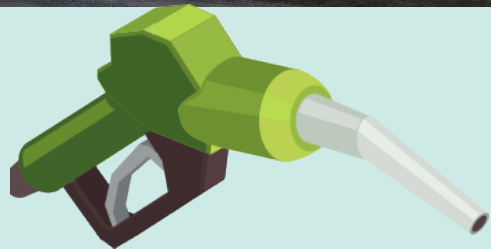
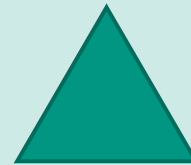




reFuels:



Realität



Komplexität

Mythen

Die neue Kraft im Tank

Mit synthetischen Kraftstoffen zur klimafreundlichen Mobilität?

# Komplexität, Mythen und die Realität

## reFuels als Bestandteil der Treibhausgas-neutralen Mobilität

Dr.-Ing. Olaf Toedter

Datum: 14.10.2025

# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

- **Kraftstoff-Bezeichnungen**
- Was ist hinter den Mythen?
- Die aktuelle Realität der e-Fuels

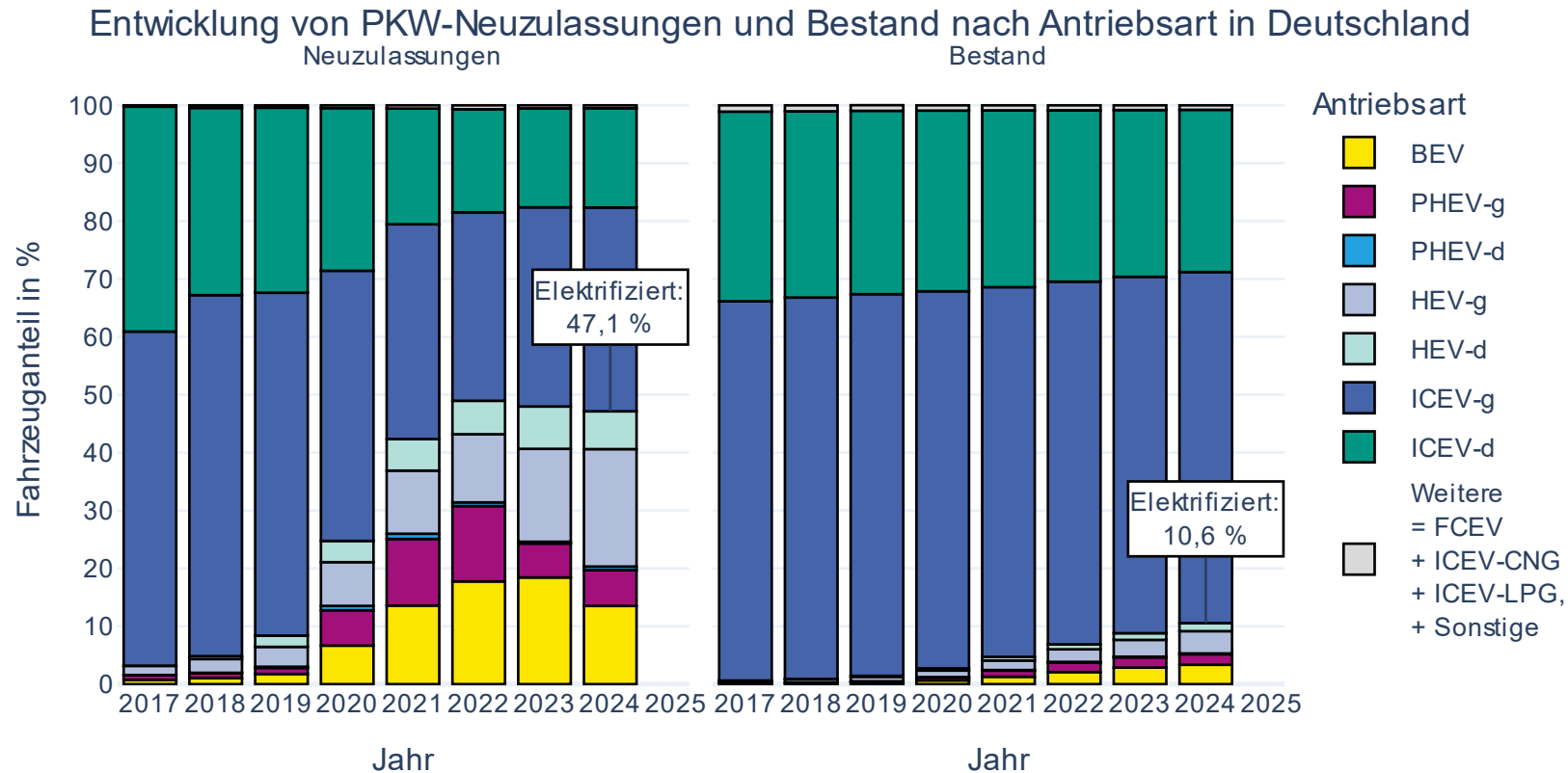


# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

## Warum brauchen wir regenerative Kraftstoffe (reFuels)



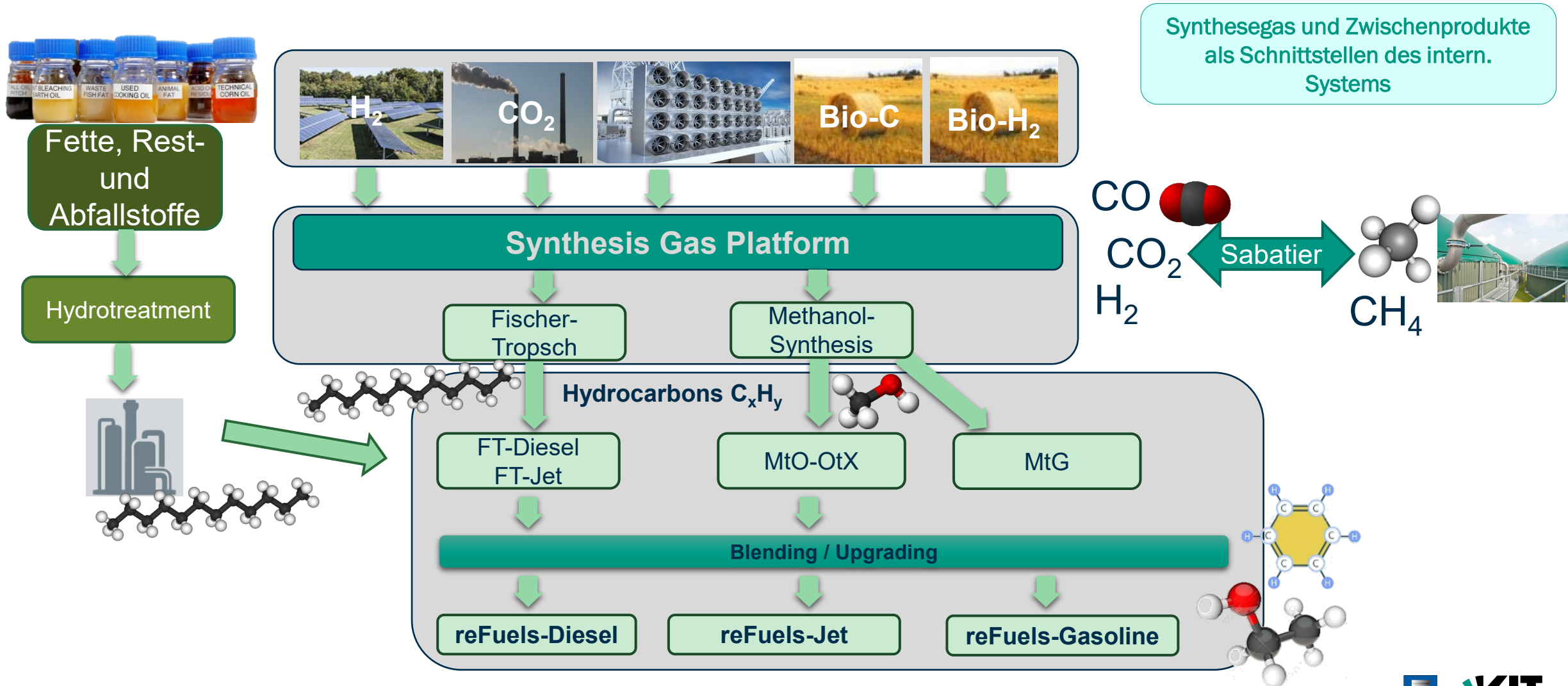
Seit Jahren laufen unterschiedliche Aktivitäten, die THG-Entwicklung über die Flotte zu reduzieren



Die Treibhausgaswirkung der Bestandsflotte erfordert weitere Aktivitäten

# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

## Exemplarische Synthesepfade für reFuels Kraftstoffe aus erneuerbaren Quellen



# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

## Agenda

- Kraftstoff-Bezeichnungen

- **Was ist hinter den Mythen?**

  - „E-Fuels sind ineffizient und begrenzt“

  - „E-Fuels sind der Champagner der Verkehrswende“

  - „E-Fuels müssen nur für Flug und Schiff eingesetzt werden“

  - „Um die Treibhausgasziele zu erreichen dürfen wir nicht noch auf E-Fuels setzen“

  - „Es gibt zu wenig Feedstocks für fortschrittliche Biokraftstoffe“

  - „HVO100 aus Altspeiseöl klimaschädlicher als fossiler Diesel“

- Die aktuelle Realität der reFuels

# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

## Der Systemrahmen bestimmt das Ergebnis der Effizienzbetrachtung

Mythos: „E-Fuels sind ineffizient und begrenzt“



Übertragung **wtw**

Zusammengefasste Effizienzzahlen, basierend auf Literaturwerten

92%



Laden **wtw**

90%



Traktionseinheit (Batterie + LE+ Antriebsstrang)

**ttw** inkl.. Heizung  
Konferenz- und Internetpublikationen

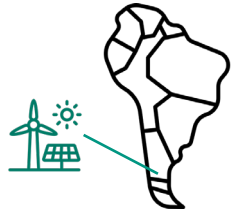
73%



Gesamtsystemeffizienz **wtw** am Rad  
inkl. Nebenaggregate

$0,22 * 0,92 * 0,9 * 0,73 \approx 13,4\%$

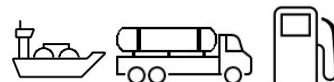
**Nutzungseffizienz  $\approx 22\%$**   
Gemittelt, Windkraft in Deutschland



