Brennstoffzelle im PKW: Sinnvolle Ergänzung oder überflüssige Technologievielfalt?

H2-Forum: „Klimaschutz und Wasserstoff."
15. September 2021
Julius Basler-Meier

Foto: Hyundai

H2 Perform

Klimaschutz.
Politische Rahmenbedingungen.

Klimaschutzabkommen 2015

Copyright: UNFCCC

- Limitierung der Erderwärmung auf 2°C bzw. 1,5°
- Entwicklung der „Nationally Determined Contributions“

Nationale / geografische THG-Reduktionspfade

Green Deal 2019

Copyright: European Union, 2021

- Neue Wachstumsstrategie
- Wirtschaftswachstum von Ressourcennutzung entkoppeln
- Klimaneutralität bis 2050

Sektorale THG-Reduktionspfade

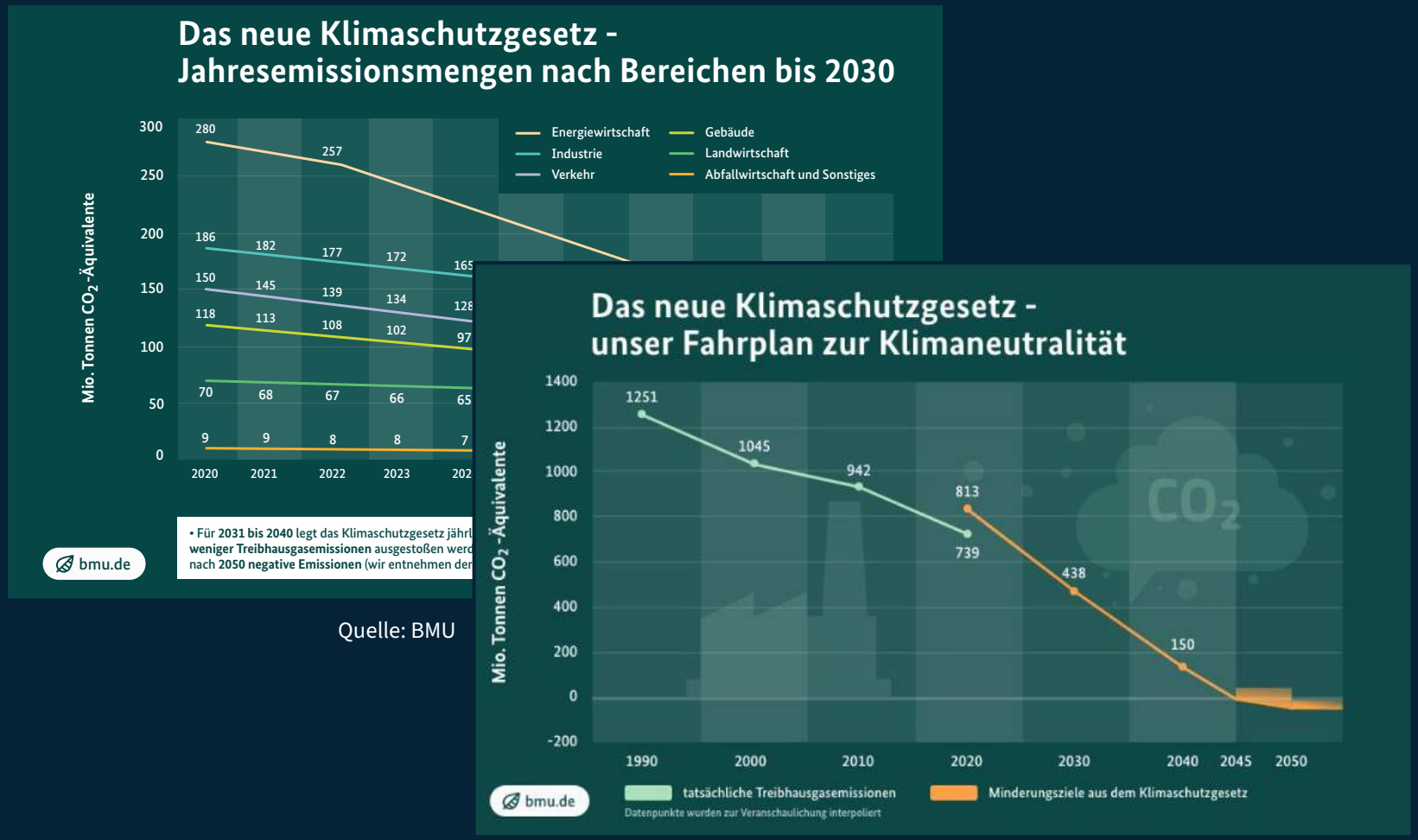
Klimaschutzgesetz 2021

Copyright: BMU/Sascha Hilgers

- Klimaneutralität in Deutschland bis 2045
- Verschärfung der Zwischenziele für 2030 / 2040

