

Vergleich von Power-to-X- Kraftstoffoptionen

Wolfgang Köppel, Maximilian Heneka

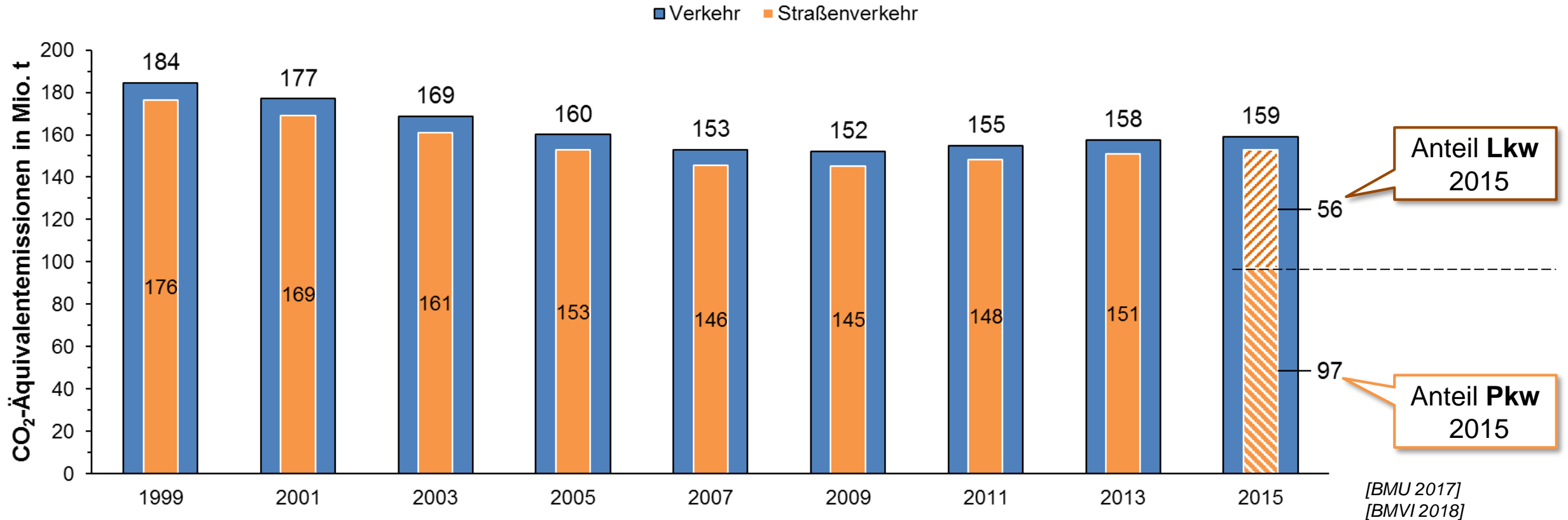
Brennpunkt – fokus.energie

08.04.2019, Karlsruhe, Engler-Bunte-Institut

Inhalt

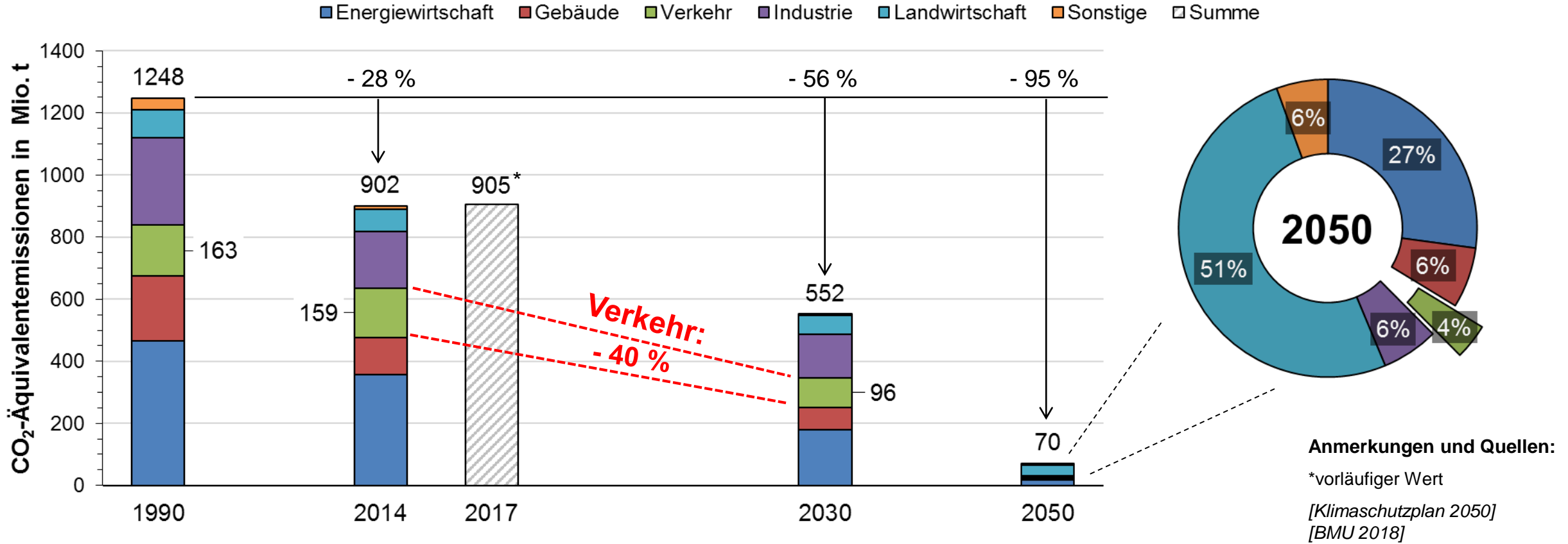
- Motivation und Zielsetzung
- Lösungsansätze
 - Prozesskettenwirkungsgrade PtX
 - Kraftstoffkosten PtX
 - Well-to-Wheel-Emissionen PtX
- Fazit

Entwicklung der THG-Emissionen des Verkehrssektors in Deutschland

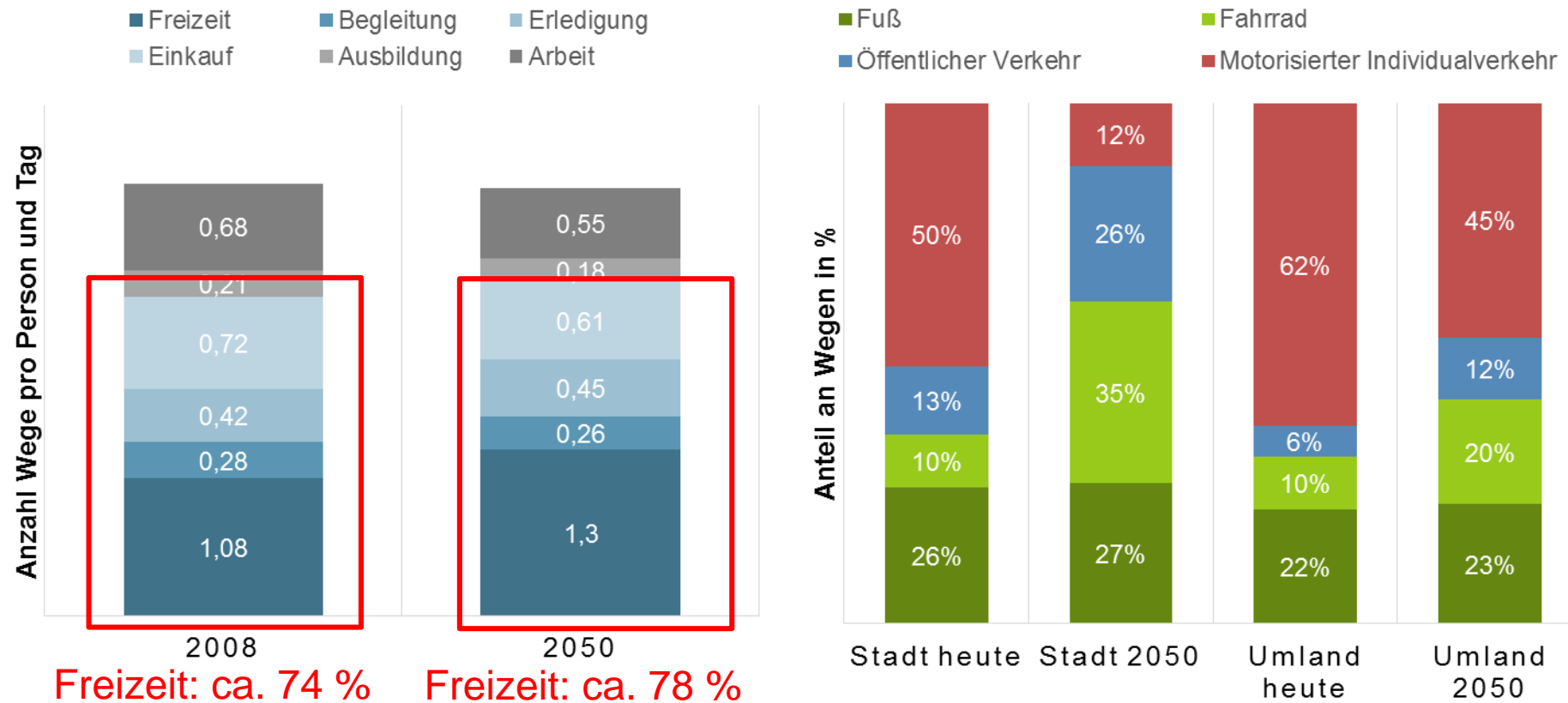


- Der Verkehrssektor trägt seit Jahren nahezu konstant mit ca. 18 % zu den THG-Emissionen in Deutschland bei
- Der Großteil der THG-Emissionen (96 % in 2015) entfällt auf den Straßenverkehr