E-Fuel-Produktion **wtw**

Zusammengefasste Effizienzzahlen, basierend auf Literaturwerten

55%



Transport bis zur Tankstelle **wtw**

95%



Hybridantrieb (Motor/EMotor/Getriebe) **ttw** inkl.. Heizung

Konferenz- und Internetpublikationen

36%



Gesamtsystemeffizienz **wtw** am Rad  
inkl. Nebenaggregate

$0,75 * 0,55 * 0,95 * 0,36 \approx 14,1\%$

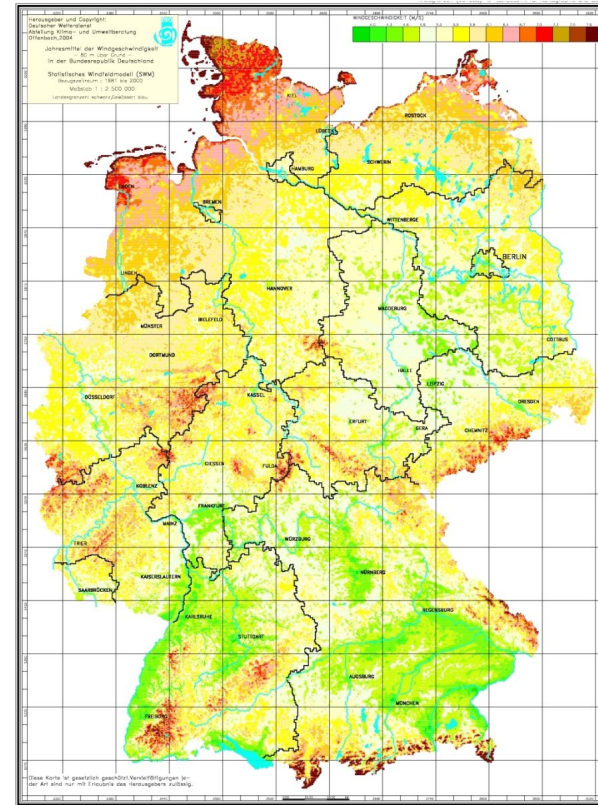
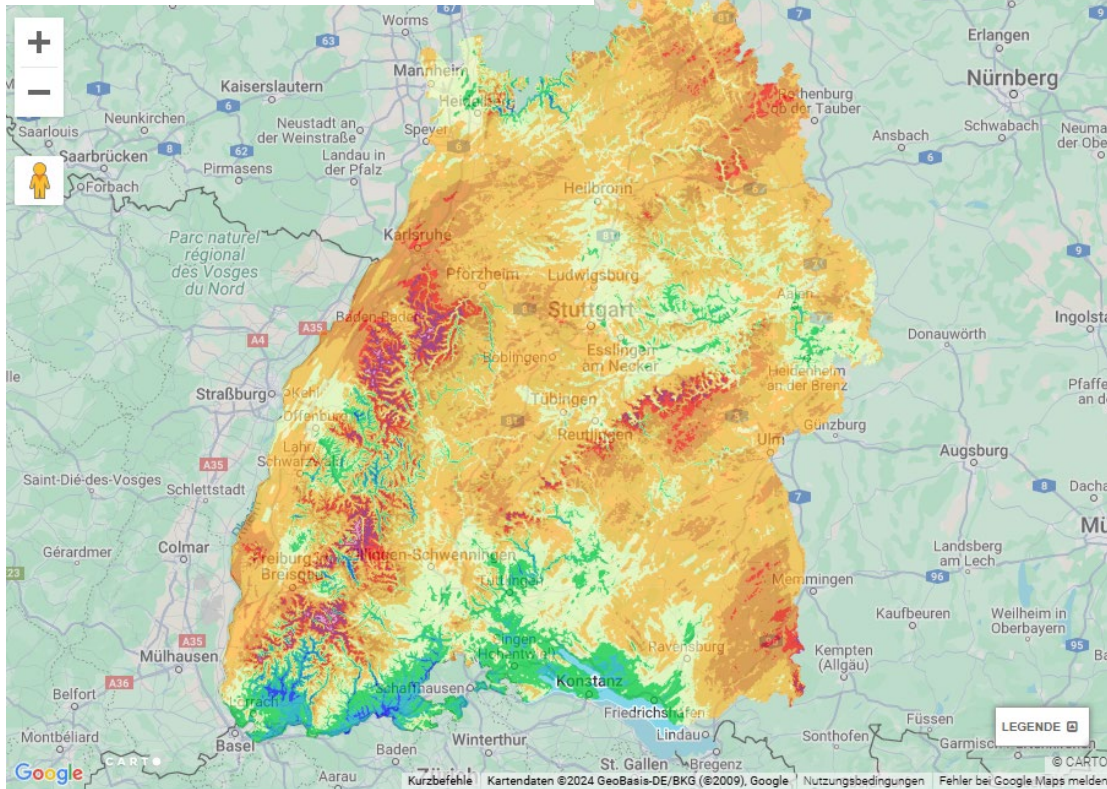
**Nutzungseffizienz  $\approx 75\%$**   
Gemittelt, Windkraft in Patagonien  
- Höhere mittlere Windgeschwindigkeit  
- über 6000h/a hohe Windlast

Genauso wichtig wie die Gesamtsystemeffizienz ist zudem die Lösung des Energie-Speicher und -transportproblems! Infrastrukturaufbau und Fahrzeugproduktion sind noch nicht berücksichtigt!

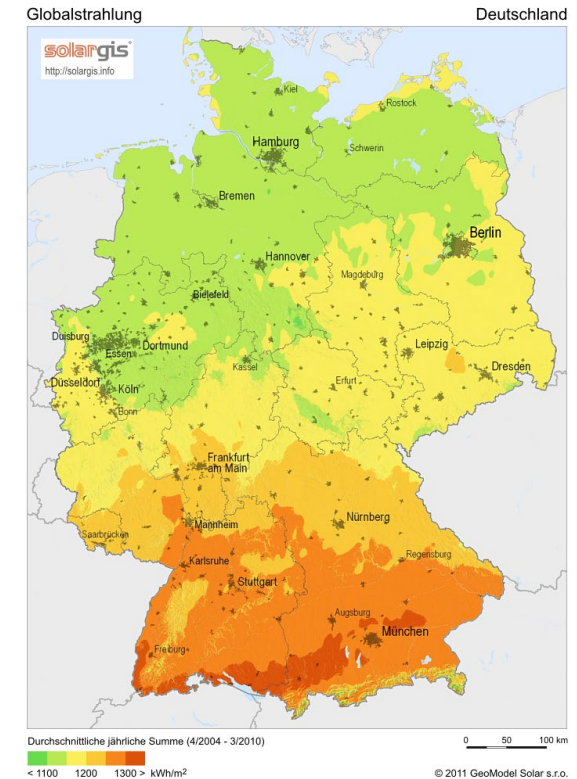
# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

Wind/PV-Potential in Baden-Württemberg beschränkt → keine Eigenversorgung, sondern Import

Quelle: <https://www.energieatlas-bw.de/wind/windatlas-baden-wuerttemberg>



[https://www.dwd.de/DE/leistungen/windkarten/deutschland\\_und\\_bundeslaender.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/windkarten/deutschland_und_bundeslaender.html)



<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e8/SolarGIS-Solar-map-Germany-de.png>

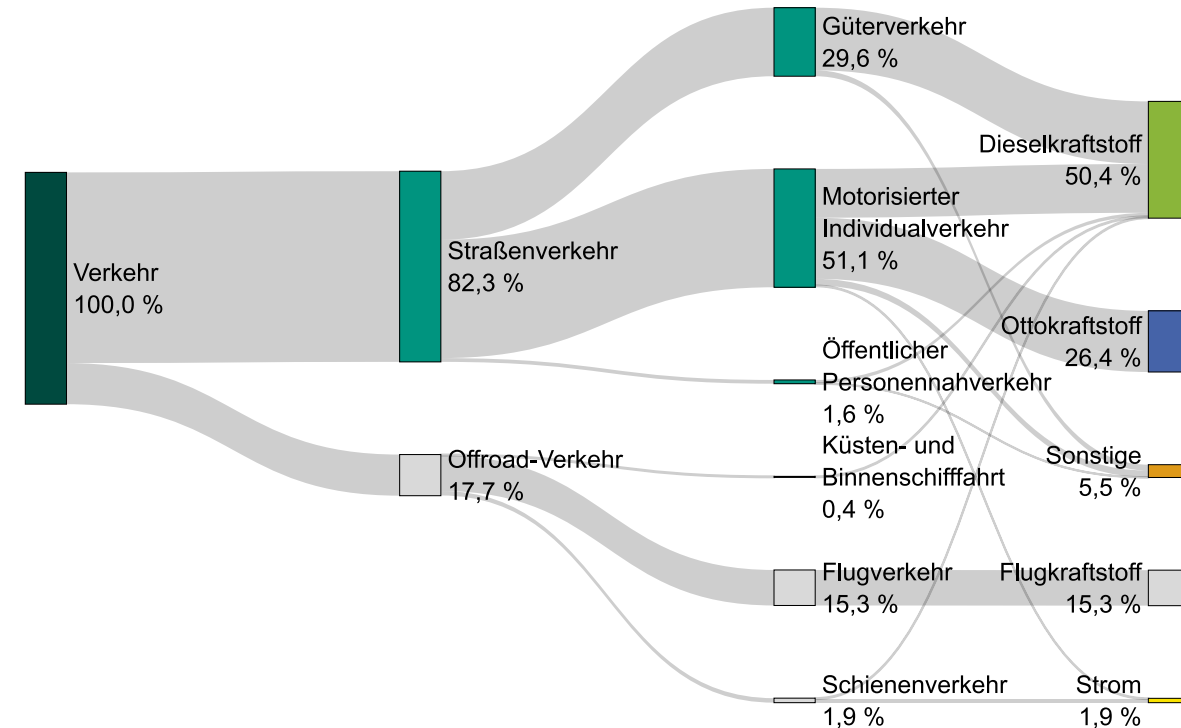
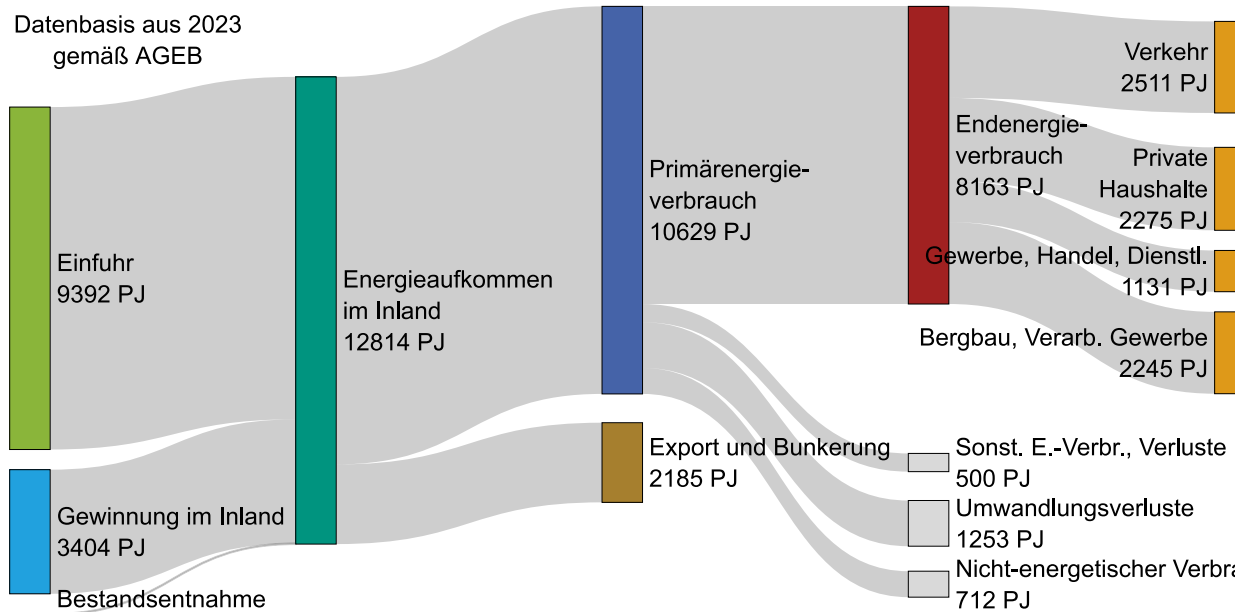
Auch national und lokal stark unterschiedliche Erntefaktoren und Funktion der Höhe

# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

73% des Energieaufkommens in Deutschland aus **Importen**

## Endenergie vs. Nutzenergie – Energieflussbild Deutschland

Datenbasis aus 2023  
gemäß AGEB



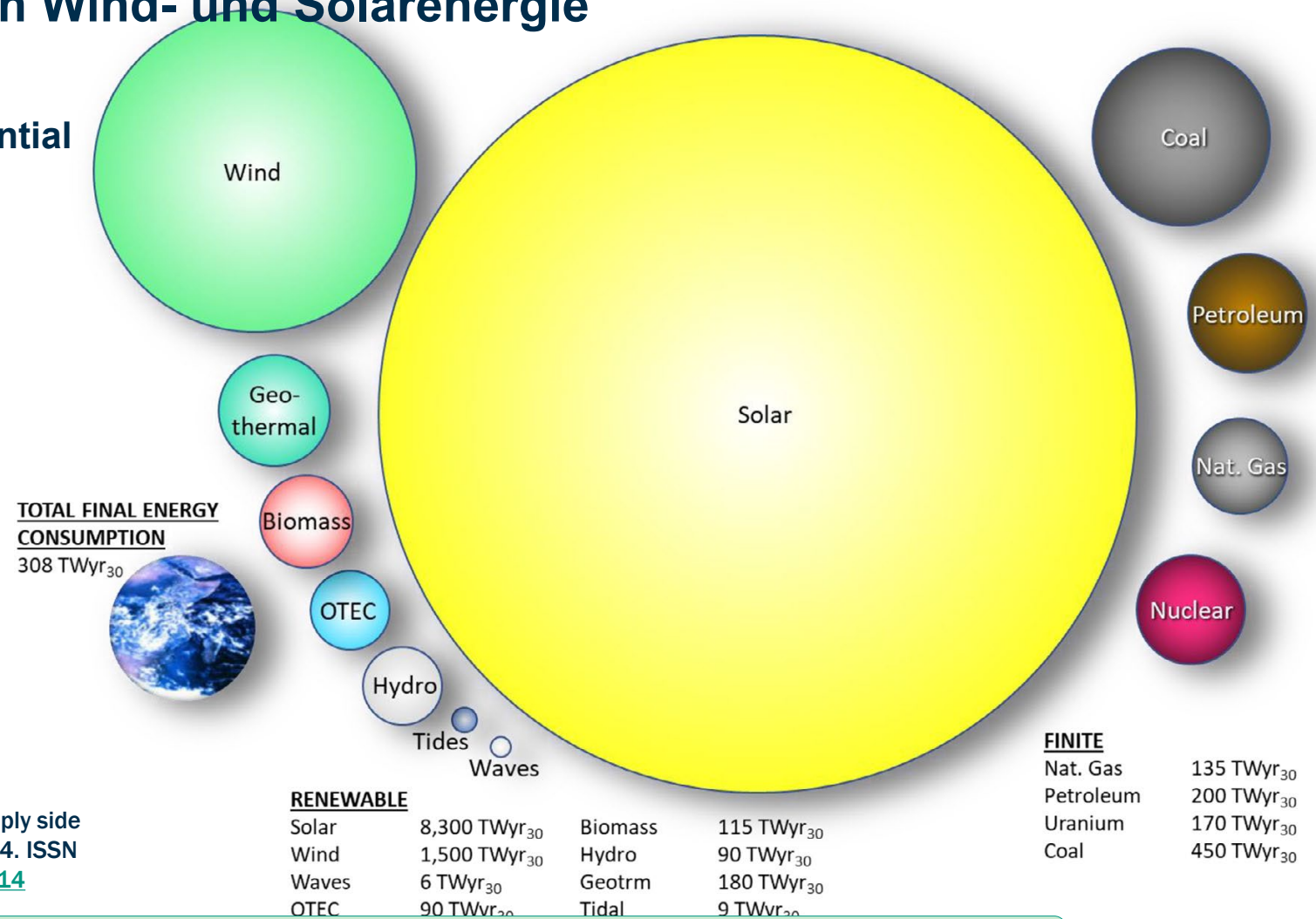
Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., 19.09.2024. *Energieflussbild (PJ) 2023 (vereinfacht)* [online] [Zugriff am: 19.11.2024].  
Verfügbar unter: [https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/09/AGEB\\_Energieflussbild-kurz\\_DE-2023-PJ\\_20240919.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/09/AGEB_Energieflussbild-kurz_DE-2023-PJ_20240919.pdf)

Immer noch über 75 % der Energie in der Mobilität aus Diesel- und Ottokraftstoff

# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

## Mit Abstand größtes Potential durch Wind- und Solarenergie

- Wind/PV-Potential – Globales Energie-Potential



Perez, M. und R. Perez, 2022. Update 2022 – A fundamental look at supply side energy reserves for the planet [online]. *Solar Energy Advances*, 2, 100014. ISSN 26671131. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.seja.2022.100014>

**Nicht die Verfügbarkeit und Effizienz, sondern Speicherung und Transport sind relevant**

# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

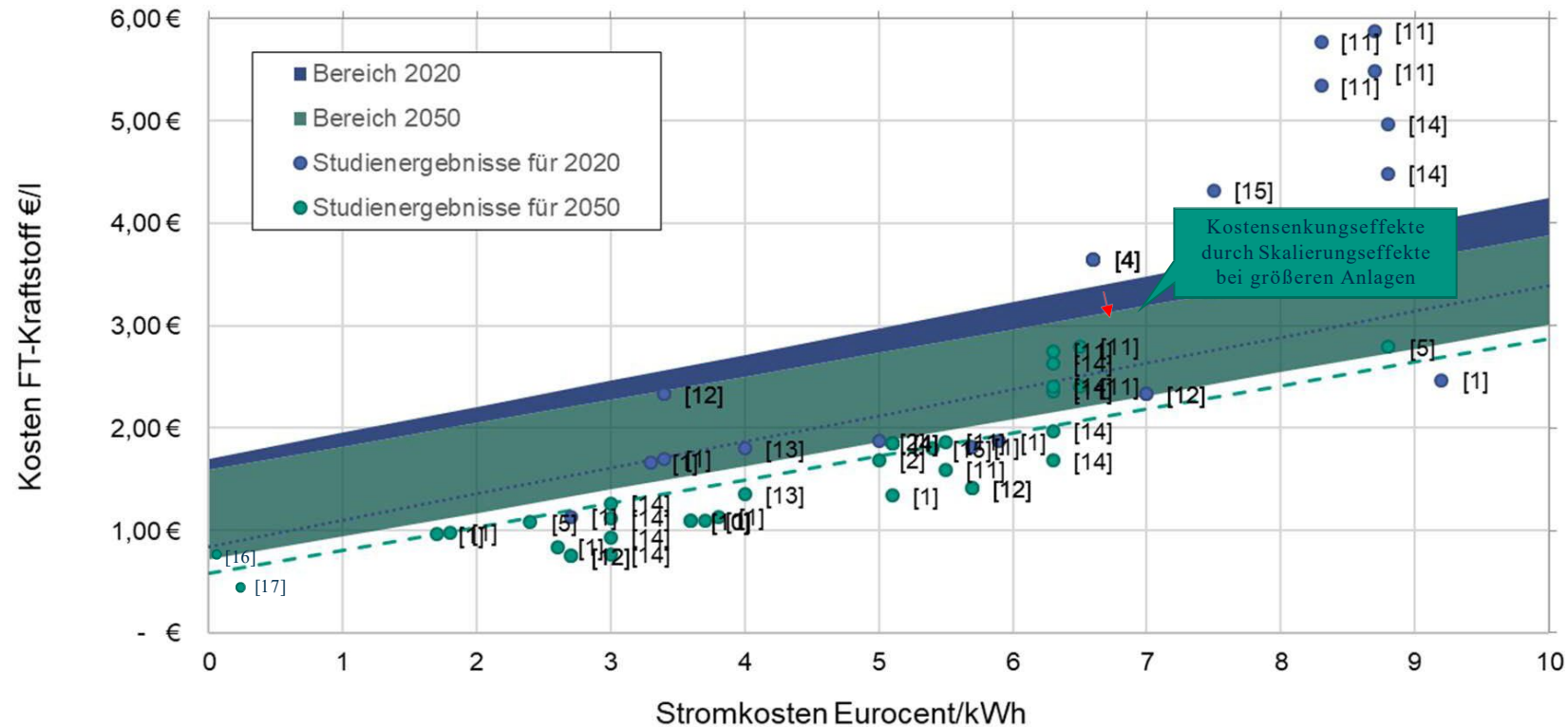
Mythos: „E-Fuels sind der Champagner der Verkehrswende“

Ergebnisband von  
Studienergebnissen bezogen  
auf die Stromkosten

Nutzung Industrie-CO<sub>2</sub> und FTS

Berechnung basierend  
auf deutschem Strommix

[16] + [17] zeigen Potenzial  
internationaler Syntheseanlagen



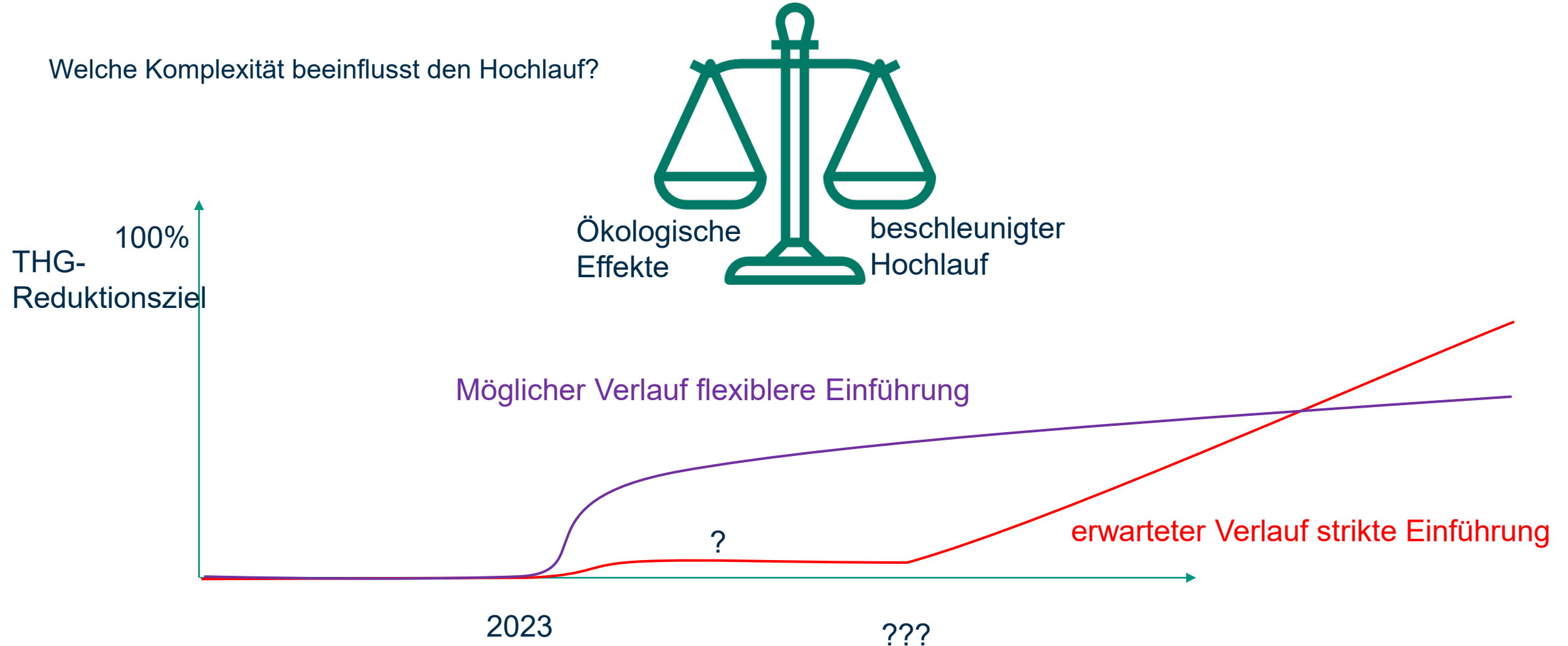
|                                      |                                       |                                           |                                                                    |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| [1] Agora/Frontier Economics 2018    | [6] UBA/Ifeu/Infras/LBST 2016         | [11] FVV/LBST 2016                        | 16 :Agora/Frontier Economics 2018: PV im nahen Osten;Alkalisch PEM |
| [2] Leopoldina/Acatech 2017          | [7] Öko-Institut/DLR/Ifeu/Infras 2016 | [12] Prognos/Fraunhofer Umsicht/DBFZ 2018 | 17 :Prognos/Fraunhofer Umsicht/2018: Import Nordafrika/mittl.Osten |
| [3] UBA 2019                         | [8] Enervis 2017                      | [13] BCG/Prognos 2018                     |                                                                    |
| [4] UBA/Öko-Institut/KIT/Infras 2016 | [9] Öko-Institut/Fraunhofer ISI 2015  | [14] Dena/LBST 2017                       |                                                                    |
| [5] FVV 2018                         | [10] Dena/EWI 2018                    | [15] EWI 2019                             |                                                                    |

Die Ergebnisse liegen in der gleichen Größenordnung wie aktuelle Studie von frontier economics