Manifestierung einer Vorreiterrolle

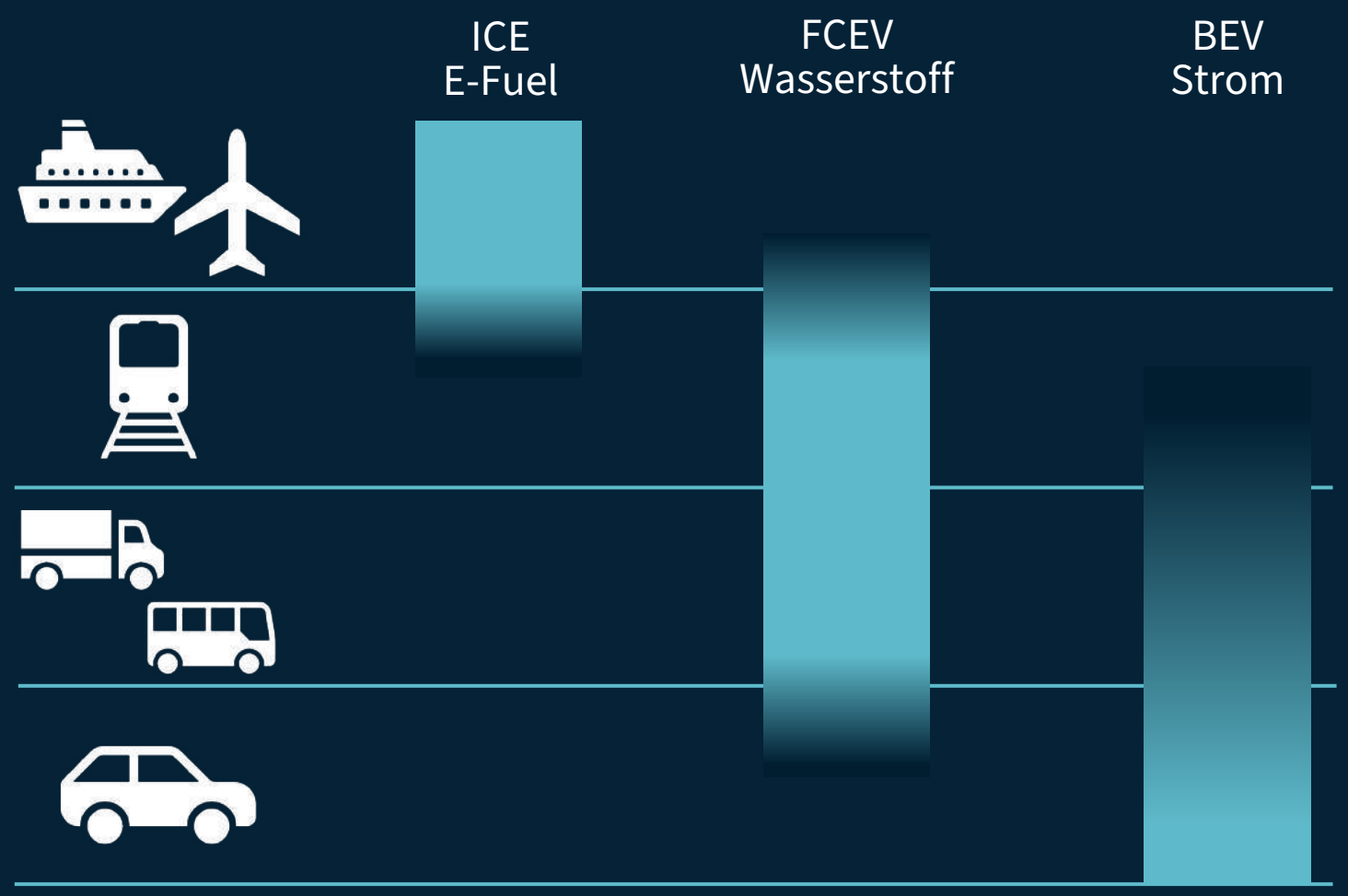
Mobilitätswende.
Politische Rahmenbedingungen & Konsequenzen.



Quelle: BMU

1. Sektorspezifische Ziele für den Verkehr sind definiert!
   - ➢ Beendigung von intersektoralen „Burden-Sharing“ Diskussionen.
2. Endziel ist Klimaneutralität!
   - ➢ Vermeidung von Verteilungskämpfen um Restbudget.
3. Beschleunigter Reduktionspfad!
   - ➢ Verkürzung einer Transformationsphase.

Mobilitätswende.
Antriebsoptionen für unterschiedliche Verkehrsträger.



- Bedarf hoher Energiemengen
- Betriebsdauer ca. 30 Jahre: Lösung für Flottenbestand oder “Abwracken“

- 50% des Schienennetzes mit Oberleitung
- Gute Planbarkeit des Fahrzeugeinsatzes

- Hoher Energiebedarf
- Erhaltung der Nutzlast und Reichweite
- Wechselnde Routen und Betriebseinsätze