Sektorspezifische Emissionsziele der Bundesregierung



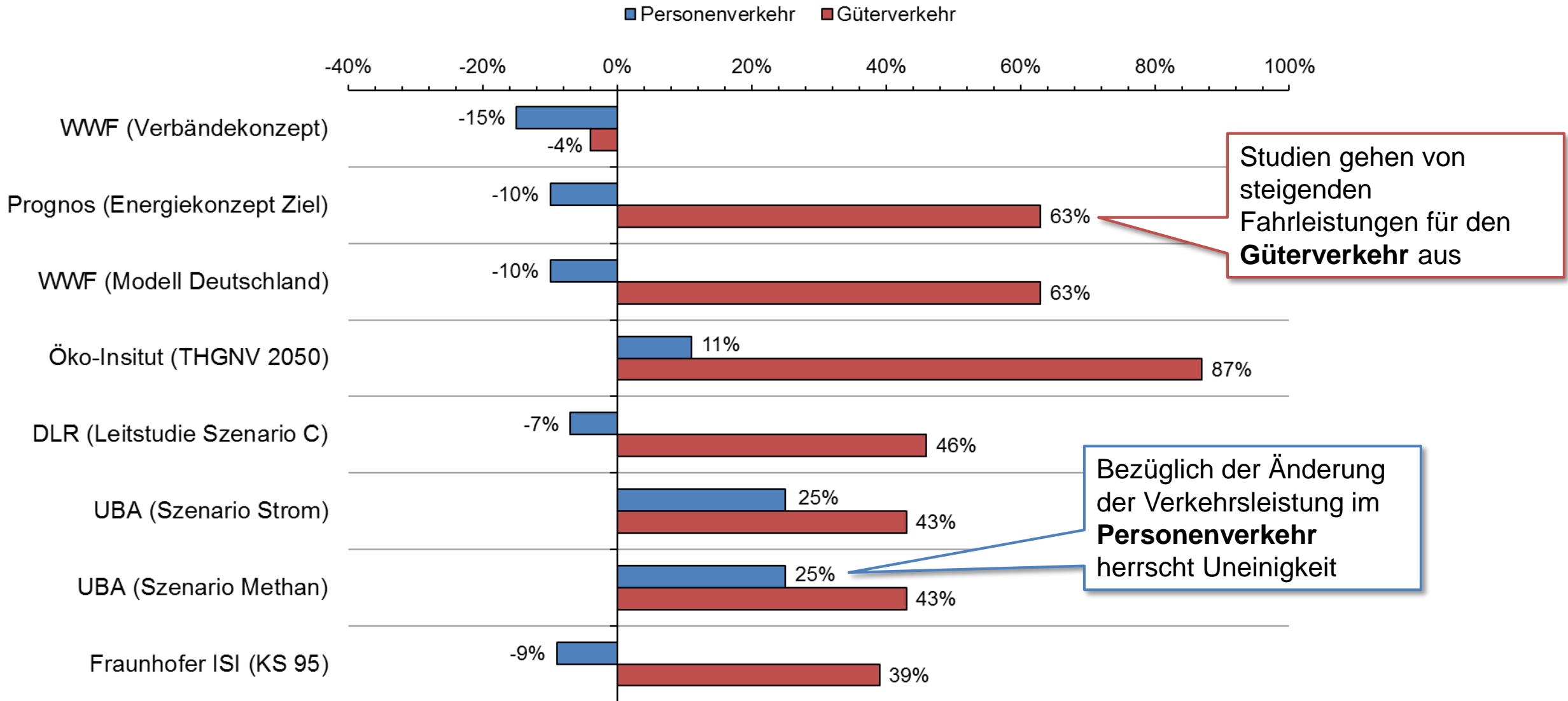
• Aufgrund nicht vermeidbarer THG-Emissionen in den Bereichen Industrie und Landwirtschaft ist auf lange Sicht eine Defossilisierung des Verkehrssektors unvermeidbar (max. 3 Mio. t CO₂-eq in 2050)



WWf (Verbändekonzept)

- Ca. 75 % der Wege sind private Wege
- Anzahl Wege bleiben auch in der Zukunft ähnlich hoch
- Motorisierter Individualverkehr (MIV) wird laut Verbändekonzept-Studie in der Stadt stark und auf dem Land nur moderat abnehmen
- Strukturelle Maßnahmen sollen zu CO₂-Einsparungen führen

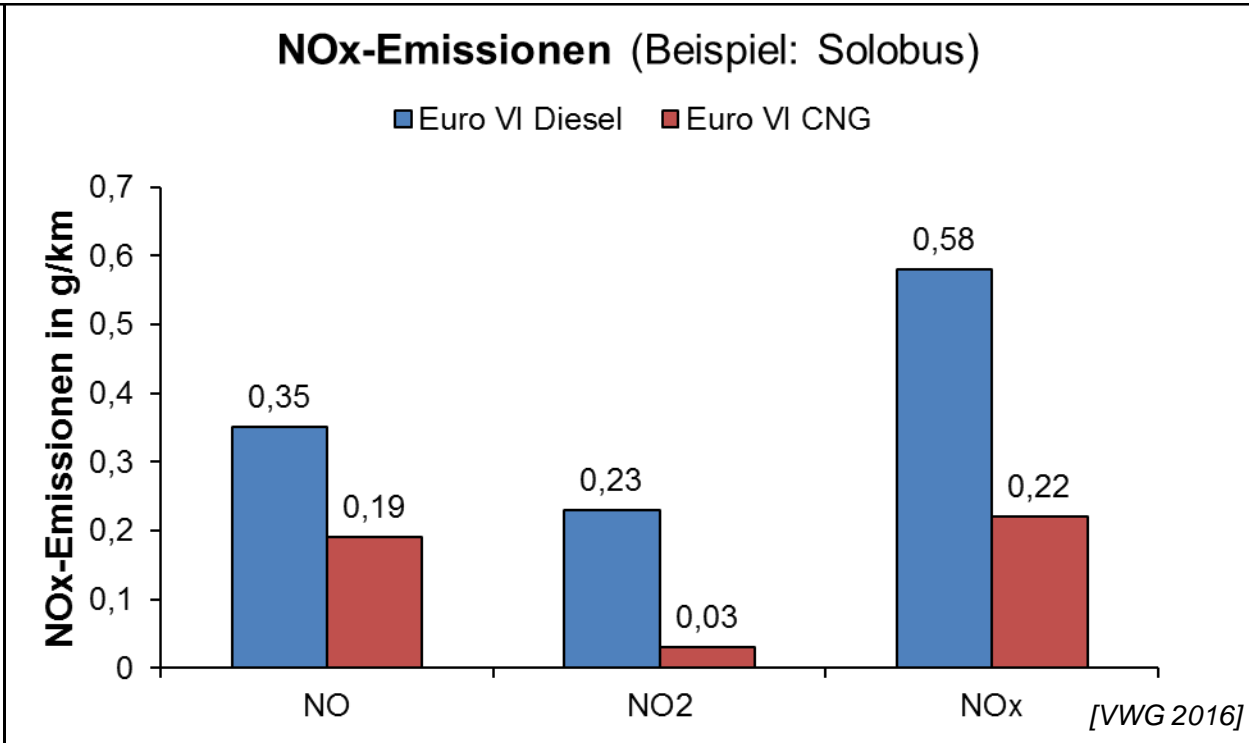
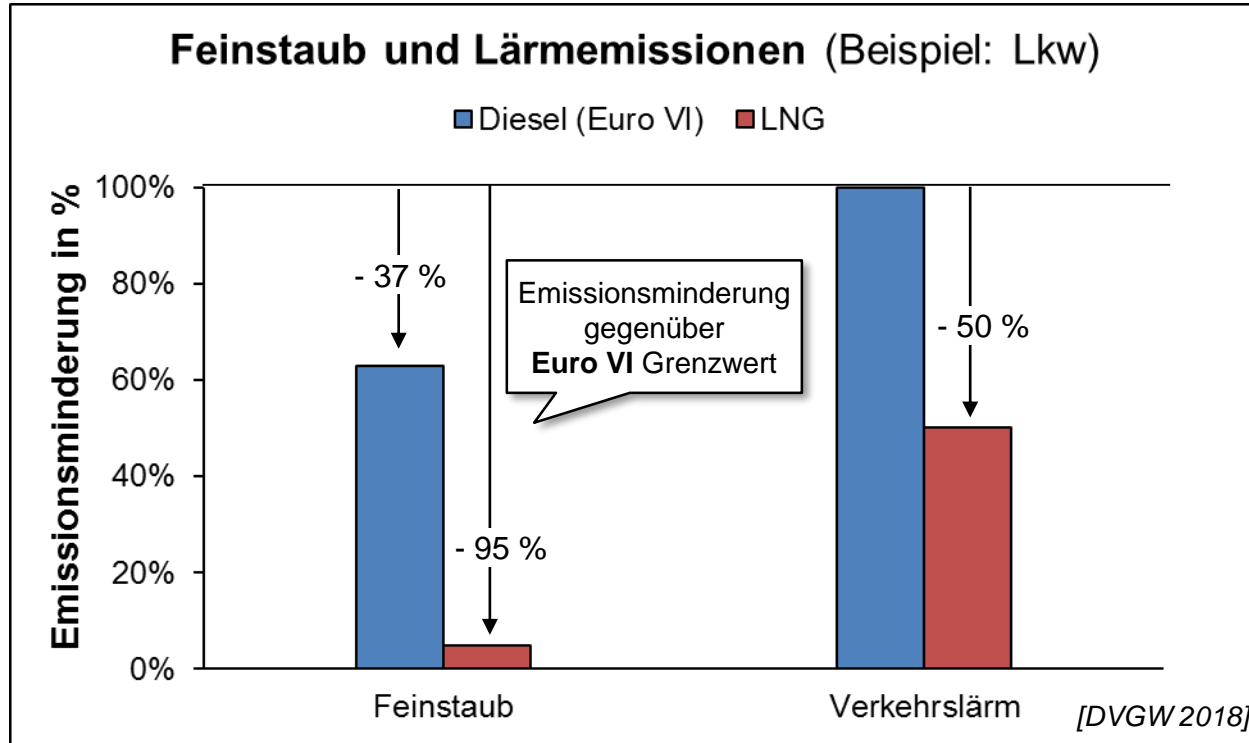
Änderung der Verkehrsleistung in 2050 gegenüber 2010



Lösungsansätze für eine **zeitnahe** und **wirtschaftlich sinnvolle** Umsetzung der Klimaschutzziele?