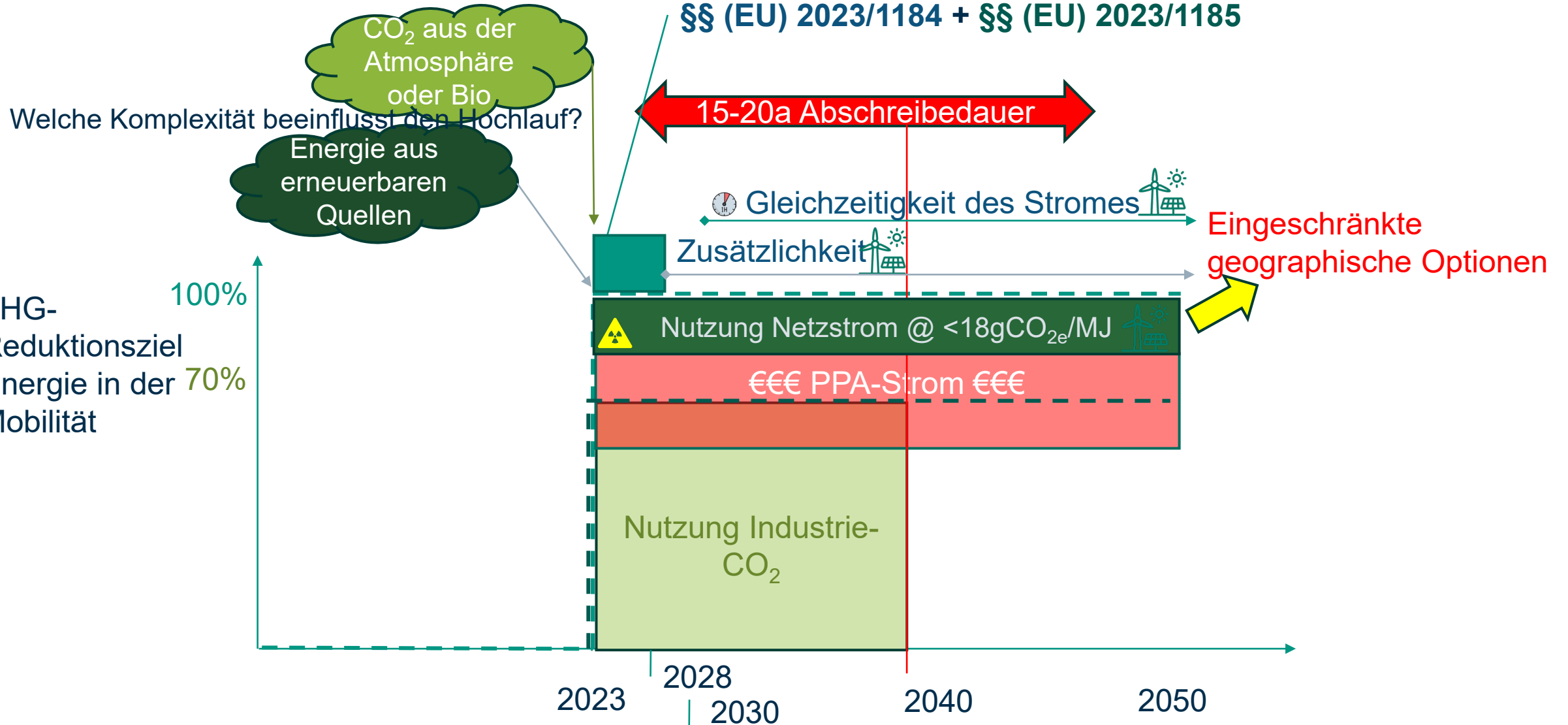
# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

## Einfluss einer strikteren Gesetzgebung

Welche Komplexität beeinflusst den Hochlauf?



# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität



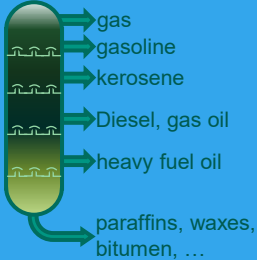
# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

Mythos: „E-Fuels müssen nur für Flug und Schiff eingesetzt werden“

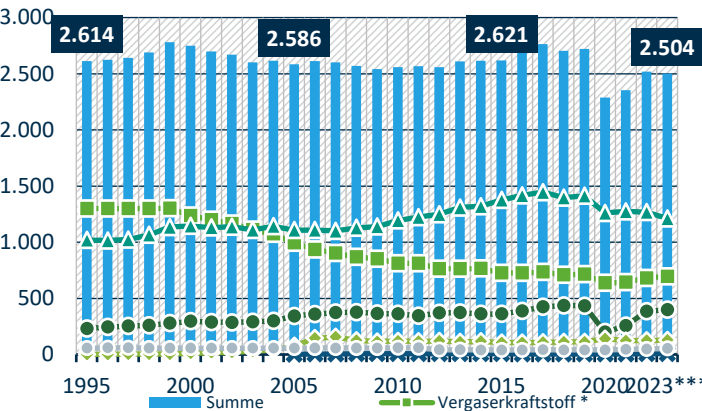
Kraftstoff-Synthesepfade



Synthese - Prozesse



Kraftstoff Freigaben



Quelle Umweltbundesamt: \* einschließlich Flüssiggas (2016: 19 PJ, 2017 und 2018: 14 PJ, 2019: 17 PJ; 2020: 14 PJ; 2021: 9,5 PJ; 2022: 8,8 PJ)  
\*\* Werte für den Stromverbrauch des Schienenverkehrs wurden ab 2012 revidiert  
\*\*\* vorläufige Angaben  
Quelle: Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.), Verkehr in Zahlen 2024/2025, S. 304

15-16% des Kraftstoffes ist Kerosin

Skalierbarkeit

Abnahme-garantie

wirtschaftliche Barrieren

VS.

VS.

first mover

Revision

Business Case

Kosten-Auswirkungen

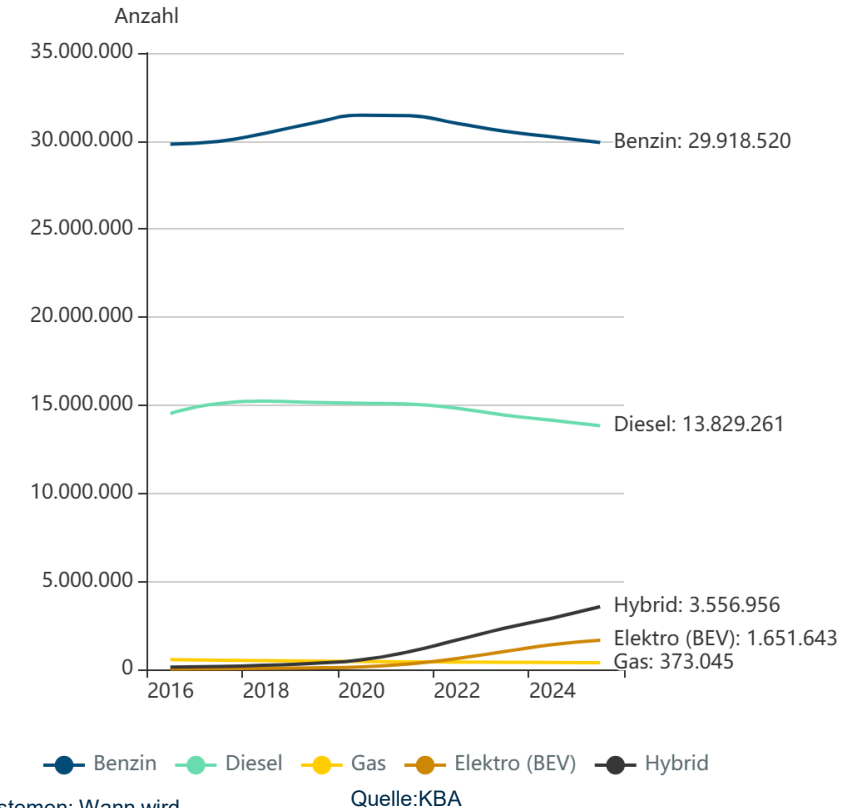
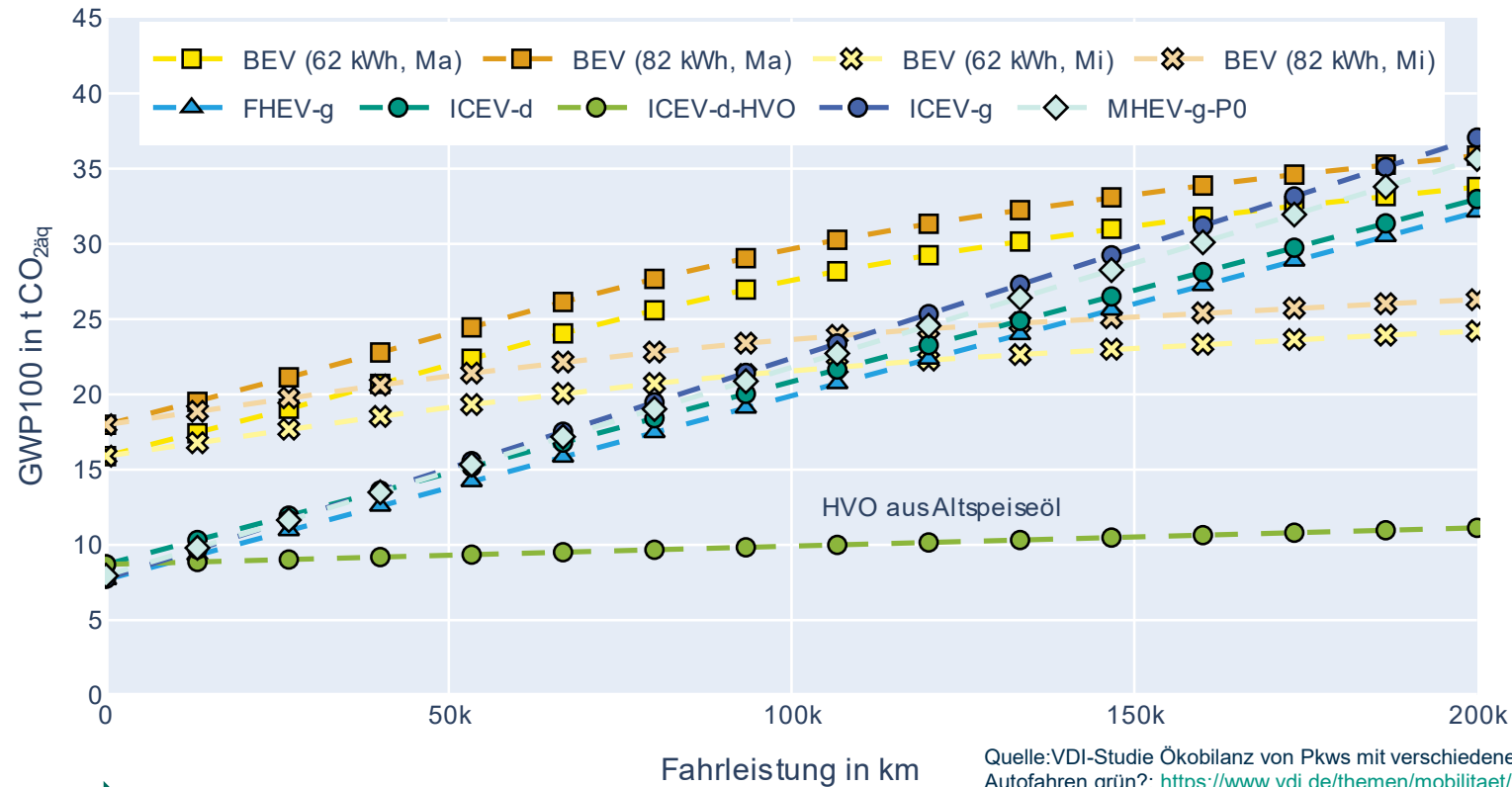
Koppelprodukte

# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

**Mythos: „Um die Treibhausgasziele zu erreichen dürfen wir nicht noch auf E-Fuels setzen“**

**HVO als Beispiel zeigt in einer Ökobilanz das Potenzial auf**

Szenario Nutzung, WLTP-Betrieb



**Kraftstoffe wirken gemäß ihrem THG-Reduktionspotenzial schon heute, nicht erst nach Flottenwechsel**

# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

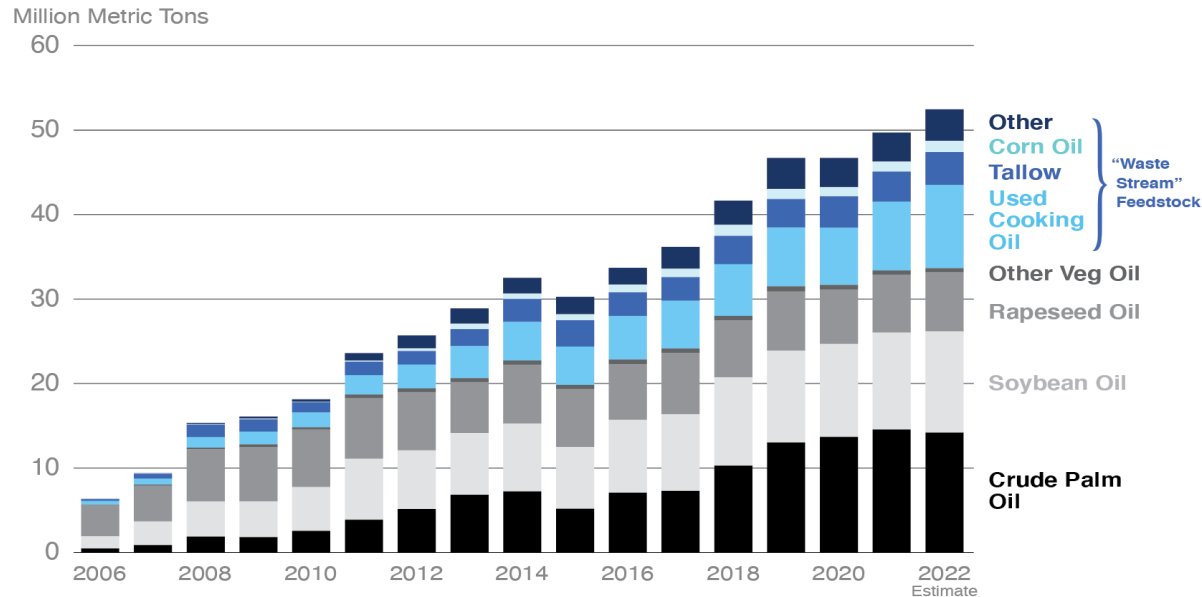
„Es gibt zu wenig Feedstocks für fortschrittliche Biokraftstoffe“

Globale Verfügbarkeit der Ausgangsprodukte (Feedstock)

- **Studie des US Department of Agriculture (USDA)**

**Feedstock Used for Global Biomass-based Diesel Production**

Waste Feedstock Now Covers One-Third of Total Use



Weitere Ausgangsstoffe werden untersucht:

- Zwischenfrüchte
- Pflanzenöle aus winterfesten Pflanzen
- Hausabfälle
- Algen
- ....

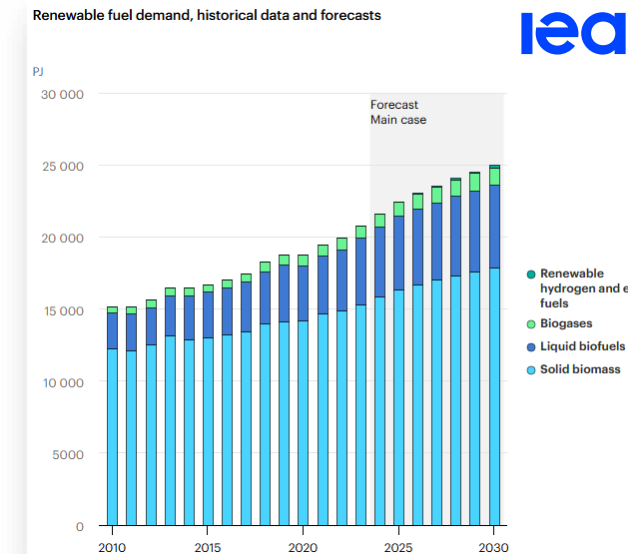
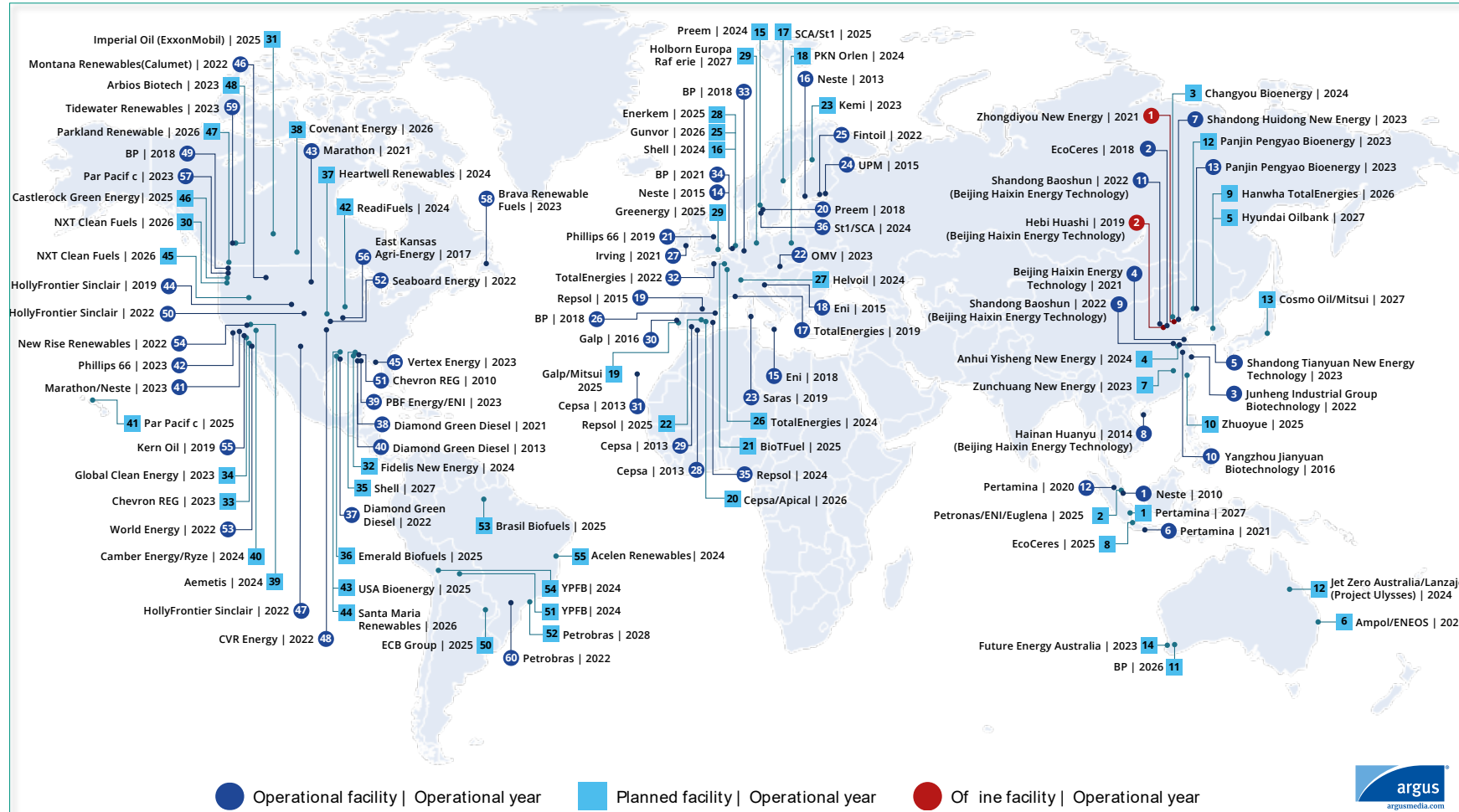


Sowohl die Verfügbarkeit als auch die Anzahl der Ausgangsstoffe nehmen zu



Anzahl abfallbasierter Ausgangsstoffe steigt stark an (Kreislauf, Nutzung von schon emittierten CO<sub>2</sub>)

# weltweite Entwicklung HVO



Quelle: IEA

V1.2 September 2024

© 2024 Argus Media Group. All rights reserved.

## Globaler Hochlauf der Produktion, kein europäisches Thema hatte immer die Feedstock-Garantien

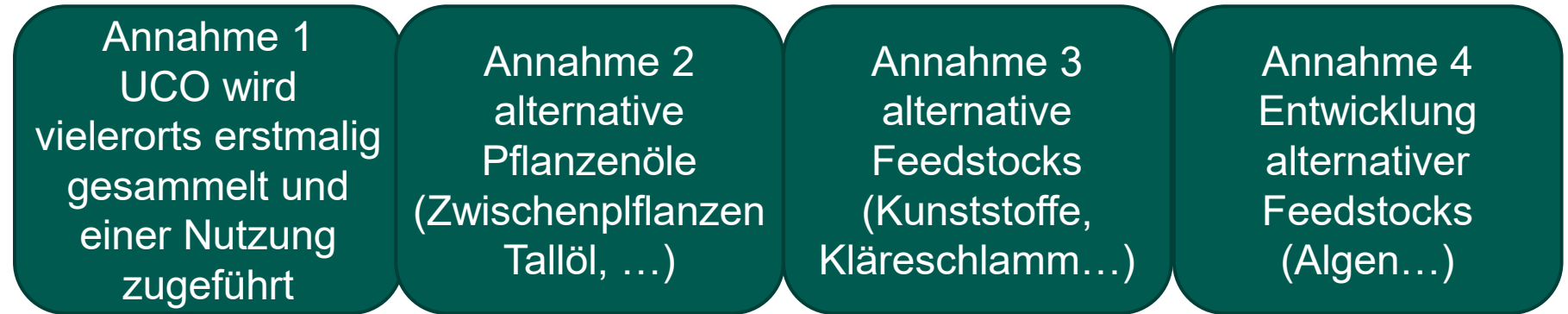
# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

Mythos: „HVO100 aus Altspeiseöl klimaschädlicher als fossiler Diesel“

Was steht hinter dieser provokanten Aussage?



Was ist real passiert bzw. gestartet?



➡ Der unrealistischen Annahmekette stehen konkrete Maßnahmen gegenüber

# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

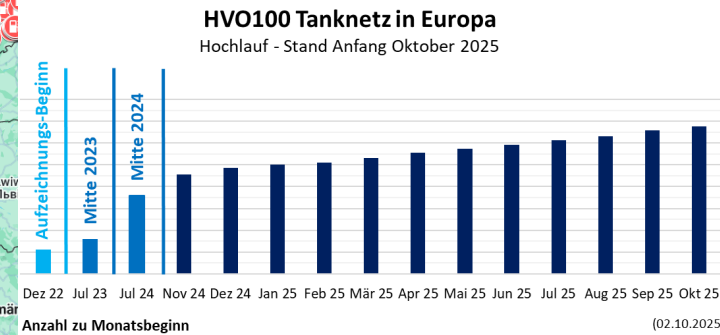
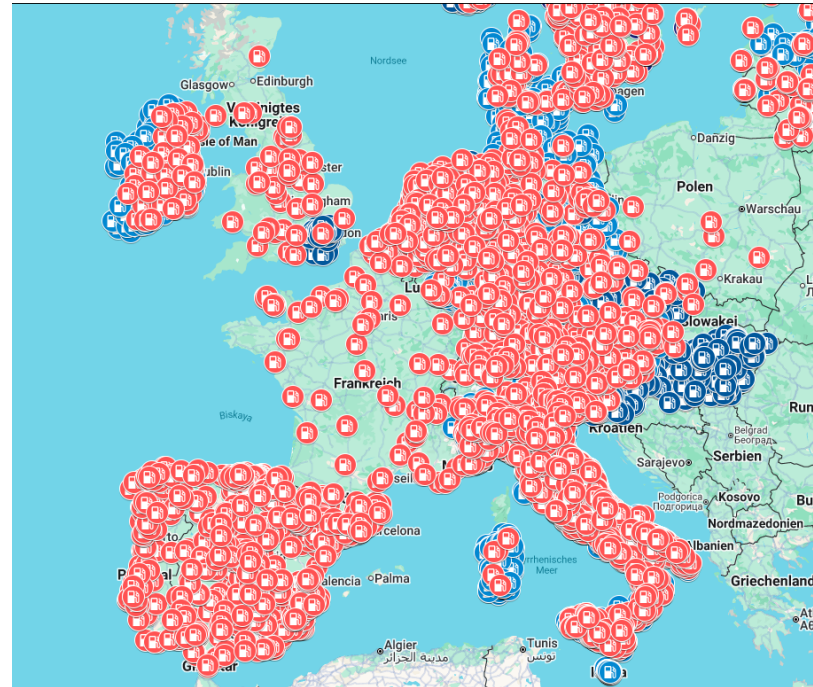
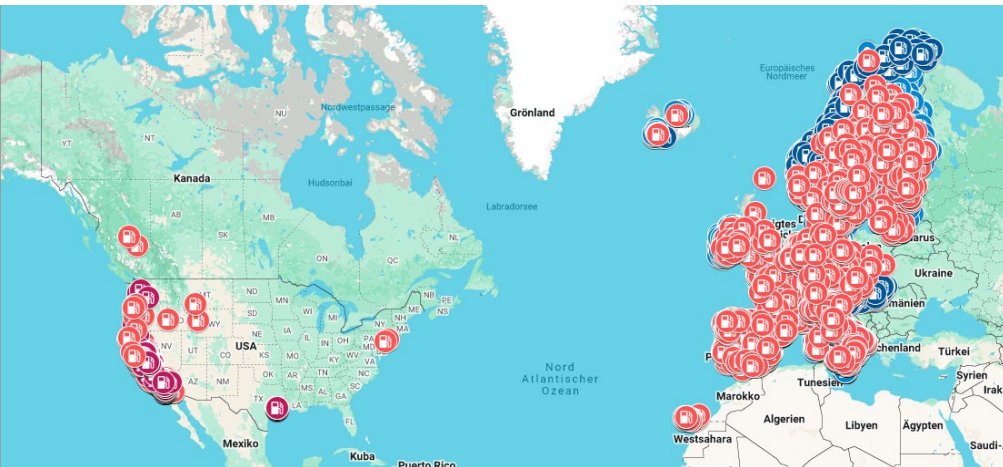
## Agenda

