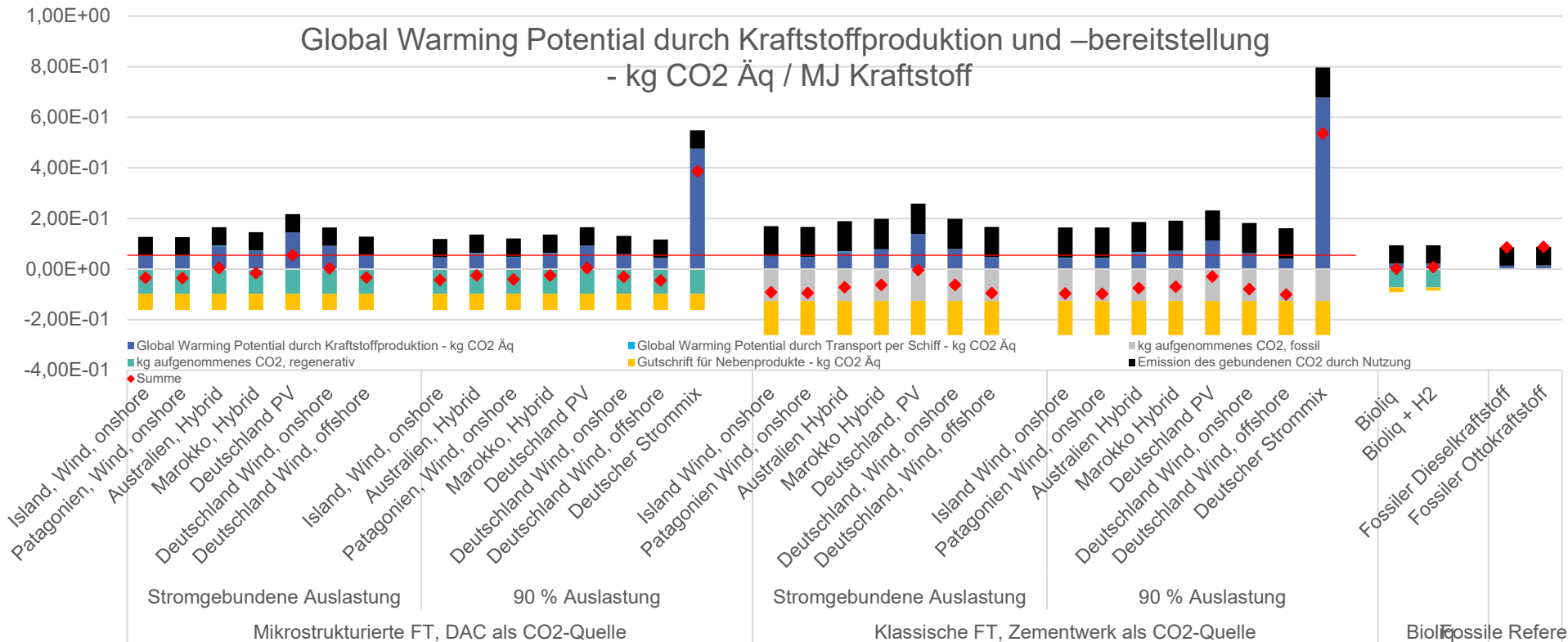
- Windkraft, onshore
- Kapazitätsfaktor Wind 45 %



reFuels – Kraftstoffe neu denken

Ökobilanz der Kraftstoffbereitstellung – Treibhausgaseffekte

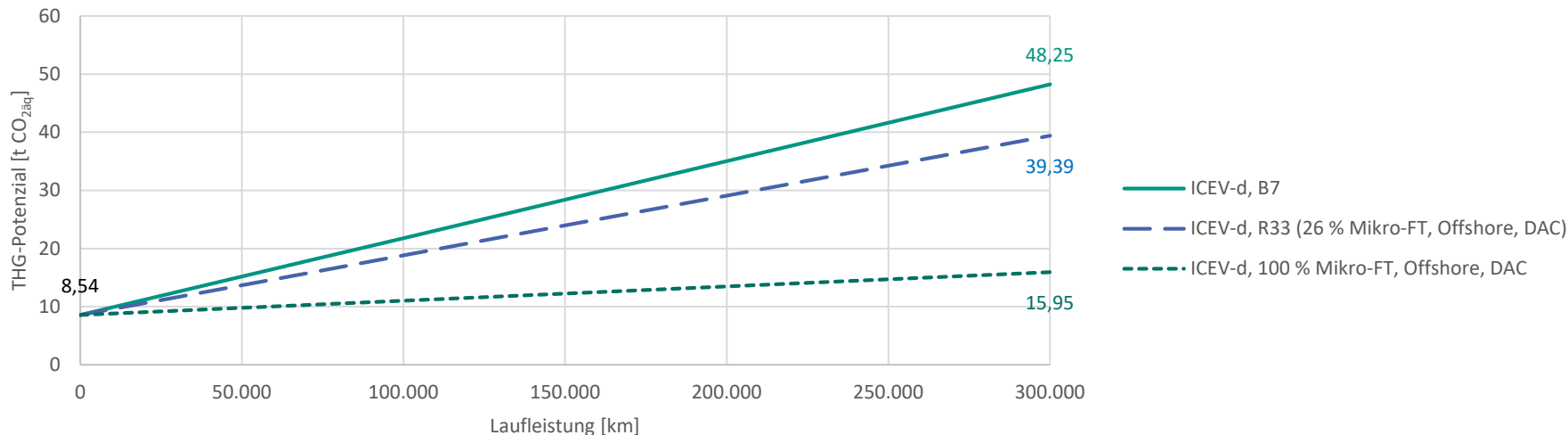
Global Warming Potential durch Kraftstoffproduktion und –bereitstellung
- kg CO₂ Äq / MJ Kraftstoff