- ⇒ Kurzfristige Strategie?
- ⇒ Mittel- und langfristige Strategie?

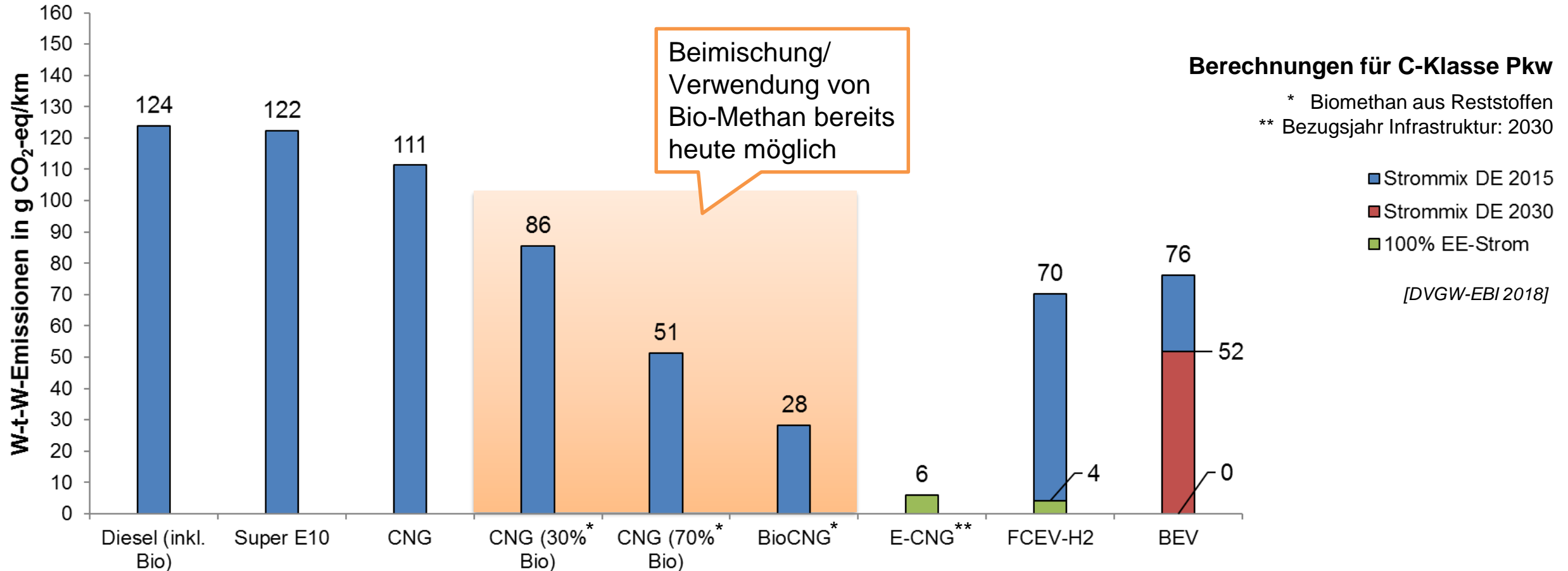
Lokale Emissionen



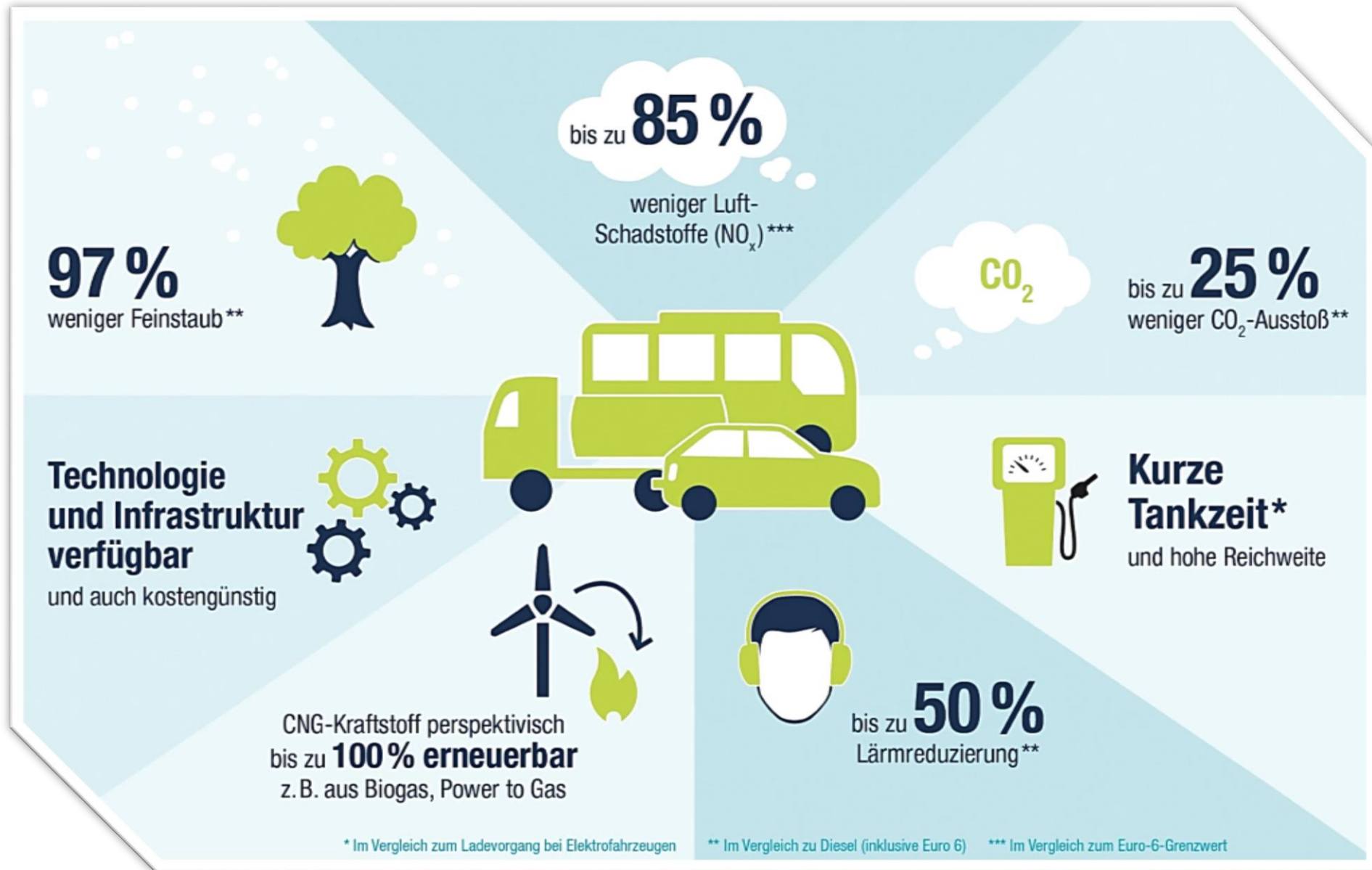
- Erdgas-Fahrzeuge zeigen deutlich geringere Feinstaub, Lärm- und NOx-Emissionen im Vergleich zu Euro VI Dieselfahrzeugen



Well-to-Wheel-Emissionen verschiedener Kraftstoffe/ Antriebsstränge (Pkw)

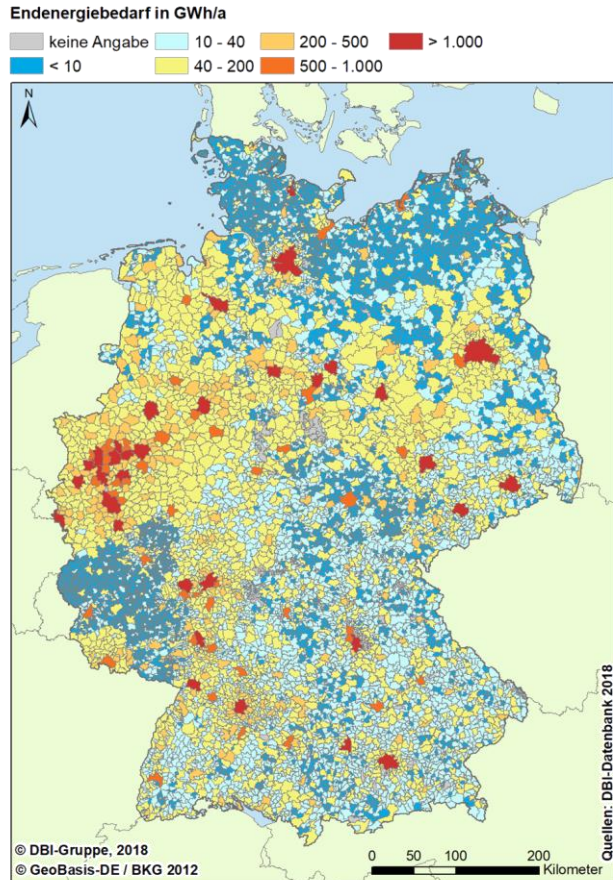


- Gasmobilität bietet eine Möglichkeit die THG-Emissionen im Verkehrssektor kurzfristig und global zu reduzieren