- Kraftstoff-Bezeichnungen
- Was ist hinter den Mythen?
- **Die aktuelle Realität der e-Fuels**

# reFuels: Komplexität, Mythen und Realität

## Verfügbarkeit von reFuels startet mit HVO, e-Fuels folgen

- Hochlauf an Tankstellen nach Freigabe EN15940 in 10. BImSchV



[https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1sL1dliegNjRiRVzG6\\_QgnWuko1A6VuU&femb=1](https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1sL1dliegNjRiRVzG6_QgnWuko1A6VuU&femb=1)

- >530 HVO100-Tankstellen in D seit Mai 2024, Frankreich und Polen folgen
- Formaler Freigabeprozess (z.B. untere Wasserbehörde,...) hemmt Umstellung der Tankstellen
- Kleine Tankstellen haben Mangel an Tanks, u.a. durch E5-Pflicht

Vielen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit



# KIT wirkt im Verbund mehrerer Projekte



<https://www.refuels.de/>



<https://www.innofuels.de/>



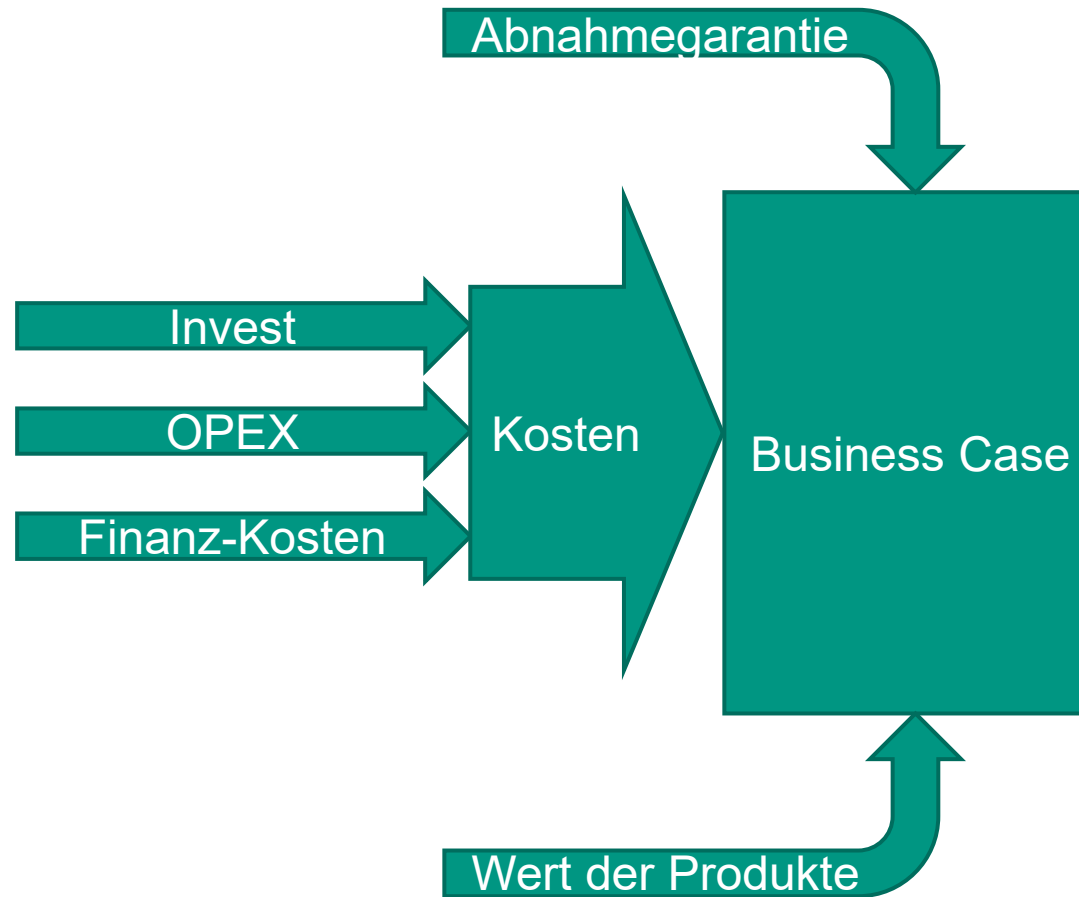
<https://ref4fu.de/>



# e-Fuels: Komplexität, Mythen und Realität

## Was bremst den Hochlauf der e-Fuels?

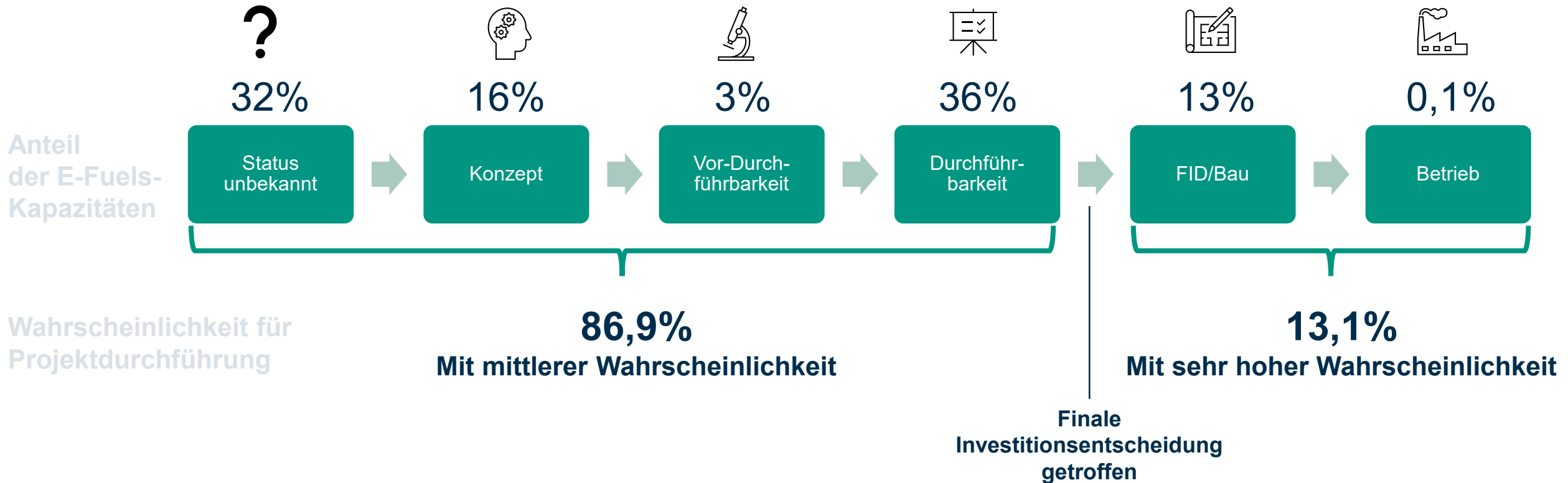
Was bedingt den Business Case?



- ⚡ Unsicherheit
- ⚡ First-Mover-Disadvantages
- ⚡ Bestands-Sicherheit der Randbedingungen

# e-Fuels: Komplexität, Mythen und Realität

## reFuels – E-Fuels Angekündigte E-Fuels-Kapazitäten für 2030

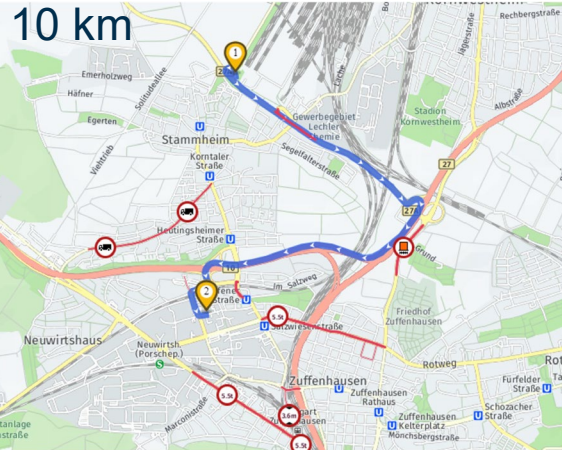


Hoher Anteil der E-Fuels-Projekte noch ohne finale Investitionsentscheidung!

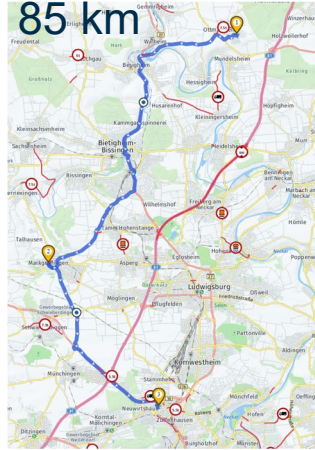
Quelle: Mauler, L., 2024. With eFuels to a Greener Future. The Way Forward to Create a New Industry. In: L. Eckstein und S. Pischinger, Hg. 33rd Aachen Colloquium Sustainable Mobility.

