

# Well-to-Wheel Analyse des Energieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen von fortschrittlichen Kraftstoff/Fahrzeug-Systemen

## Eine europäische Studie

Hart World Fuels Conference – Brüssel, 21. Mai 2002

**Raj Choudhury:**

Manager, Fuel Infrastructure &  
Business Development  
General Motors Fuel Cell Activities



# Was ist eine „Well-to-Wheel“ Analyse?

Eine genaue Untersuchung des gesamten Prozesses der Herstellung und Verwendung von Kraftstoffen zur Kraftübertragung auf die Räder eines Fahrzeugs. Sie resultiert aus einer Abschätzung des erforderlichen Energieverbrauchs und der zugehörigen Treibhausgas-Emissionen.

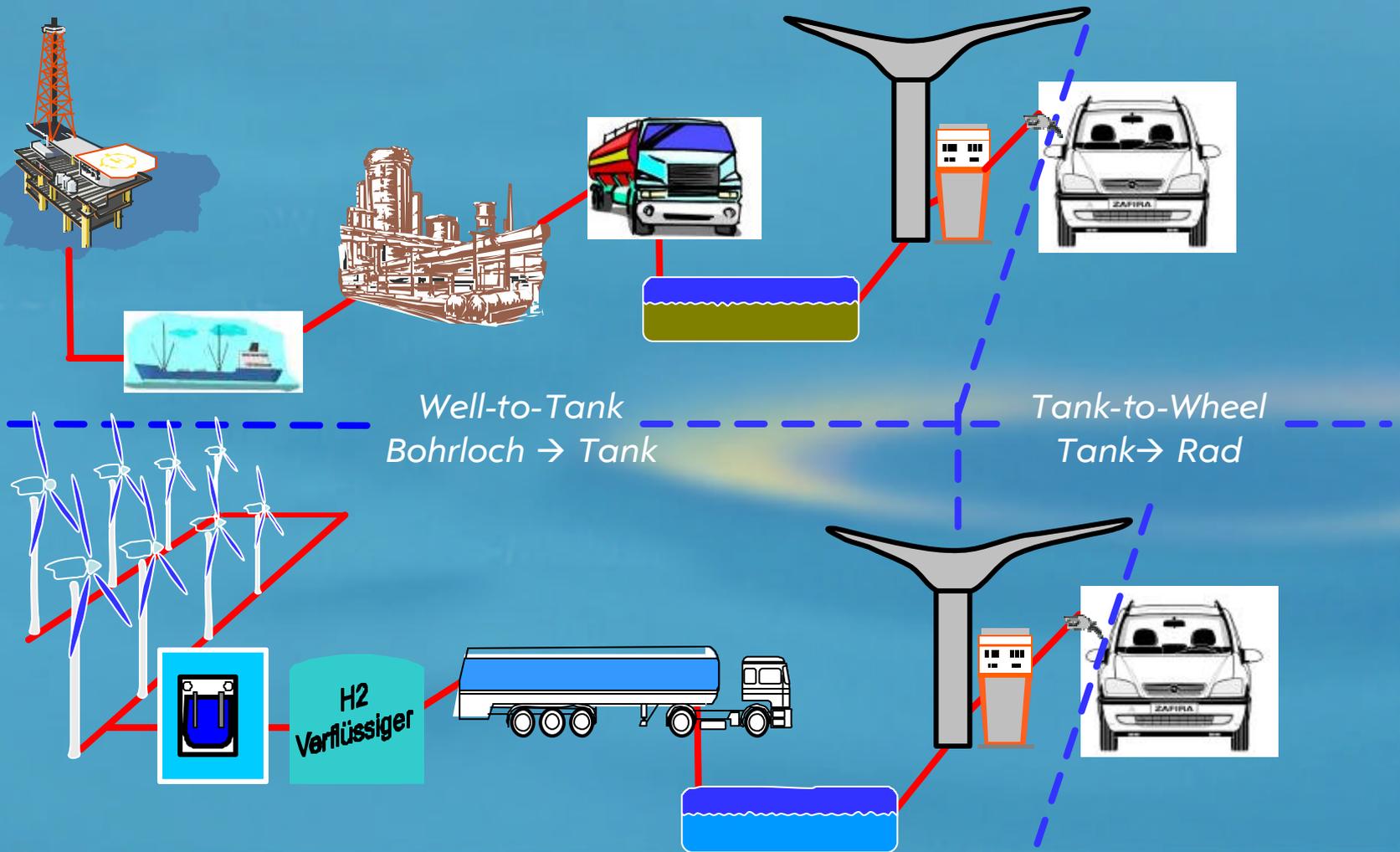
„Well-to-Tank“ (Kraftstoff): Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen über den gesamten Kraftstoffpfad, vom Ausgangsbrennstoff bis zur Zapfsäule.