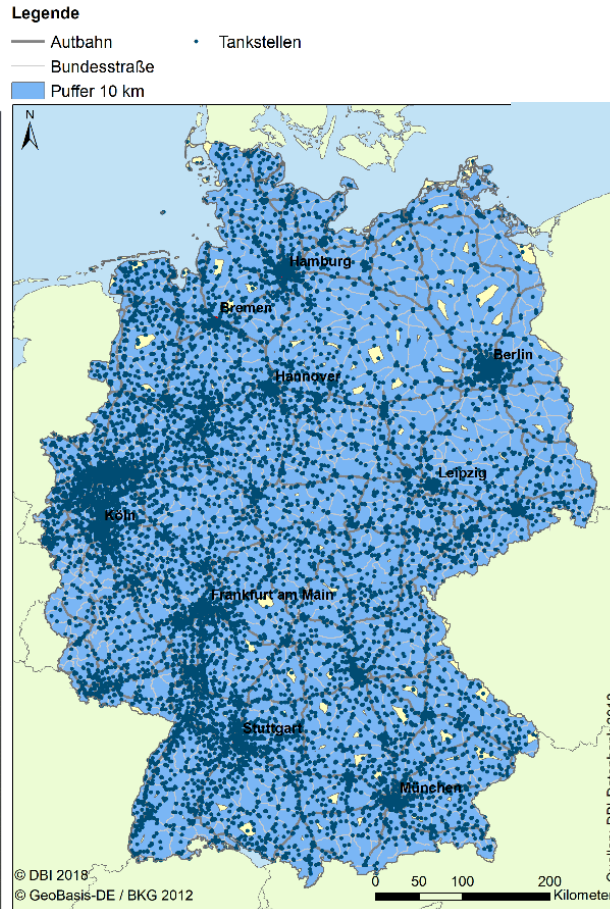


[DVGW 2018]

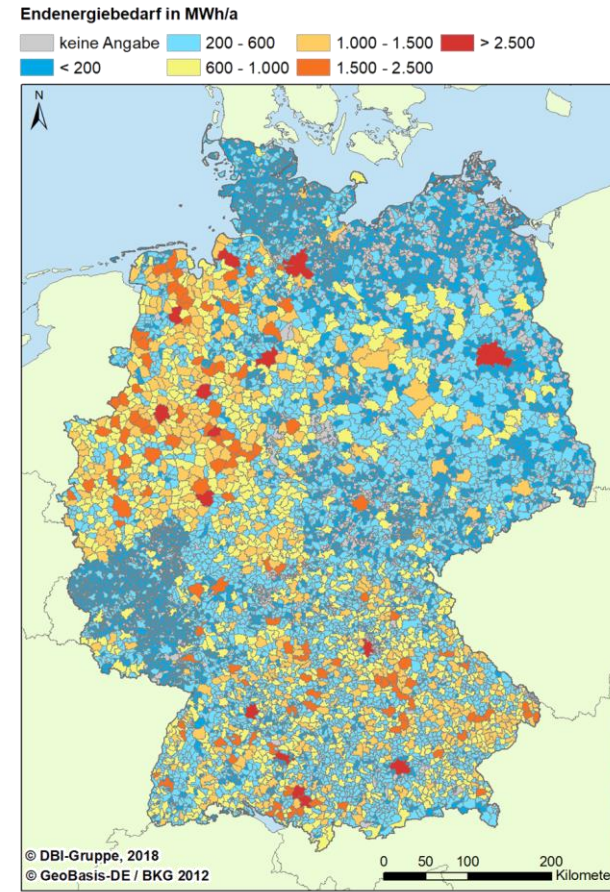
PKW



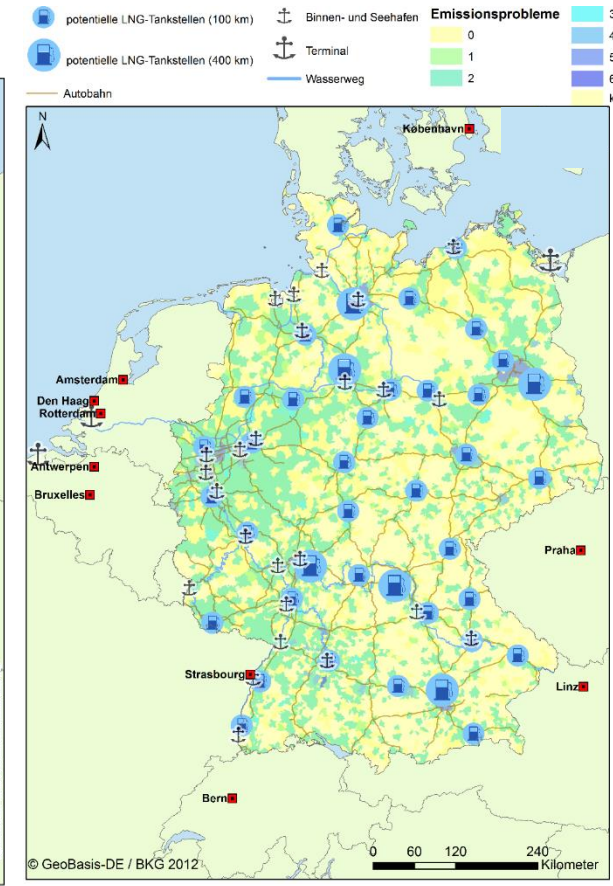
Tankstellen PKW



LKW



Tankstellen LKW



DVGW (GreenGasMobility)

- Tankstellendichte passt sich dem Endenergiebedarf an
- Hohe Tankstellendichte für PKW notwendig
- Geringe Tankstellendichte für LKW notwendig

Antriebskonzepte

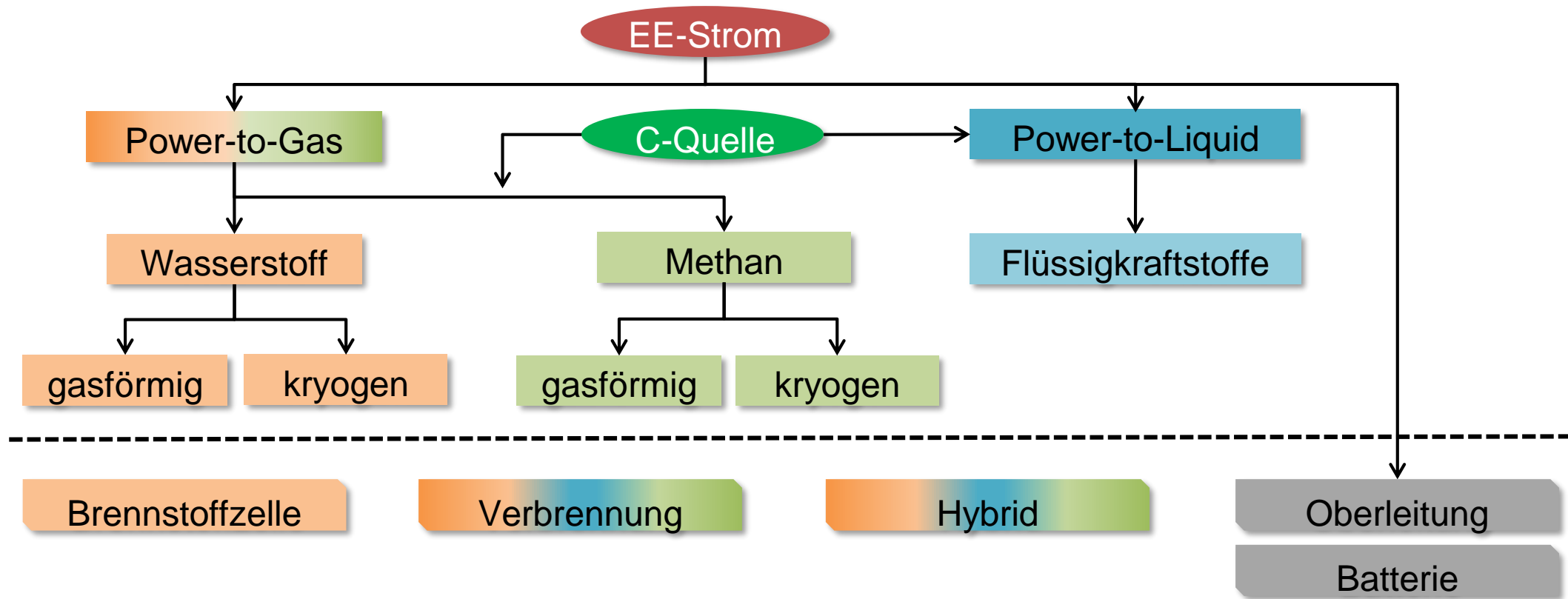
Kriterium	PtL	GH ₂ / EE-cH ₂	LH ₂ / EE-LH ₂	LNG / EE- LNG	CNG / EE- CNG
Energiespeicherdichte	++	0	+	++	+
Effizienz Antriebsstrang	0	++	++	0	0
Infrastrukturausbau	++	--	--	-	+
CO ₂ -Emissionen	+	0/++	++	0/+	0/+
Zeitl. Umsetzbarkeit	++	--	--	+	+
Kosten	0	-	-	0	0