# e-Fuels: Komplexität, Mythen und Realität

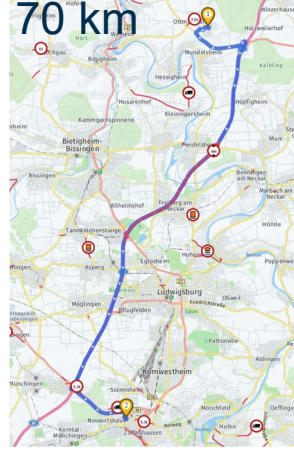
## Projekt reFuels: Dauerlauf



Kurzstrecke



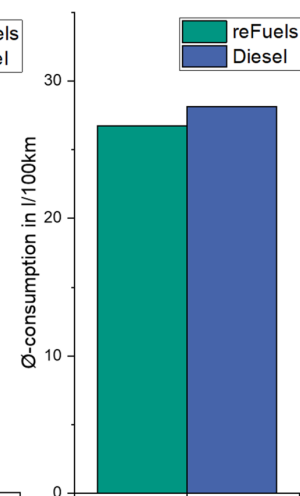
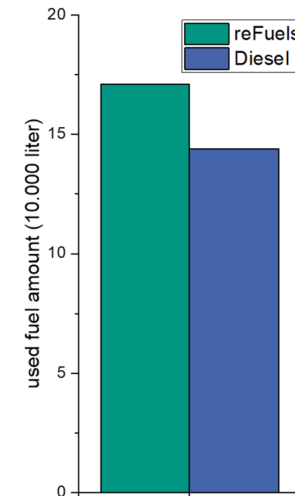
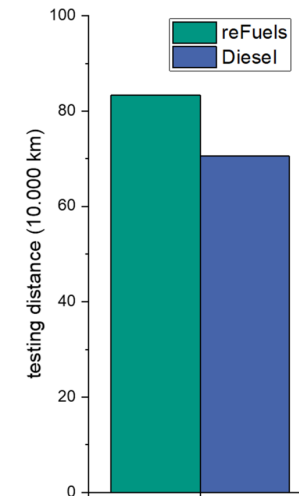
Landstraße



Autobahn

- 🔌 Flottenversuch bei Lila Logistik in Zusammenarbeit mit Logistik @Porsche
- >> 1.600.000 km, Versuch laufend, Stadt-Überland- und Autobahnstrecken

Quelle: [Endurance results of a refuels fleet test in a real application based on directly comparable truck test pairs](#)  
Toedter, O.; Weyhing, T.; Koch, T.; Fritzsche, M.; Rodrigues, C.; Dörr, S.; Stöhr, A.; Weissert, R.; Hübeler, J.; Behrens, C.  
2024. Automotive and Engine Technology, 9 (1), Art.-Nr.: 1. [doi:10.1007/s41104-024-00139-1](https://doi.org/10.1007/s41104-024-00139-1)

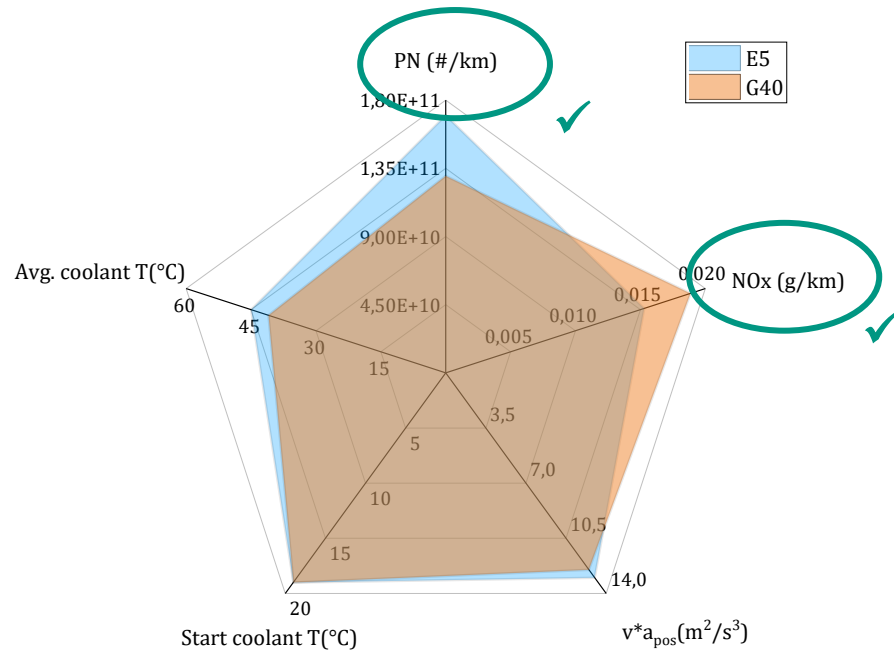


# e-Fuels: Komplexität, Mythen und Realität

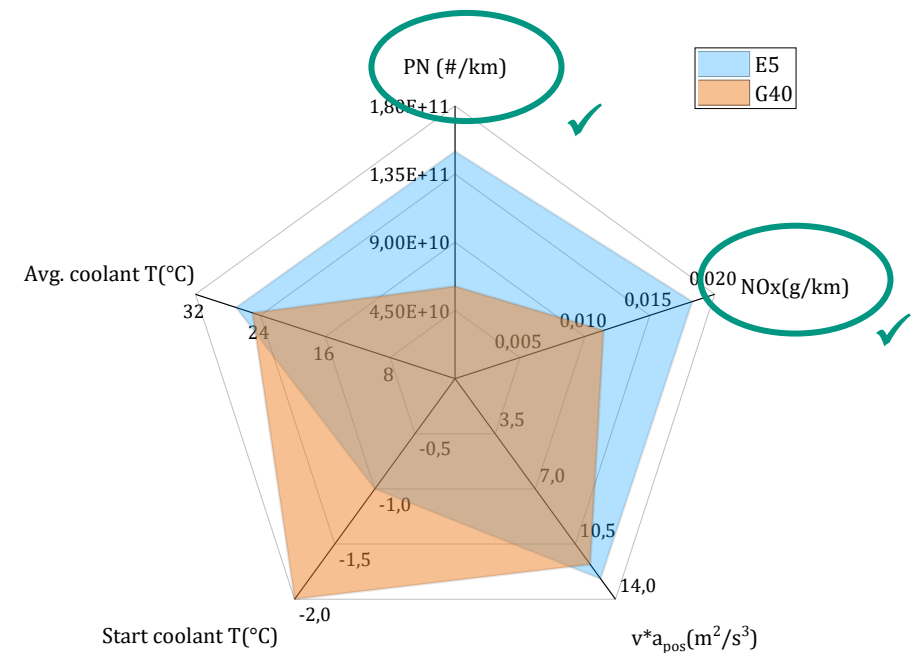
## Real-Emissionsmessungen (RDE) in Pkw mit synthetischem Benzin

### Vergleich E5 und synthetischer Benzin-Mischung G40

Startpunkt Motorkühlmitteltemperatur = 19 °C



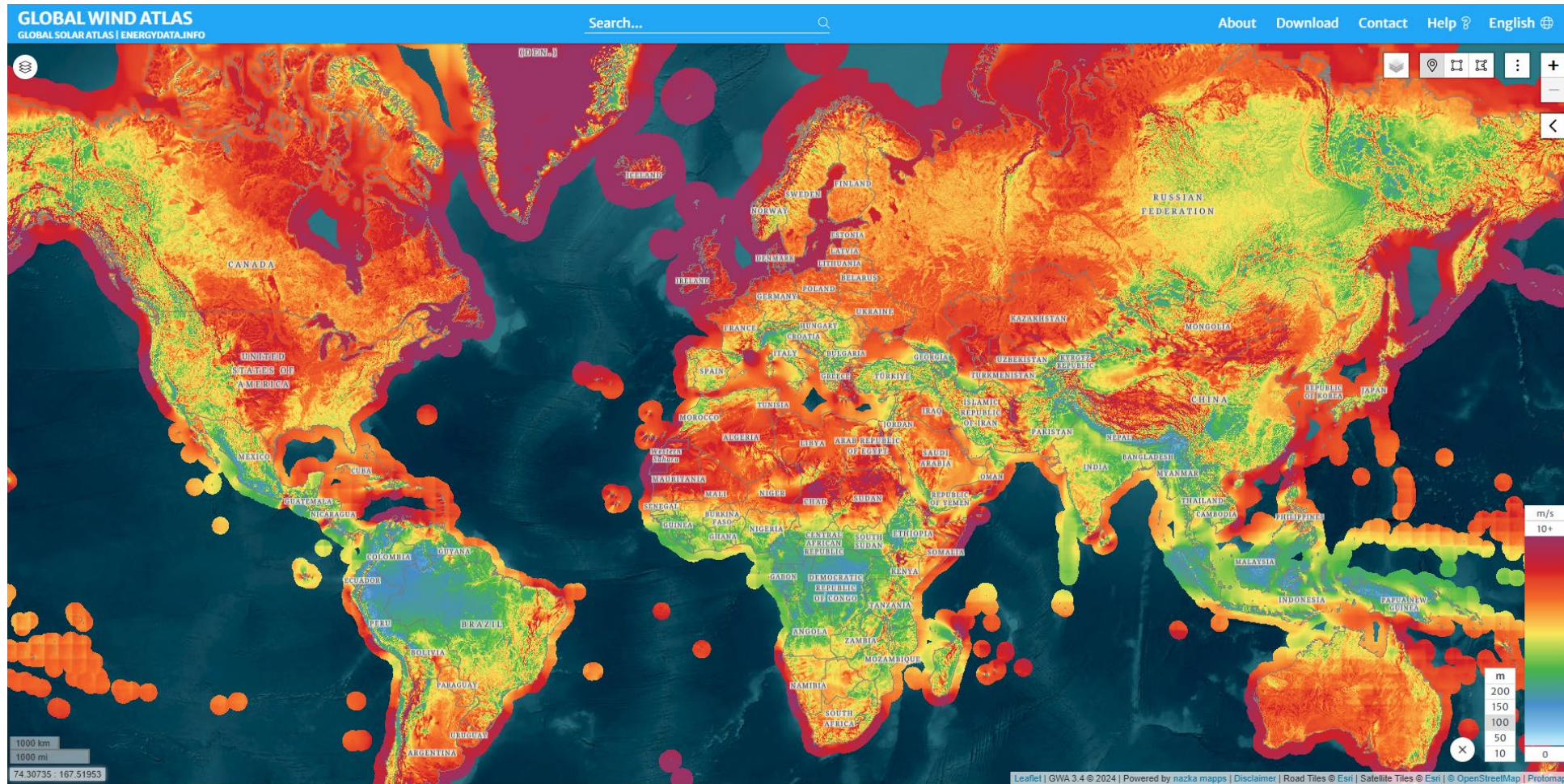
Startpunkt Motorkühlmitteltemperatur = -2 °C



➔ Synthetische Kraftstoffe können optimiert werden, z.B. auf den Kaltstart (Siedelinie)

# e-Fuels: Komplexität, Mythen und Realität

## Weltweites Wind-Potential



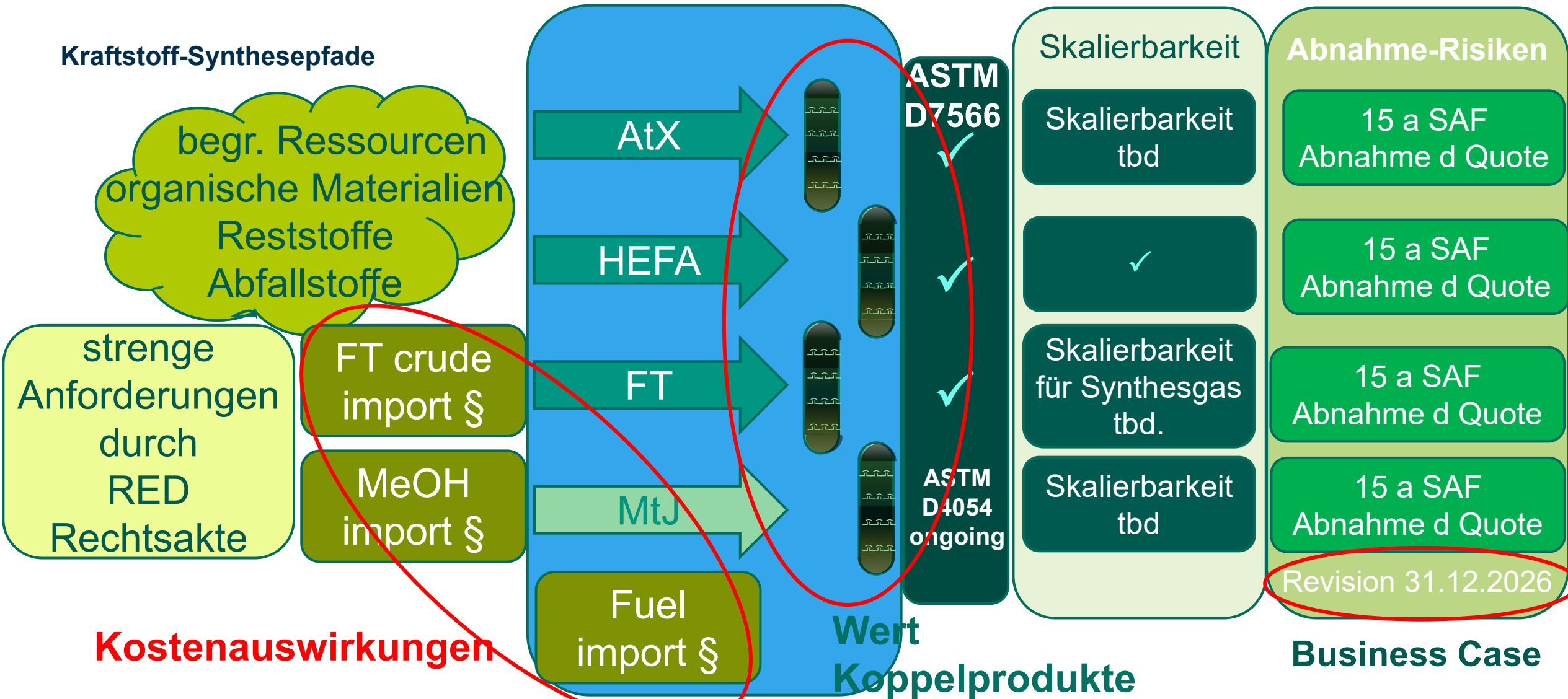
<https://globalwindatlas.info/en/>

Erntefaktoren für Windenergie hängen vom Standort und Klima ab.