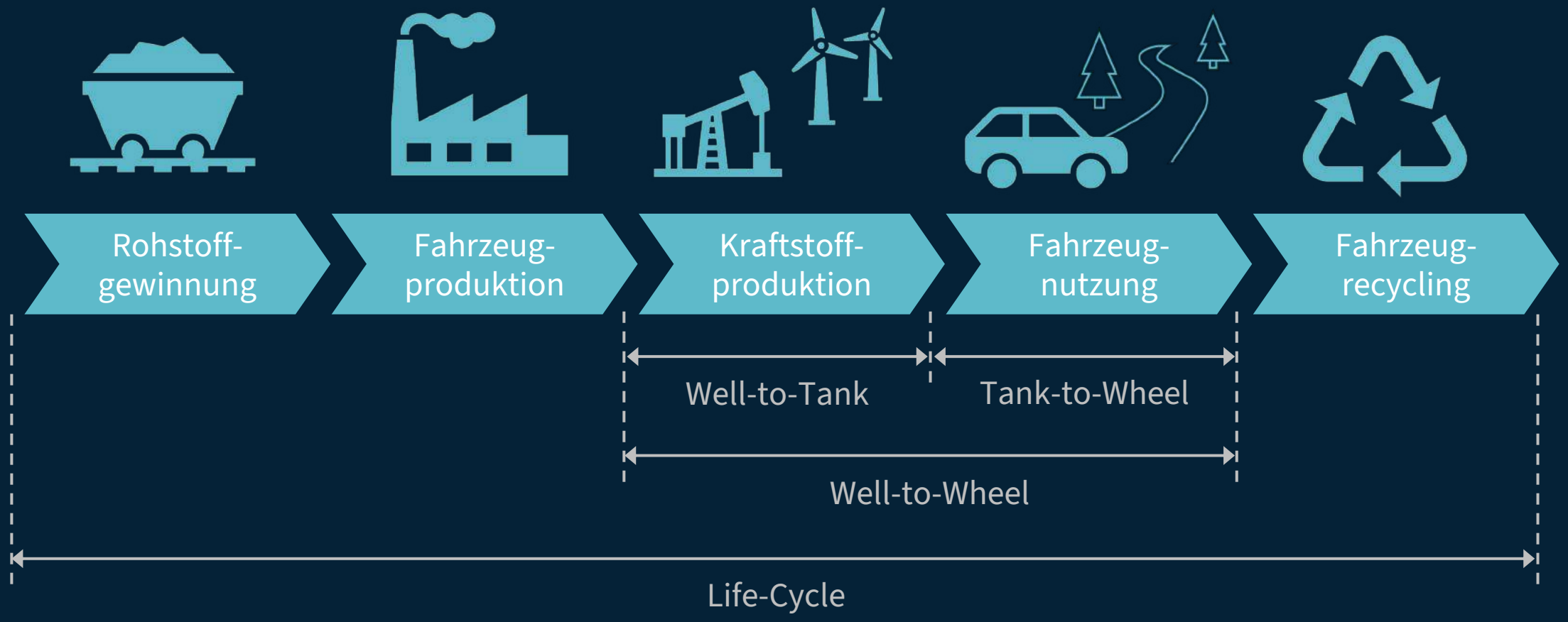
- Vergleichsweise geringer Energiebedarf
- Schlechte Planbarkeit der Fahrzeugnutzung
- Brennstoffzelle im PKW??

Mobilitätswende.
PKW-Antrieb der Zukunft.

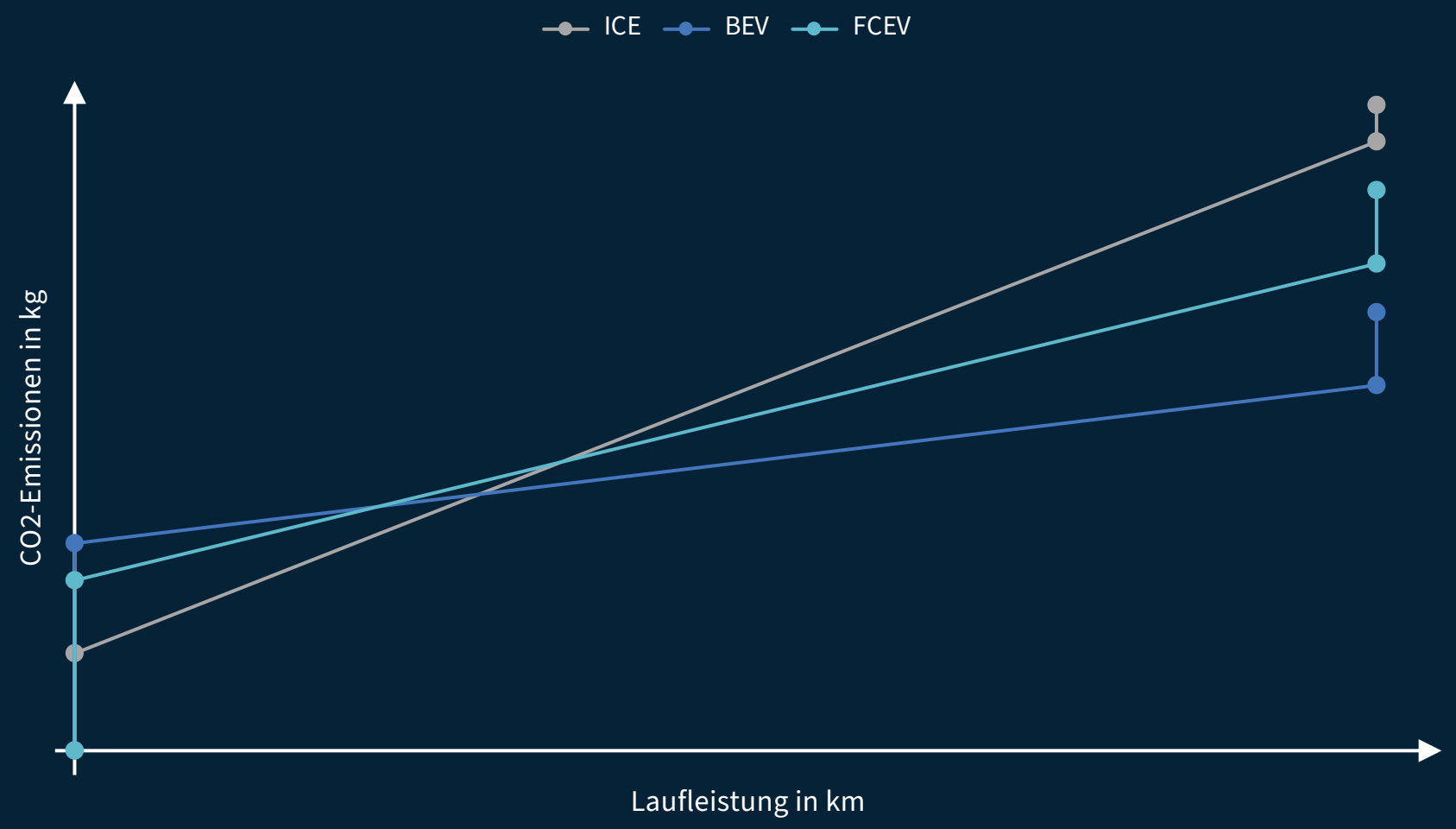
Häufige Argumentation des „Battery-Only-Lagers“:

	Brennstoffzelle	Batterie
Emissionen	👍	👍
Reichweite	👍	2015 👎 2021 👍
Effizienz	👎	👍

CO2-Emissionen eines Fahrzeugs. Bilanzierungsgrenzen.



CO2-Emissionen eines Fahrzeugs. Betrachtung über Lebenszyklus – ICE / BEV / FCEV.



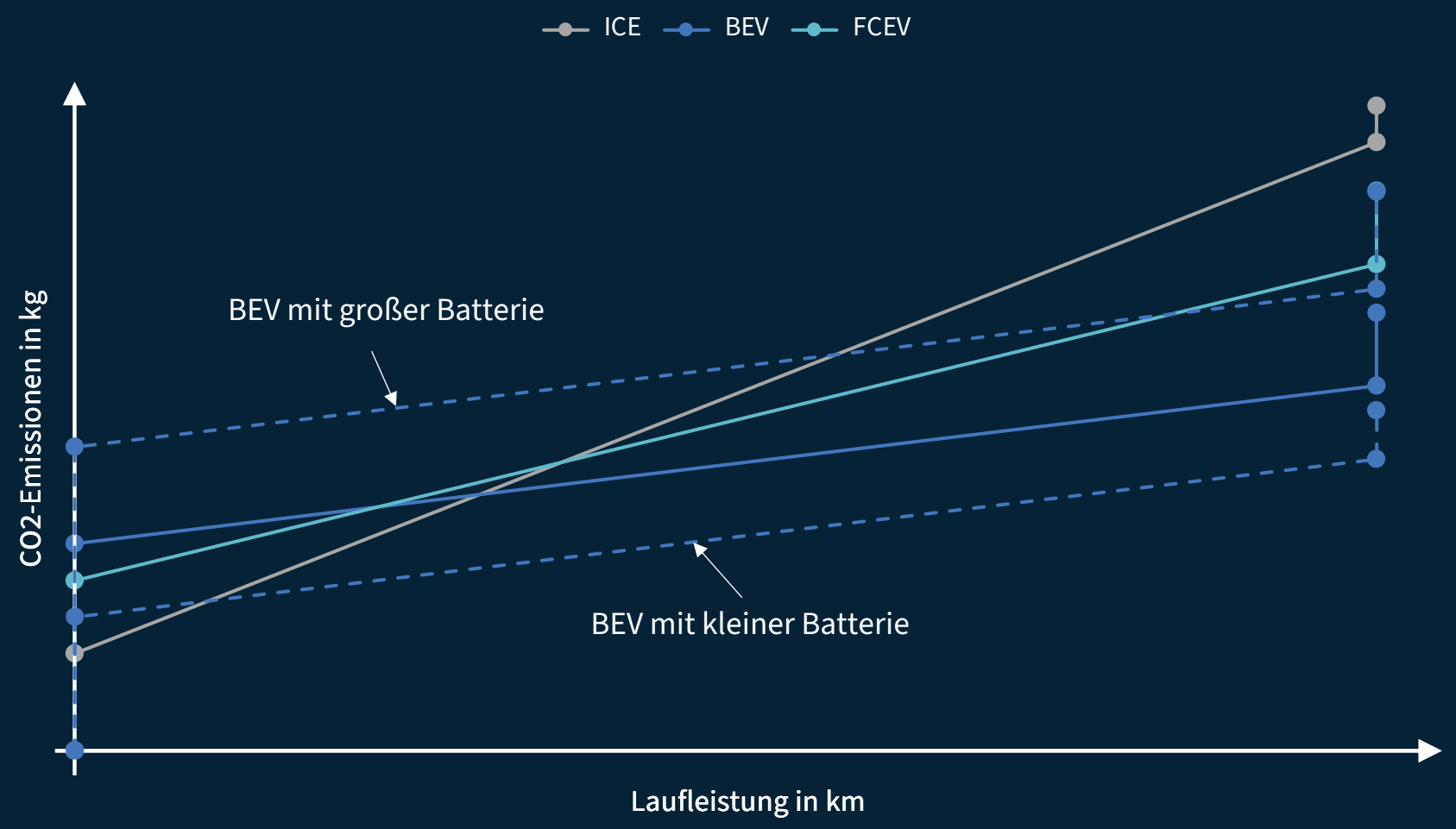
Veränderung der Emissionen BEV & FCEV gegenüber ICE:

Rohstoffgewinnung und Produktion ↗

Nutzungsphase ↘

Fahrzeugrecycling ↗

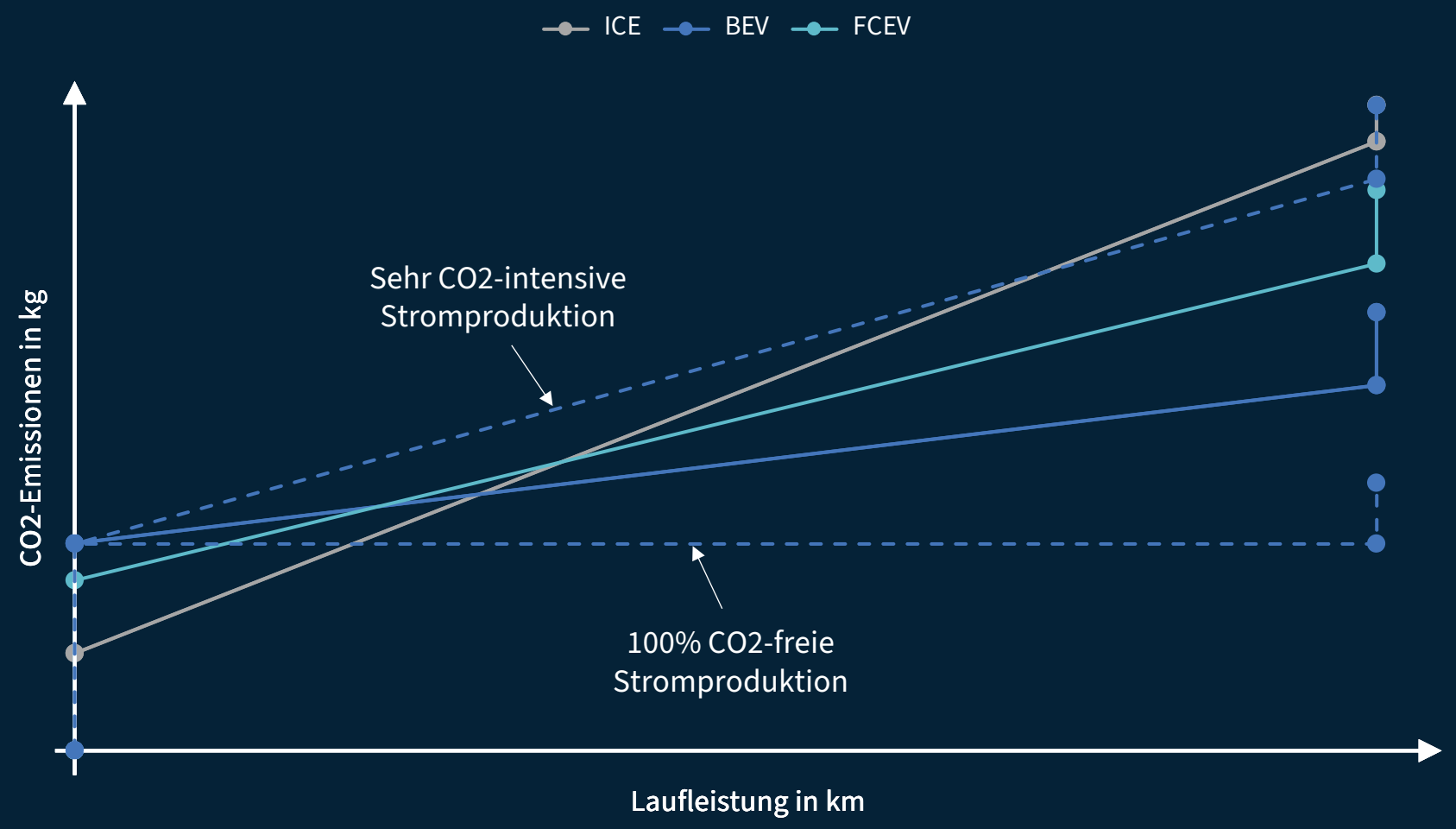
Beeinflussung eines CO2-Vergleiches. Input-Parameter: Batteriegröße.



CO2-Emissionen eines BEV sind proportional zur Batteriegröße!

Durch geeignete Festlegung der Batteriegröße lässt sich ein CO2-Vergleich stark beeinflussen.