++: sehr gut, +: gut, 0: neutral, --: sehr schlecht, -: schlecht

PtL: Power-to-Liquid, GH₂: gaseous Hydrogen, EE: EE-Strom, LH₂: liquefied Hydrogen,

- Markteinführung von Wasserstoff durch hohe Kosten und fehlende Infrastruktur gehemmt.
- PtL, CNG/LNG sind vergleichsweise schnell umsetzbar. Sowohl Infrastruktur als auch Fahrzeuge sind verfügbar

Mittel- und langfristige Lösungsansätze:



- Zur Erreichung der mittel- und langfristigen THG-Minderungsziele ist der Wechsel von fossilen auf regenerative Energieträger obligatorisch

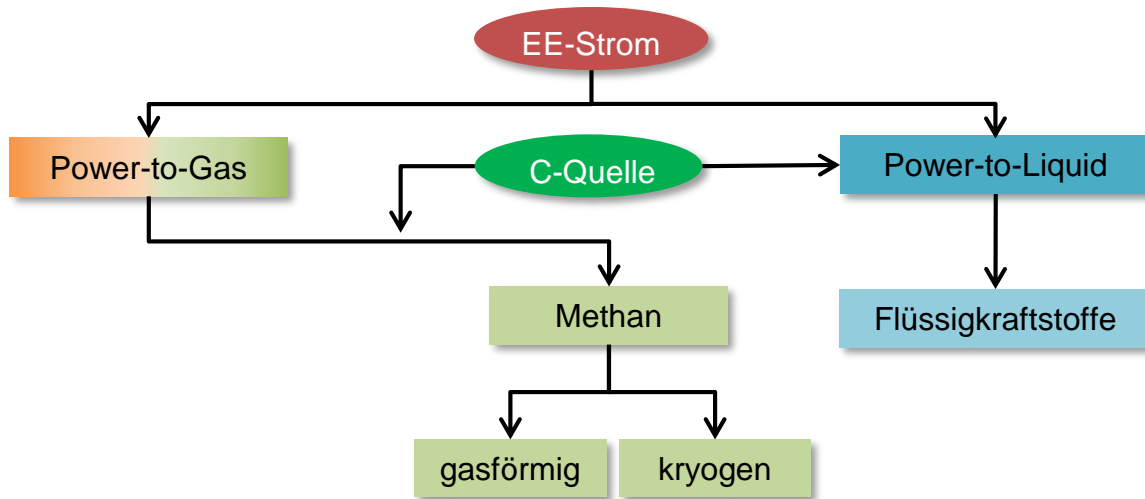
PtX-Studie: Aufgabenstellung

- Vergleich von PtX-Prozessketten auf einer einheitlichen verfahrenstechnischen Basis
- Berücksichtigung unterschiedlicher C-Quellen
- Reintegration nutzbarer Abwärme und Nebenprodukte



Projektpartner:

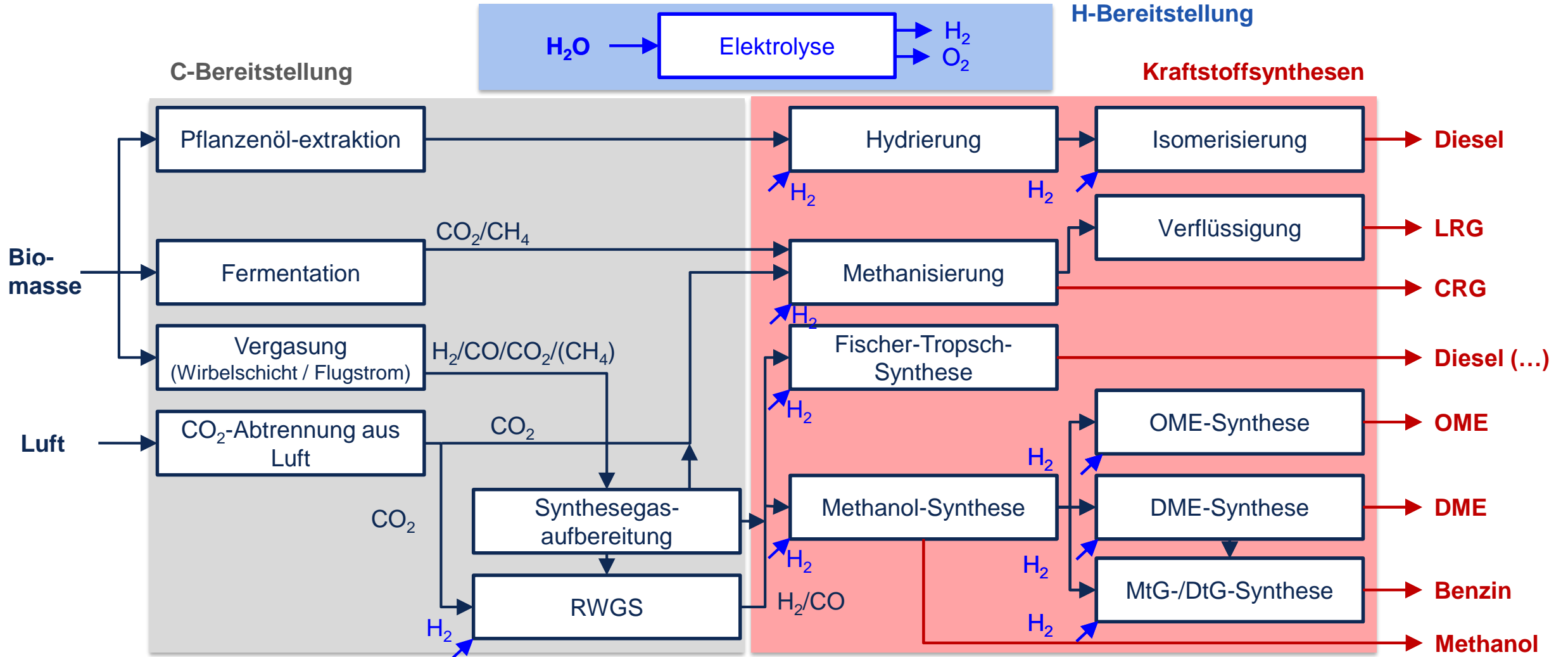
DVGW-EBI (Koordinator)
KIT-EBI-CEB
KIT-IKFT



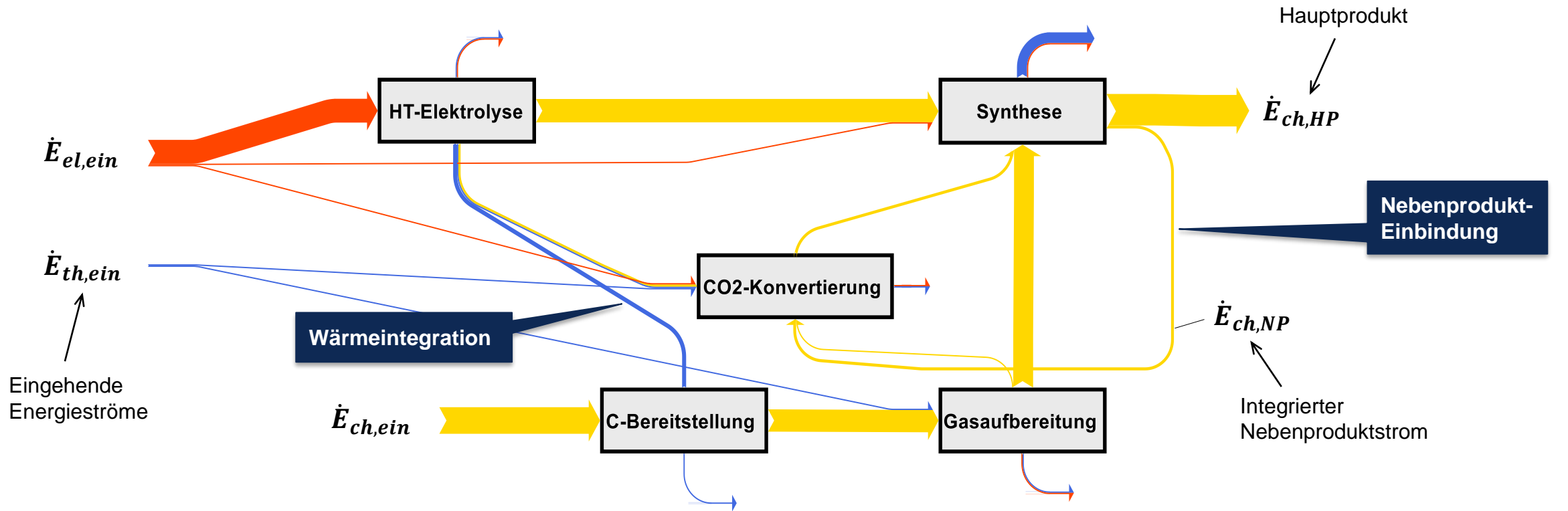
PtX-Studie: Vergleichsgrößen

- Prozesskettenwirkungsgrade
- C-Bedarf und C-Ausnutzung
- Kraftstoffkosten
- Kraftstoffpotenziale
- Well-to-Wheel-Emissionen