„Tank-to-Wheel“ (Fahrzeug): Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen bei Nutzung des Fahrzeugs im Fahrzyklus.

„Well-to-Wheel“ bedeutet die Kombination des Kraftstoff- und des Fahrzeugteils.



# Zwei „Well-to-Wheel“ Kraftstoffpfade



# Hintergrund

- Studie in Auftrag gegeben von GM
  - Well-to-Tank Studie (Kraftstoff), geleitet durch L-B-Systemtechnik (LBST) mit Input von bp, ExxonMobil, Shell und TotalFinaElf
  - Tank-to-Wheel Studie (Fahrzeug) durchgeführt von GM



- Berücksichtigt 36 Kraftstoffpfade and 18 konventionelle und fortschrittliche Antriebssysteme; auf 2010 projizierter Zeitrahmen
- Nordamerikanische WTW Studie vorgestellt auf der Hart World Fuels Conference, New Orleans, im März 2001

# Motivation für die europäische Well-to-Wheel Studie

Als Nachfolger der nordamerikanischen Studie

## Treibstoffbezogen

- Unterschiedliche Rohöl/Raffinerie-Szenarien
- Unterschiedliche Erdgasversorgungswege
- Unterschiedlicher Mix des Elektrizitätsnetzes
- Zusätzliche Pfade auf Basis erneuerbarer Energien

## Fahrzeugbezogen

- Unterschiedliches Fahrzeug und anderer Fahrzyklus
- Unterschiedliche Kundenerwartungen an Leistungsfähigkeit
- ACEA-Verpflichtung, CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2008 zu reduzieren



# Analysierte Well-to-Tank Pfade\*

Rohstoff



Kraftstoff

Erdölbasiert (3)

Benzin, Diesel, Naphtha

Erdgasbasiert (16)

Komprimiertes Erdgas (CNG),  
Methanol, Fischer-Tropsch Diesel und  
Naphtha (GTL), komprimierter  
Wasserstoff, flüssiger Wasserstoff

Elektrizität (6)

Elektrizität, komprimierter  
Wasserstoff, flüssiger Wasserstoff

Biomassebasiert (11)

Komprimierter Wasserstoff, Methanol,  
Ethanol, flüssige Kohlenwasserstoffe,  
Bio-Ester, ETBE, MTBE

Gesamtzahl der untersuchten Pfade: 36 [+ 58 Varianten]

\*Produktionspotenzial für einige Pfade  
kann bis 2010 beschränkt sein



# Europäische Tank-to-Wheel Analyse

## Fahrzeugpfade

- Basisfahrzeug: Opel Zafira
- Fahrzyklus: Europäischer Fahrzyklus (EDC)
- Alle Fahrzeugkonzepte so modelliert, dass sie den Leistungsanforderungen der europäischen Kunden entsprechen
- Technologien zielen auf den Zeitraum 2010
  - Fortschrittliche Verbrennungsmotor- und Getriebe-Technologien
  - Fortschrittliche Fahrzeug-Technologien
  - Hybridsystem-Technologien
  - Kraftstoffreformer und Brennstoffzellen-Systeme in hybrider und nicht-hybrider Bauweise