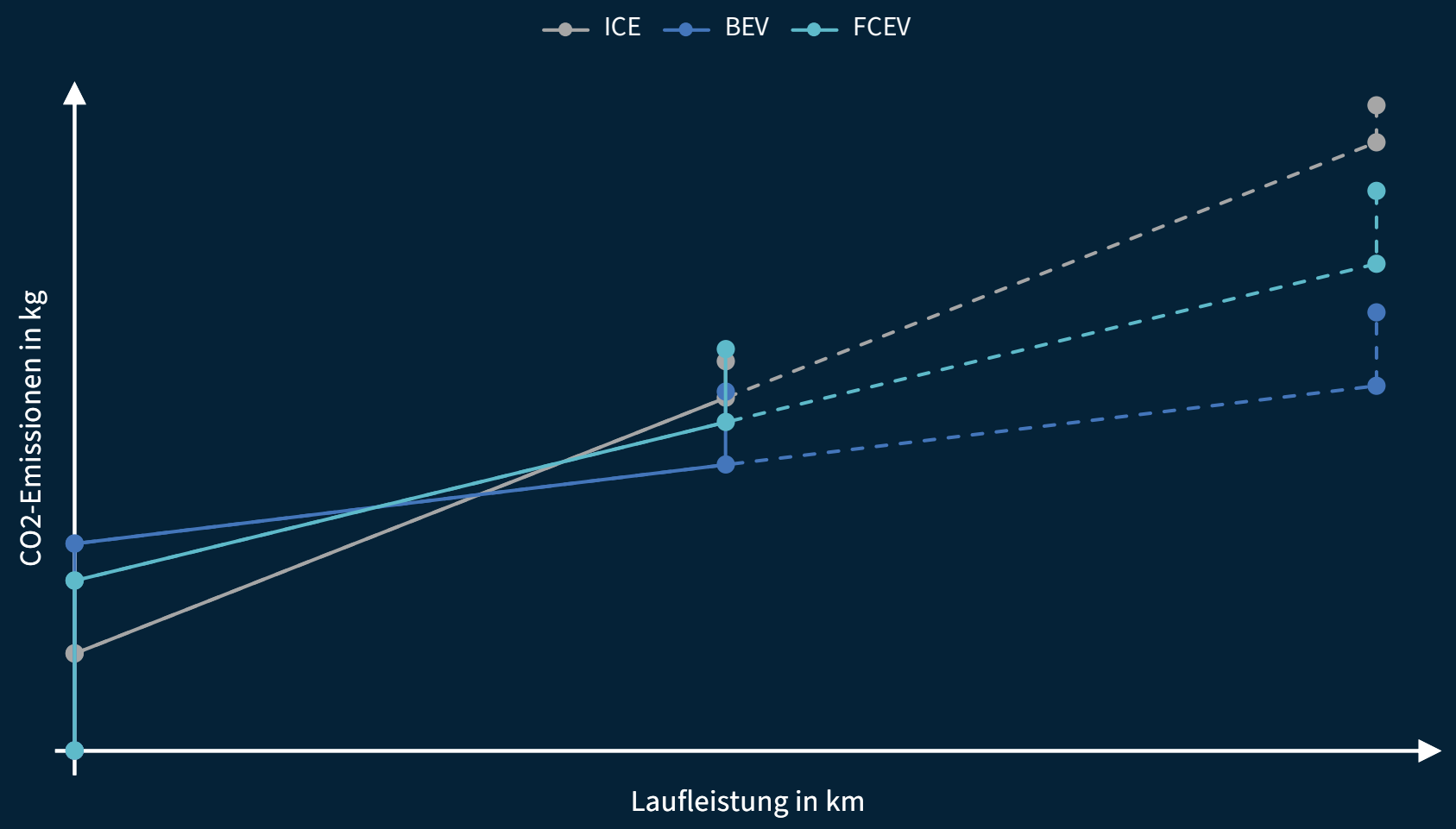
Beeinflussung eines CO2-Vergleiches. Input-Parameter: Energieerzeugung.



Energieerzeugung (Well-to-Tank) beeinflusst die Geradensteigung der Nutzungsphase.

Durch geeignete Festlegung der Kraftstofferzeugung lässt sich ein CO2-Vergleich stark beeinflussen.

Beeinflussung eines CO2-Vergleiches. Input-Parameter: Laufleistung.



Die Laufleistung beeinflusst den Beitrag der Well-to-Wheel Emissionen.

Durch geeignete Festlegung der Laufleistung lässt sich ein CO2-Vergleich stark beeinflussen.

Mobilitätswende.
PKW-Antrieb der Zukunft.

Häufige Argumentation des „Battery-Only-Lagers“:

	Brennstoffzelle	Batterie	Key Take-Away
Emissionen	👍	👍	✓ Beide Fahrzeuge emissionsfrei (TtW) ⚡ Vorsicht bei WtW- / LCA-Betrachtung
Reichweite	👍	2015 👎 2021 👍	
Effizienz	👎	👍	

Verbrauch und Reichweite. BEV-Langstreckentauglichkeit erreicht?