Betrachtete Prozessketten



Berechnung der Prozesskettenwirkungsgrade



Maximaler Prozesswirkungsgrad

Integration intern nutzbarer Wärmeströme, Berücksichtigung von Nebenprodukten

$$\eta_{P,max} = \frac{\dot{E}_{ch,HP}}{\dot{E}_{ch,ein} + \dot{E}_{el,ein} + \dot{E}_{th,ein}}$$

Durch Einbindung interner Überschusswärme und Nebenprodukte erhöht sich der Prozesskettenwirkungsgrad

- █ Chemische Energie
- █ Thermische Energie
- █ Elektrische Energie/Arbeit

Indizes:

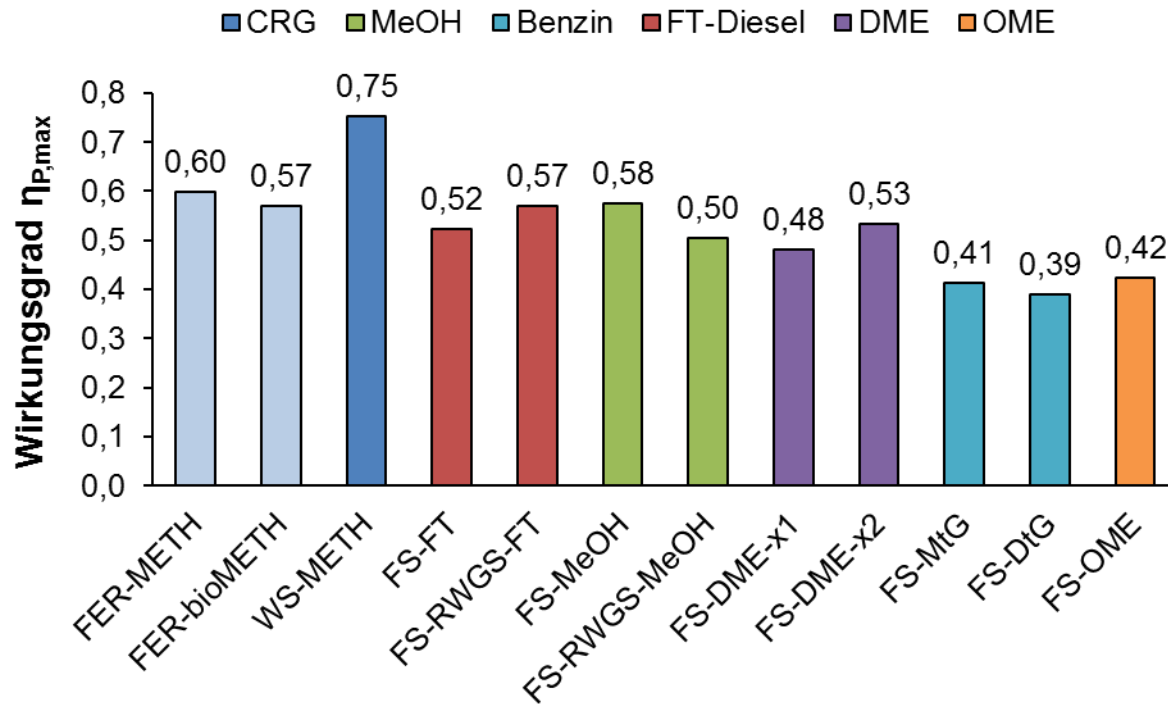
- el: Elektrische Energie
- ch: chemische Energie
- th: thermische Energie

Übersicht: Prozessketten-Abkürzungen

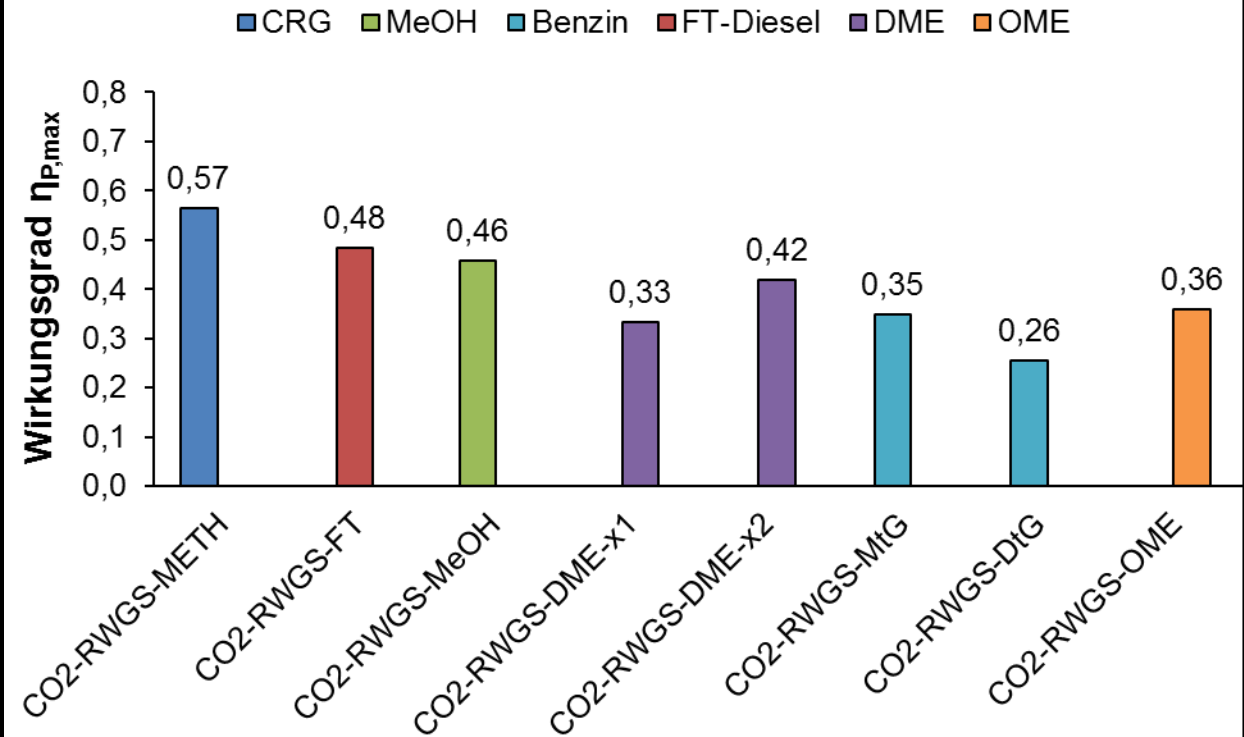
• CO ₂ :	CO ₂ -Abtrennung aus Luft	} C-Bereitstellung
• FER:	Fermentation	
• FS:	Flugstromvergasung	
• WS:	Wirbelschichtvergasung:	
• RWGS:	Reverse Water Gas Shift	
• METH:	Methanisierung	} Kraftstoffsynthesen
• bioMETH:	biologische Methanisierung	
• MeOH:	Methanol-Synthese	
• FT:	Fischer-Tropsch-Synthese	
• MtG:	Methanol-to-Gasoline	
• DtG:	DME-to-Gasoline	
• DME-x1:	DME-Direktsynthese	
• DME-x2:	DME-Synthese via Methanol	
• OME:	OME-Synthese	

Übersicht: Maximale Prozesskettenwirkungsgrade

Biomasse-Prozessketten



CO₂-Prozessketten



- Bei vergleichbaren Prozessen weist Methanisierung die höchsten Wirkungsgrade auf
- Prozesse mit CO₂-Abtrennung aus der Luft haben kleinere Wirkungsgrade als die Prozesse mit Biomasse

Berechnung der Kraftstoffkosten

Kraftstoff-Produktion

Volllaststunden:	3500 h/a
Abschreibungsdauer:	15 a
Stromkosten:	3 ct/kWh
Zinssatz:	6 %
Wartung und Instandhaltung:	4 % von Invest
Restwert:	0 €
Wirkungsgrad Elektrolyse*:	0,65 (MIN), 0,68 (MAX)
Betrachtete Elektrolyseleistungen:	5 MW, 100 MW, 500 MW