reFuels – Kraftstoffe neu denken

LCA von Fahrzeugen mit reFuels

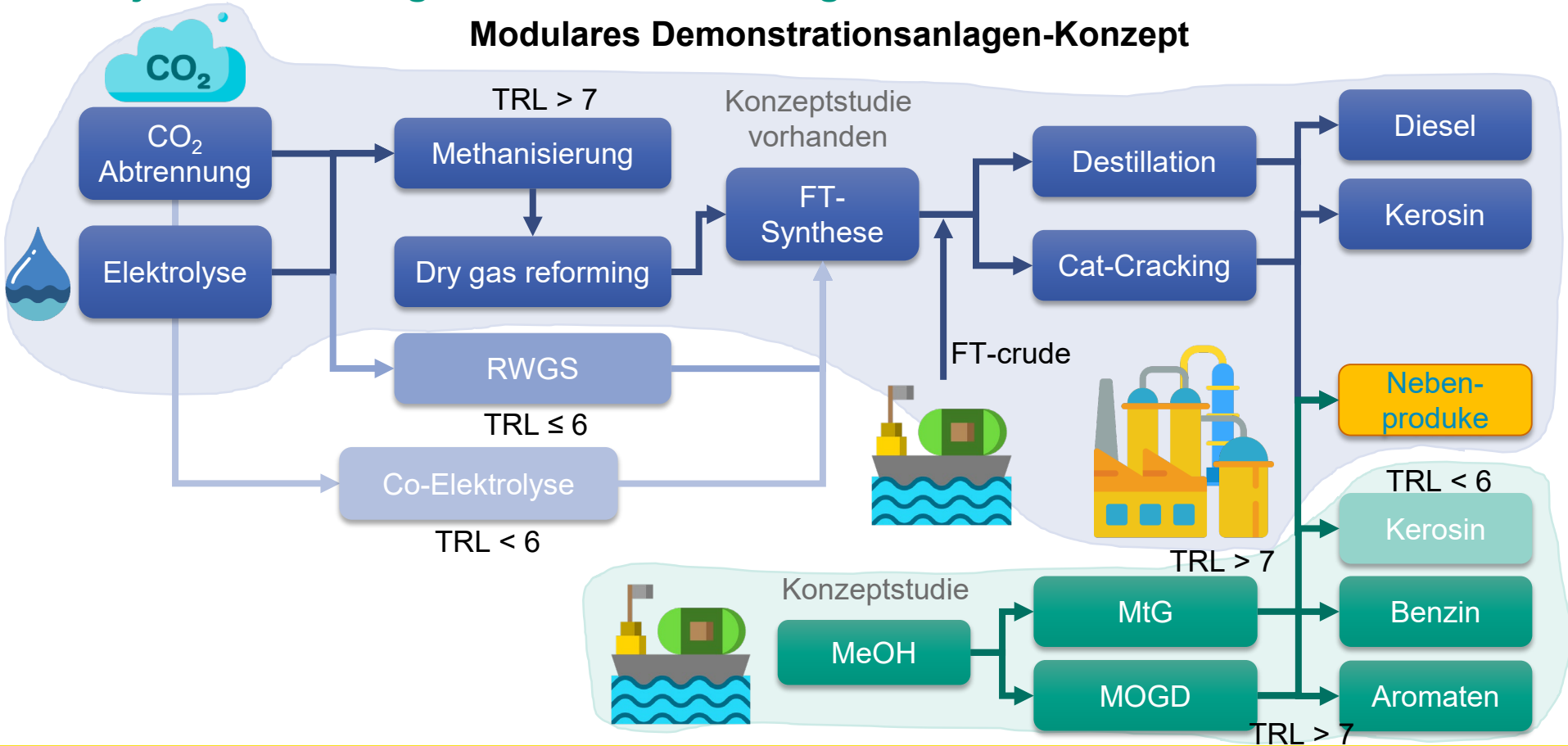
■ Variation des Dieselkraftstoffes



➔ Paraffinischer Diesel aus Mikro-FT und DAC-CO₂ schafft mit Offshore-Windenergie-Versorgung auch als Beimengung (R33) eine 22%-ige CO₂-Reduktion in der Nutzung

Projektentwicklung Demonstrationsanlage

Modulares Demonstrationsanlagen-Konzept



Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit