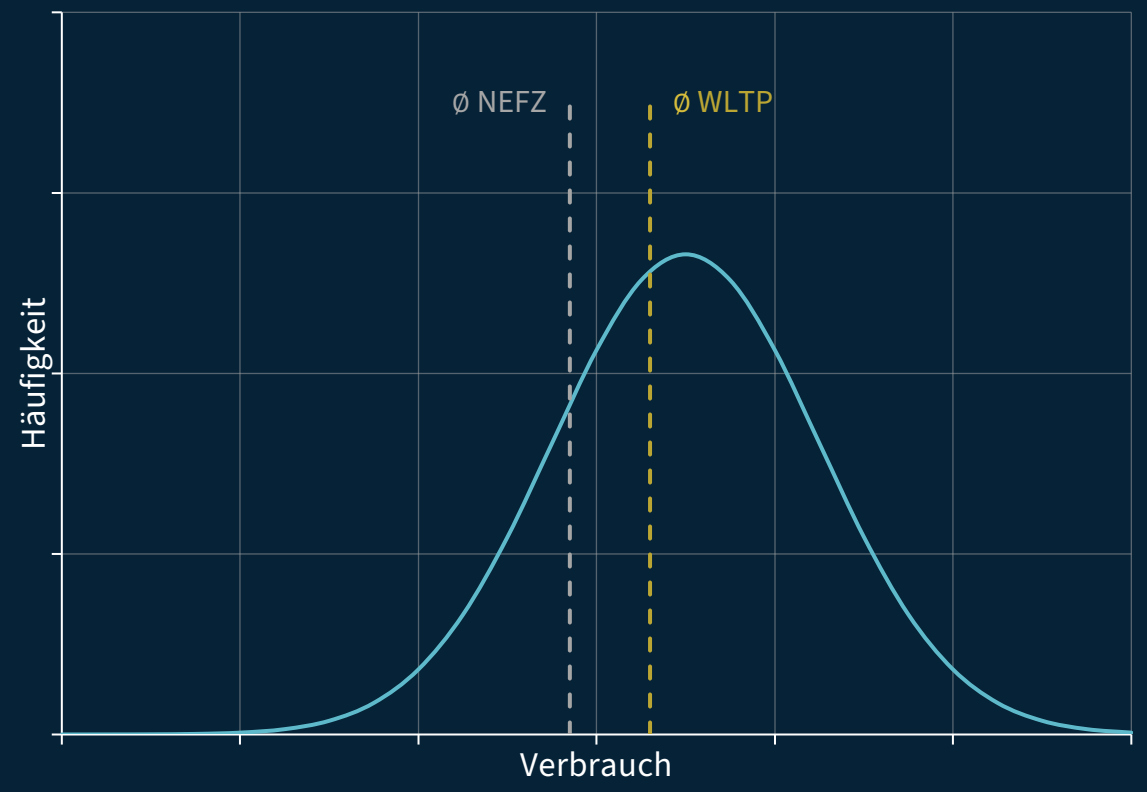
		Verbrauch$_{@WLTP}$	Reichweite$_{@WLTP}$
ICE - Otto	Foto: Audi, Q5 45 TFSI quattro S tronic	9 l/100 km	770 km
BEV	Foto: Tesla, Model X Max Range Plus	18 kWh/100 km	bis zu 561 km
FCEV	Foto: Hyundai, Nexo	0,95 kg/100 km	bis zu 666 km

- Reichweite auf den ersten Blick kein differenzierendes Kriterium mehr.
- Verbrauchs- und Reichweitenangaben werden auf den Testzyklus bezogen.
- Kunden und Gesetzgeber sind Abweichungen zwischen Zyklusverbrauch und Realverbrauch gewohnt.

ABER…

Verbrauch.
Testzyklus.

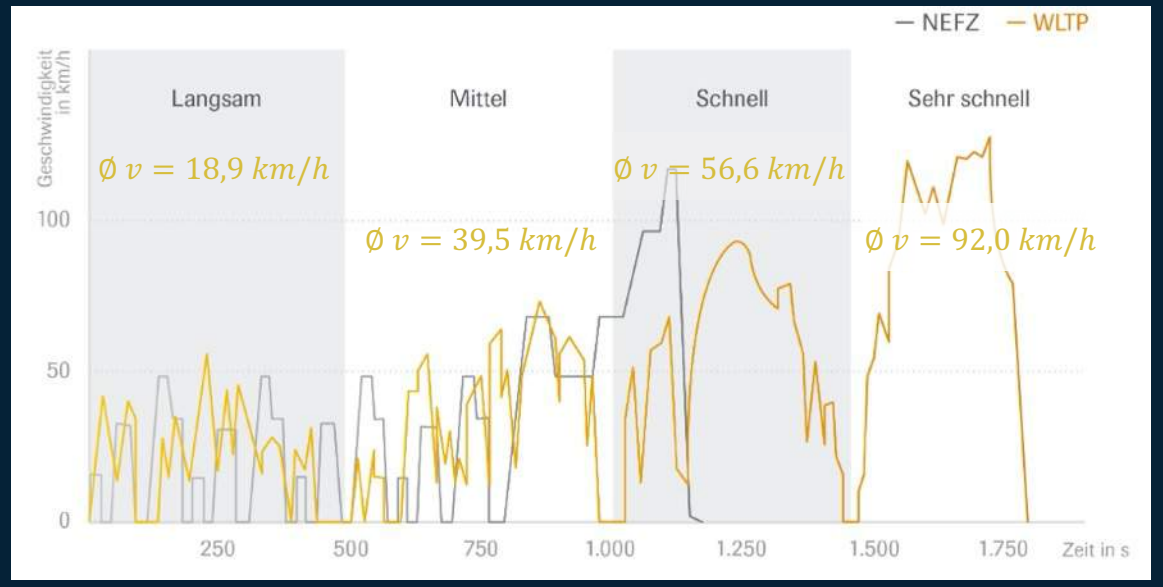
Verbrauch als Häufigkeitsverteilung



Wechsel von NEFZ zu WLTP

NEFZ = Neuer Europäischer Fahrzyklus (1992 - 2017)

WLTP = Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure (seit 2017)



Quelle: VDA

Grundlagen der Fahrzeugtechnik. Fahrwiderstand.

Fahrwiderstand		Roll-widerstand F_{Ro}		Luft-widerstand F_L		Steigungs-widerstand F_{St}		Beschleunigungs-widerstand F_B
F_W	=		+		+		+	

$$F_L = c_w * A * \varrho * \frac{v^2}{2}$$

c_w: Luftwiderstandsbeiwert

A: Querschnittsfläche

ϱ: Luftdichte

v: Geschwindigkeit

Der Luftwiderstand eines Fahrzeugs steigt exponentiell mit der Geschwindigkeit!

Verbrauch.
Unterschied der Antriebsoptionen.