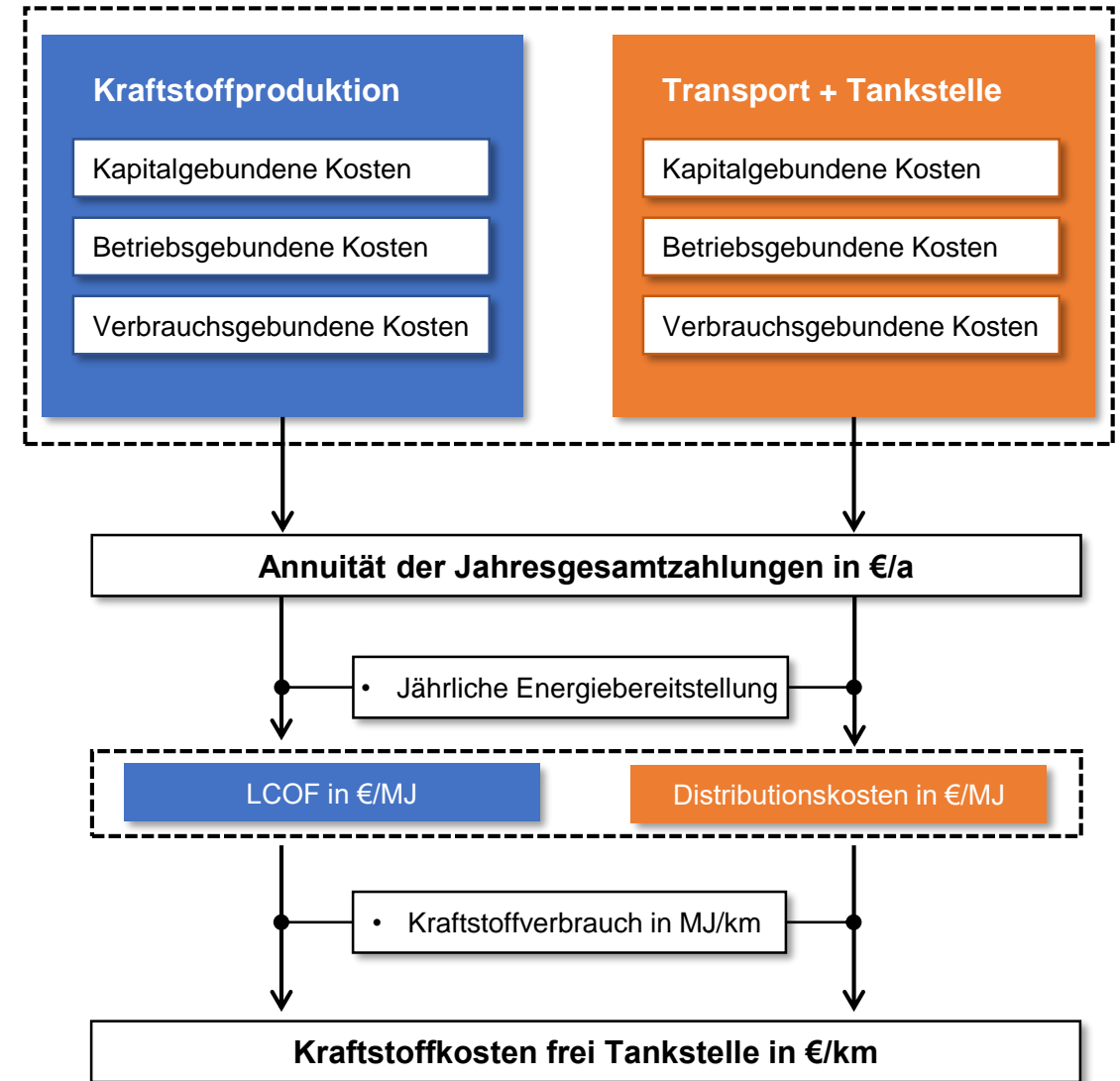
* bezogen auf Heizwert

Infrastruktur (Transport + Tankstelle)

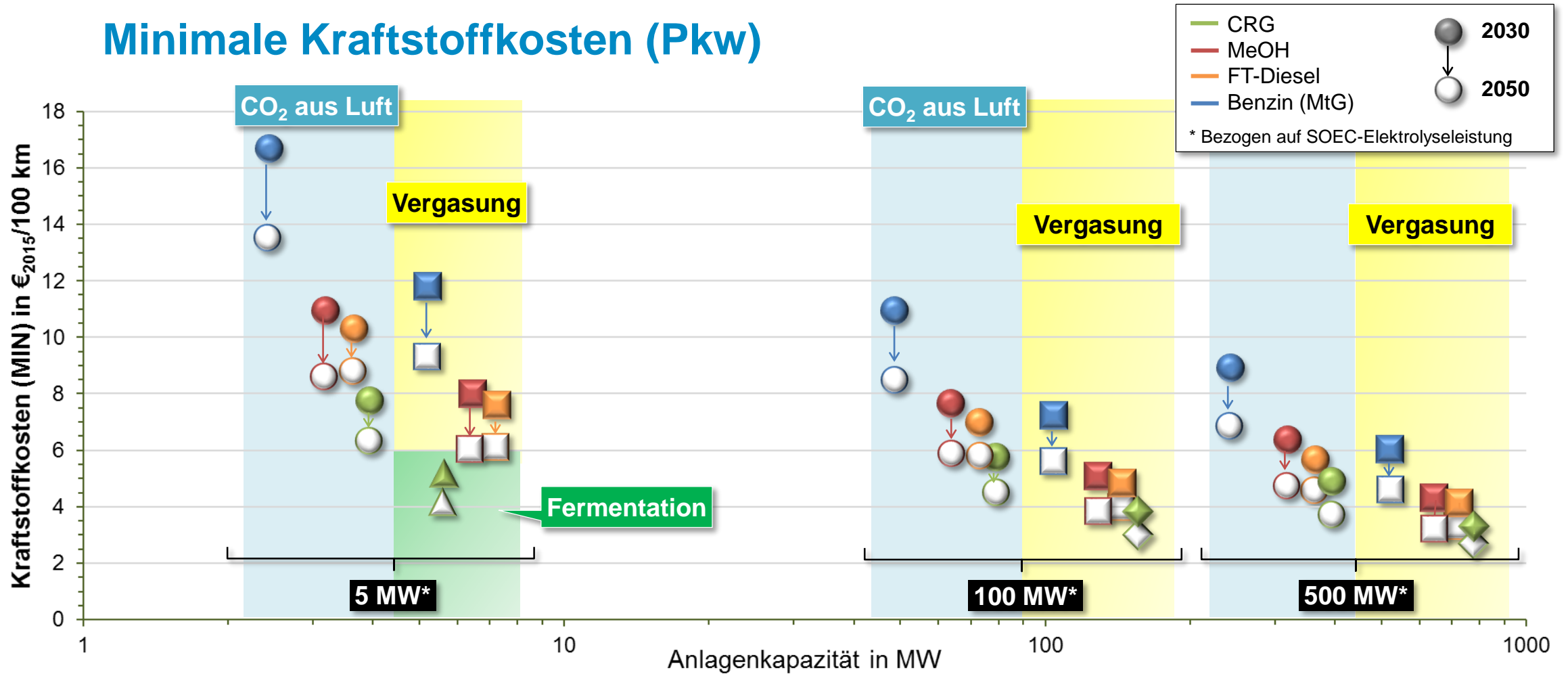
Abschreibungsdauer:	20 a
Transportmittel:	Lkw (500 km)
Stromkosten:	25 ct/kWh
Zinssatz:	6 %
Wartung und Instandhaltung:	3 % von Invest

Kraftstoffverbrauch

	2030	2050
Benzin, Methanol	1,7 MJ/km	1,5 MJ/km
(FT-)Diesel	1,6 MJ/km	1,5 MJ/km
CNG (CRG)	1,7 MJ/km	1,5 MJ/km

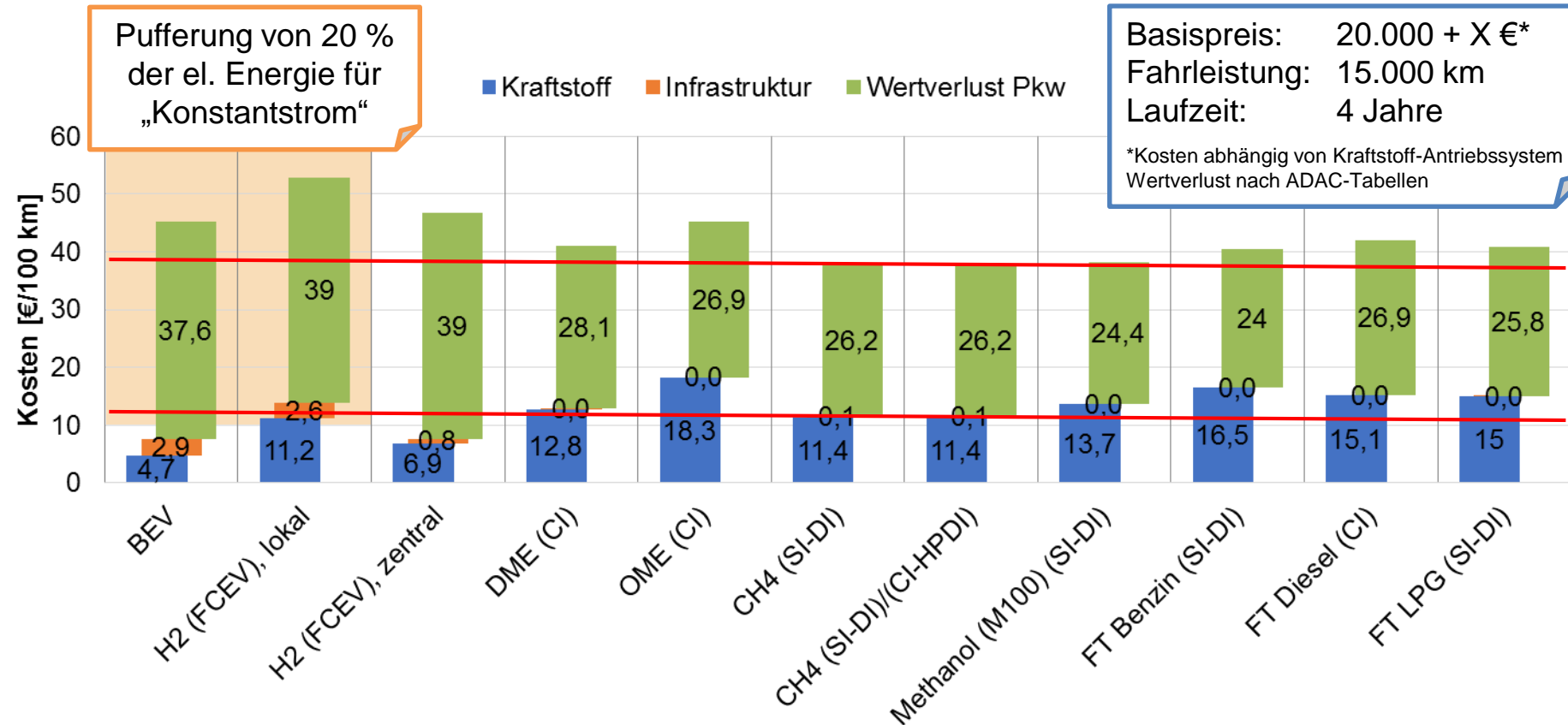


Minimale Kraftstoffkosten (Pkw)