# e-Fuels: Komplexität, Mythen und Realität

Mythos: „E-Fuels müssen nur für Flug und Schiff eingesetzt werden“

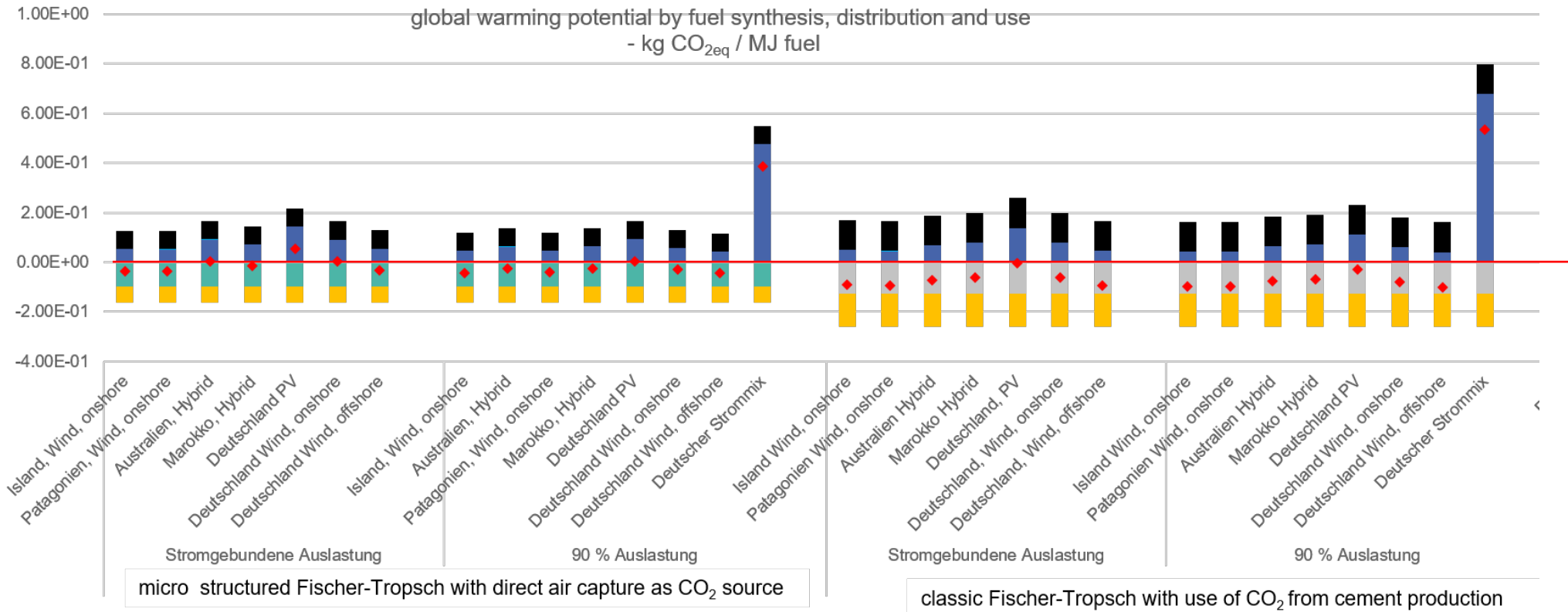
## Kraftstoff-Synthesepfade



Der Ausschluß zahlungsbereitesten Nutzer verzögert den Hochlauf von SAF und SAM

# e-Fuels: Komplexität, Mythen und Realität

Mythos: „Um die Treibhausgasziele zu erreichen dürfen wir nicht noch auf E-Fuels setzen“

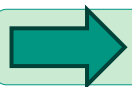
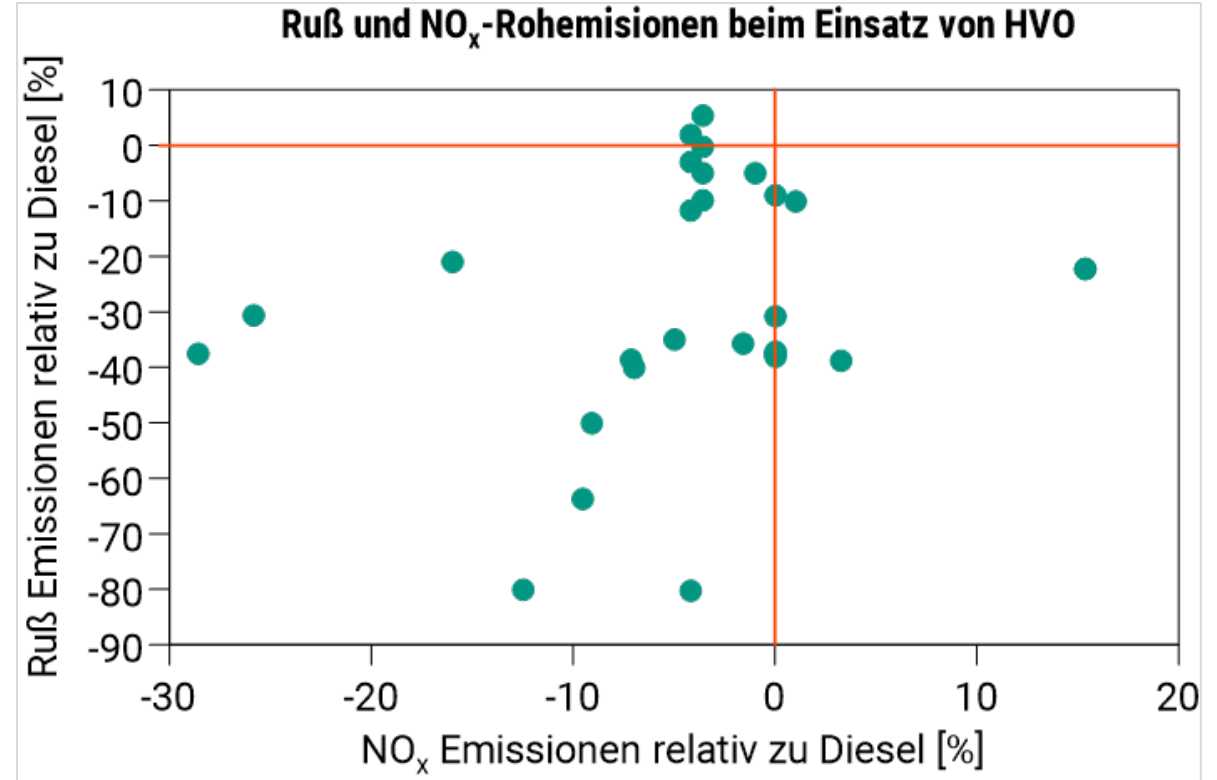


reFuels sind **CO<sub>2</sub>-negativ**! In Kombination mit ihrer Nutzung im Verbrennungsmotor können sie THG-neutral sein

# HVO100

## Qualität (Emissionen)

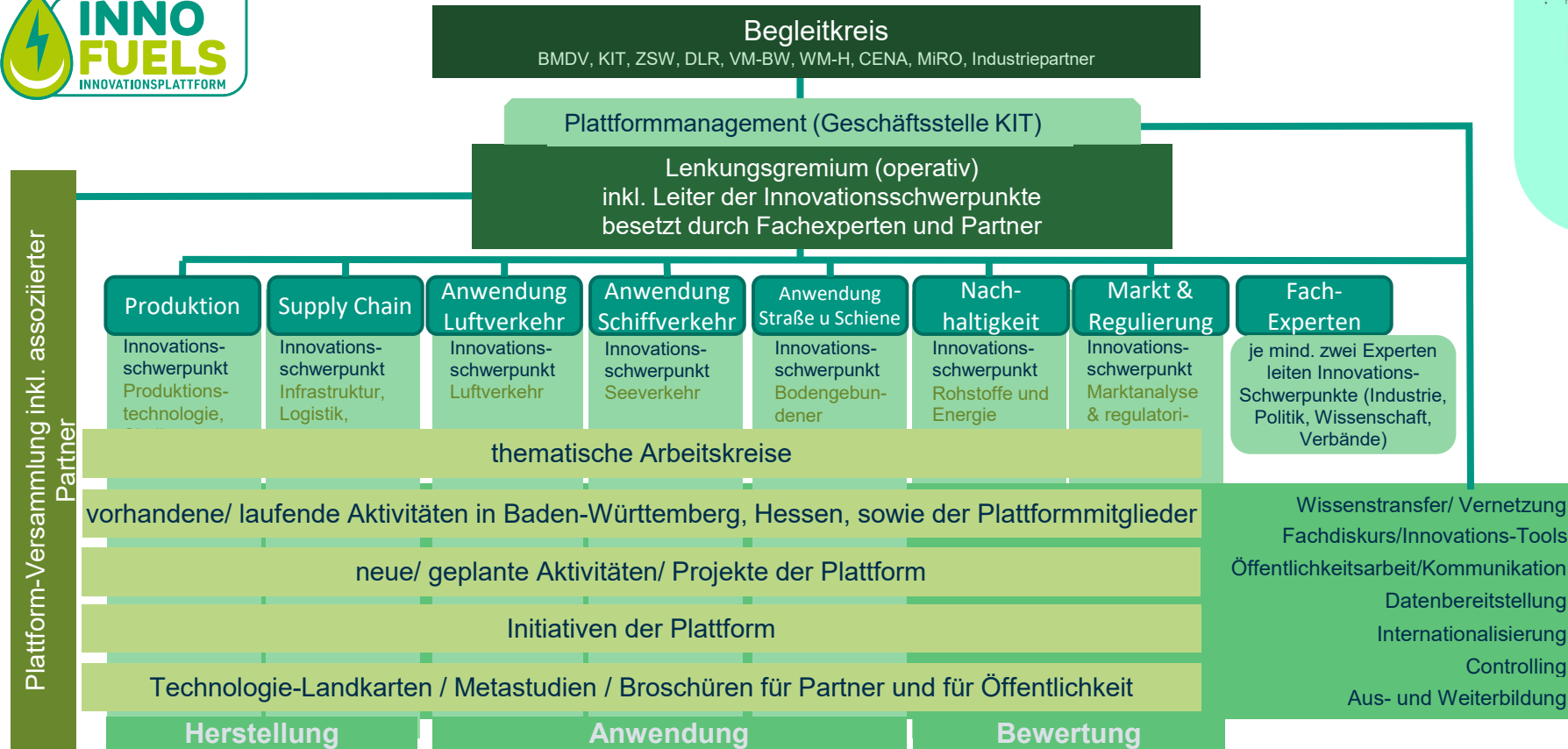
- Eine **Meta-Stude der Emissionen** zeigt
  - niedrigere Partikel-Emissionen als Ergebnis des aromatenfreien paraffinischen Kraftstoffs
  - Niedrigere Partikelemissionen als Ergebnis der geringeren Partikelemission
- Alle Emissionen sind deutlich abhängig von
  - Betriebspunkten
  - Applikationen
- Sommer- und Winterware unterscheiden sich
- E-Fuels-Diesel aus dem Fischer-Tropsch-Prozess zeigt ein vergleichbares Verhalten
- Ein ausschließlich auf paraffinische Diesel ausgelegter Motor hat noch weitere Emissions-Reduktions-Potenziale



Synthetische Kraftstoffe sind ein weiterer Schritt zur Emissions- und Immissionsreduktion

# Aktuelle Handlungsfelder

## Plattform InnoFuels



# Aktuelle Handlungsfelder

## Stake-Holder-orientierte Kommunikationsunterlagen



Es müssen alle Betroffenen mit ihren Problemen jeweils gezielt mitgenommen werden

# Kraftstoffeinfluss auf Gemischbildung und Emission

Pfad vom Kraftstoff zu Schadstoffen durch komplexe Quereinflüsse