Abgerufene Antriebsleistung

- Steigt exponentiell mit der Geschwindigkeit
  - Unabhängig vom Fahrzeugantrieb

+

Wirkungsgrad des Antriebs

Verbrenner:
- Relativ schlecht.
- Variiert stark über Betriebsbereich. (vgl. Verbrauchskennfeld)

BEV:
- Sehr gut.
- Variiert kaum über Lastbereich.

FCEV:
- Gut.
- Variiert wenig über Lastbereich.

Resultierender Verbrauch

Verbrenner:
Stark steigende Antriebsleistung bei hohen Geschwindigkeiten wird durch steigenden Wirkungsgrad zum Teil kompensiert.

BEV & FCEV:
Konstanter Antriebswirkungsgrad macht steigende Antriebsleistung direkt im Verbrauch bemerkbar.

Mobilitätswende.
PKW-Antrieb der Zukunft.

Häufige Argumentation des „Battery-Only-Lagers“:

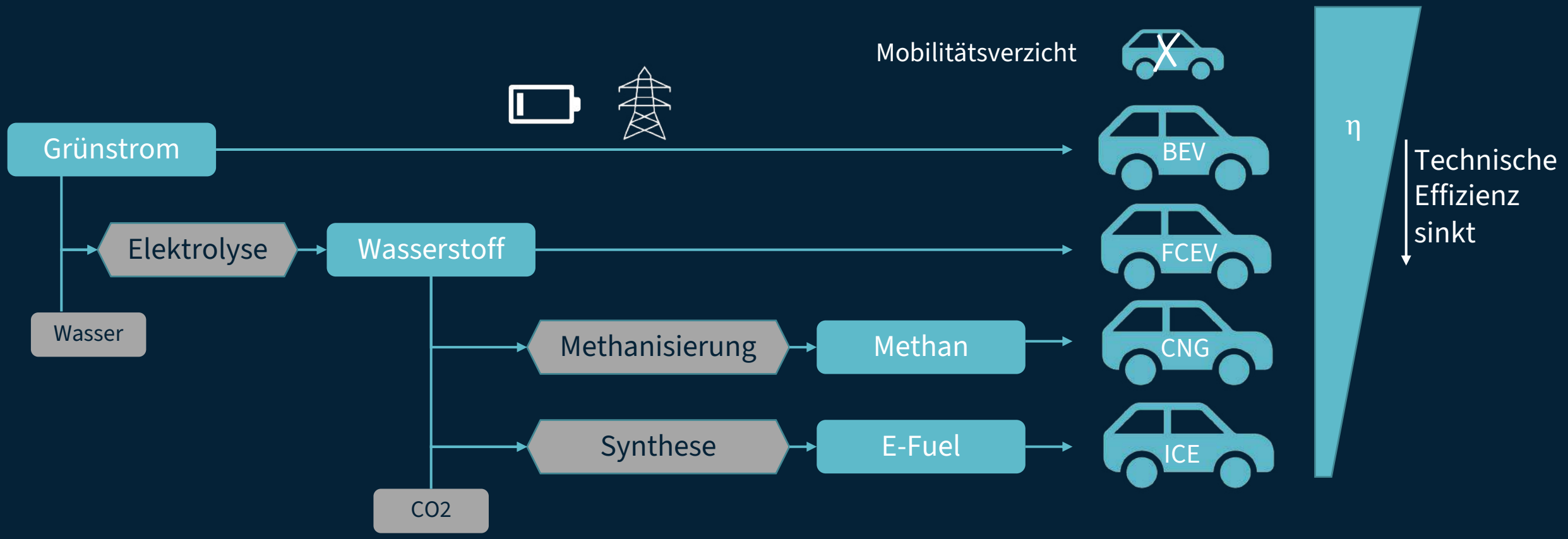
	Brennstoffzelle	Batterie
Emissionen	👍	👍
Reichweite	👍	2015 👎 2021 ??
Effizienz	👎	👍

Key Take-Away

- ✓ Beide Fahrzeuge emissionsfrei (TtW)
- ⚡ Vorsicht bei WtW- / LCA-Betrachtung

- ⚡ Verbrauch steigt bei „hohen“ Geschwindigkeiten deutlich stärker als vom Verbrenner gewohnt.
- ⚡ Reichweite im typischen Langstreckenbetrieb stark reduziert.

Effizienz.
Vom Grünstrom bis zur Straße.



Physikalische Effizienzoptimierung erstrebenswert, aber betriebswirtschaftliche Effizienz maßgebend!

Mobilitätswende.
PKW-Antrieb der Zukunft.

Häufige Argumentation des „Battery-Only-Lagers“:

	Brennstoffzelle	Batterie	Key Take-Away
Emissionen			✓ Beide Fahrzeuge emissionsfrei (TtW) Vorsicht bei WtW- / LCA-Betrachtung
Reichweite		2015 / 2021 ??	Verbrauch steigt bei „hohen“ Geschwindigkeiten deutlich stärker als vom Verbrenner gewohnt. Reichweite im typischen Langstreckenbetrieb stark reduziert.
Effizienz			Effizienzfokus darf rechtzeitige Mobilitätswende nicht verhindern. Wirtschaftliche Effizienz relevant.

Brennstoffzelle im PKW:
Sinnvolle Ergänzung oder überflüssige Technologievielfalt?

Sinnvolle Ergänzung!

Foto: Toyota

Kontakt:
H2Perform GmbH
Julius Basler-Meier
Web: www.h2perform.de
Tel.: 0160-5647623
Email: moin@h2perform.de

H2 Perform