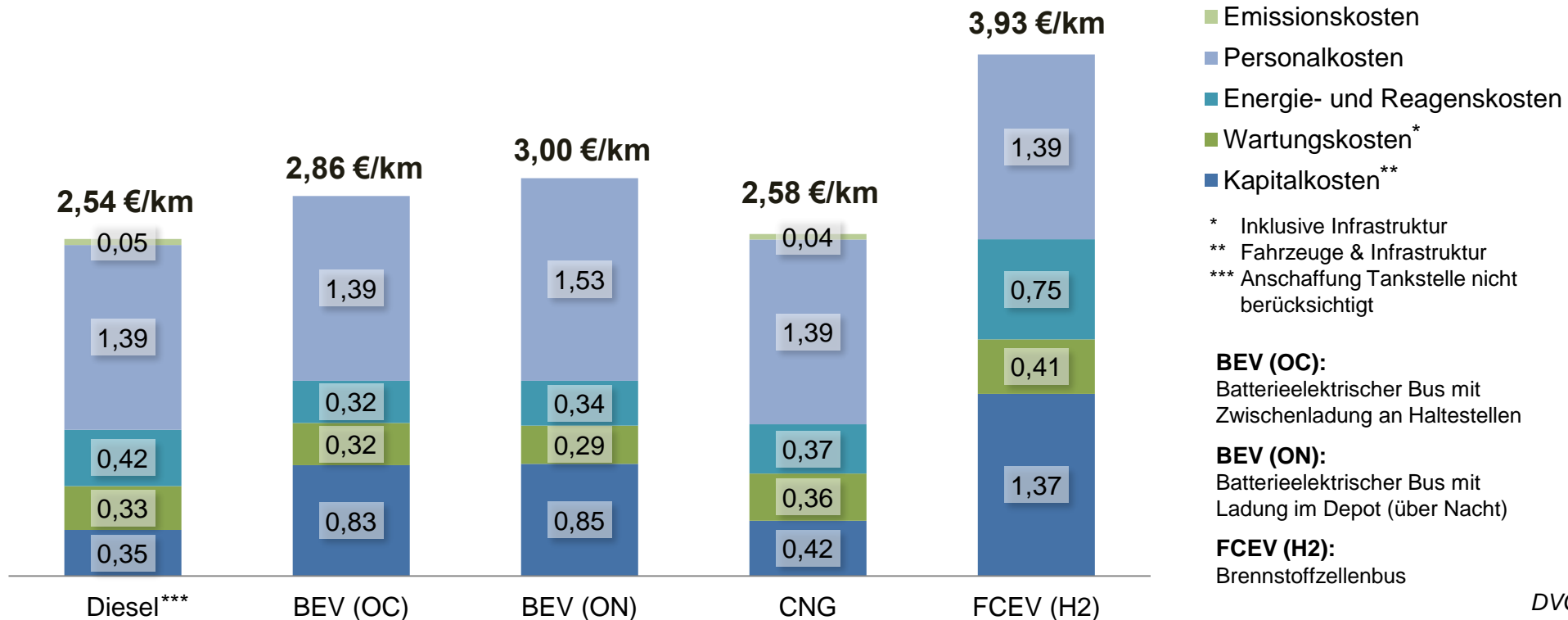
- Pt-CH₄-Pfade bieten für alle Anlagengrößen die geringsten Kraftstoffkosten (ca. 3,3 bis 6 €/100 km)
- PtL-Kraftstoffe aufgrund hoher Anlagenkomplexität generell eher für Großanlagen sinnvoll

Kostensplit Max. Mobilitätskosten (Pkw)



- Methan ist am günstigsten
- Der Wertverlust eines C-Segment Pkw (20.000 €) ist um ein Vielfaches höher als die Kosten für den Energieträger (steuerfrei) und die Infrastrukturumlage

Total Cost of Ownership (Busse)



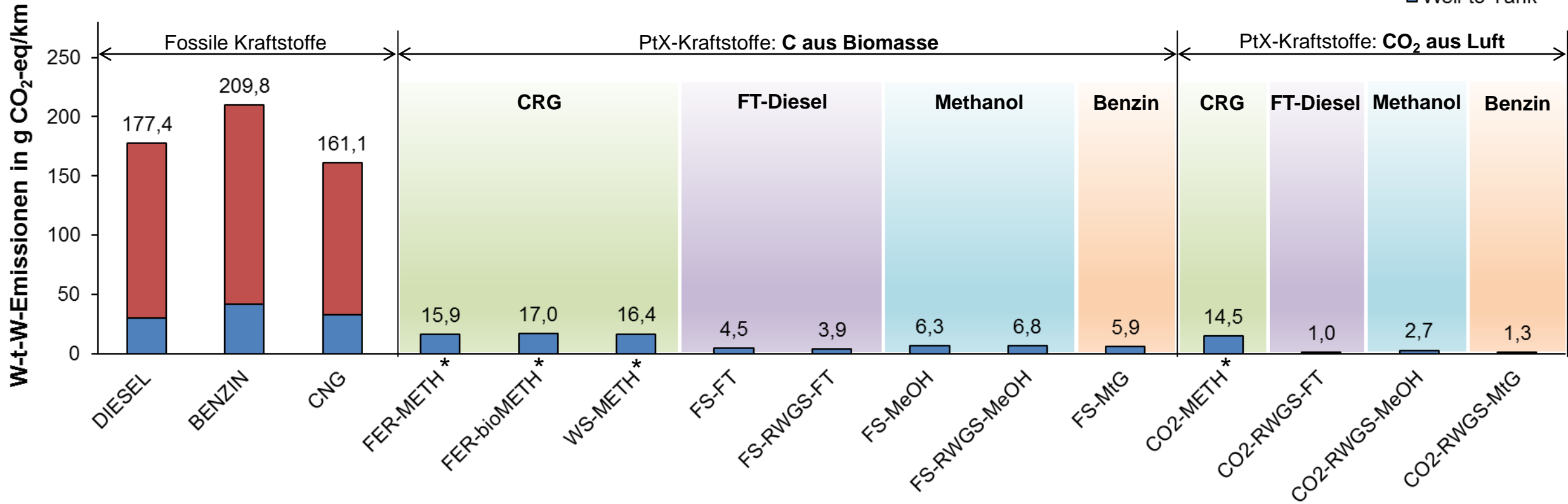
- CNG-Busse zeigen ähnliche TCO wie Euro VI-Dieselmotoren und stellen damit das günstigste alternative Antriebskonzept dar.
- E-Busse und insbesondere Brennstoffzellenbusse sind aufgrund der hohen Anschaffungskosten aktuell nicht konkurrenzfähig.

Bezugsjahr: 2015

* Inkl. Methanschluß

■ Tank-to-Wheel
■ Well-to-Tank

Übersicht: Well-to-Wheel-Emissionen (Pkw)



- PtX-Kraftstoffe ermöglichen bei bestehender Infrastruktur eine Senkung der verkehrsbedingten THG-Emissionen um 90 bis 99%

Fazit

- Um die Klimaschutzziele zu erreichen, ist eine schnelle und drastische Senkung der THG-Emissionen im Mobilitätssektor erforderlich.
- Erdgas- bzw. methanbasierte Fahrzeuge zeigen schon heute ein hohes Potenzial zur Senkung der lokalen Emissionen und der THG-Emissionen des Verkehrssektors.
- Aufgrund der hohen Wirkungsgrade von 60 – 75 % und der geringeren Anlagenkomplexität zeigen Power-to-Methane Prozessketten für alle betrachteten Anlagengrößen die geringsten Kraftstoffkosten. Die Kostendifferenzen zwischen Pt-CH₄ und PtL nehmen jedoch mit zunehmender Anlagengröße ab.
- Die in 2050 erreichbaren Kraftstoffkosten für CRG liegen im Bereich der heutigen Dieselkraftstoffkosten
- Bei Verwendung von erneuerbarer elektrischer Energie, zeigen PtX-Kraftstoffe ein THG-Minderungspotenzial von 90 – 99 %.

 **PtX-Kraftstoffe können eine notwendige und sinnvolle Ergänzung einer E-Mobilitätsstrategie darstellen.**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit Fragen?



Dipl.-Ing. Wolfgang Köppel
Gruppenleiter Systeme und Netze
DVGW-Forschungsstelle
am Engler-Bunte-Institut des KIT
koeppel@dvgw-ebi.de
+49 (0) 721 608-41223
www.dvgw-ebi.de



Dipl.-Ing. Maximilian Heneka
Projektingenieur
DVGW-Forschungsstelle
am Engler-Bunte-Institut des KIT
heneka@dvgw-ebi.de
+49 (0) 721 608-41225
www.dvgw-ebi.de