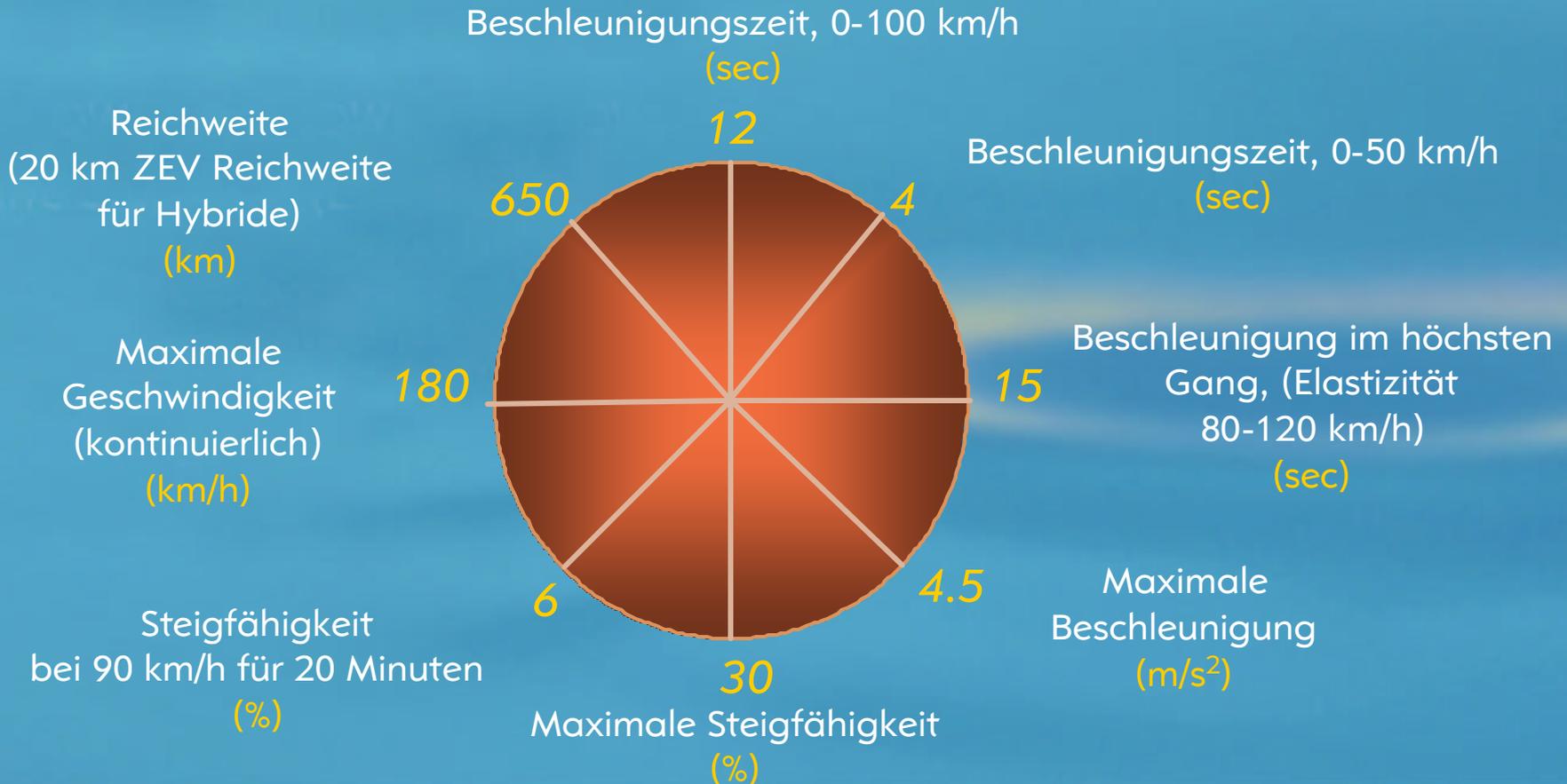
# Analysierte Fahrzeug-Antriebssysteme

	Verbrennungs- motor	Verbrennungs- motor-Hybrid	Brennstoff- zelle	Brennstoff- zellen-Hybrid
Benzin	X (+Fortschrittlicher Antriebsstrang)	X	X	X
Diesel	X	X		
F-T Diesel	X	X		
CNG	X (optimierter Mono-Fuel)	X		
Methanol			X	X
Ethanol (E100)			X	X
Wasserstoff	X	X	X	X



# Konsequente „Real World“ Leistungsanforderungen an das Fahrzeug

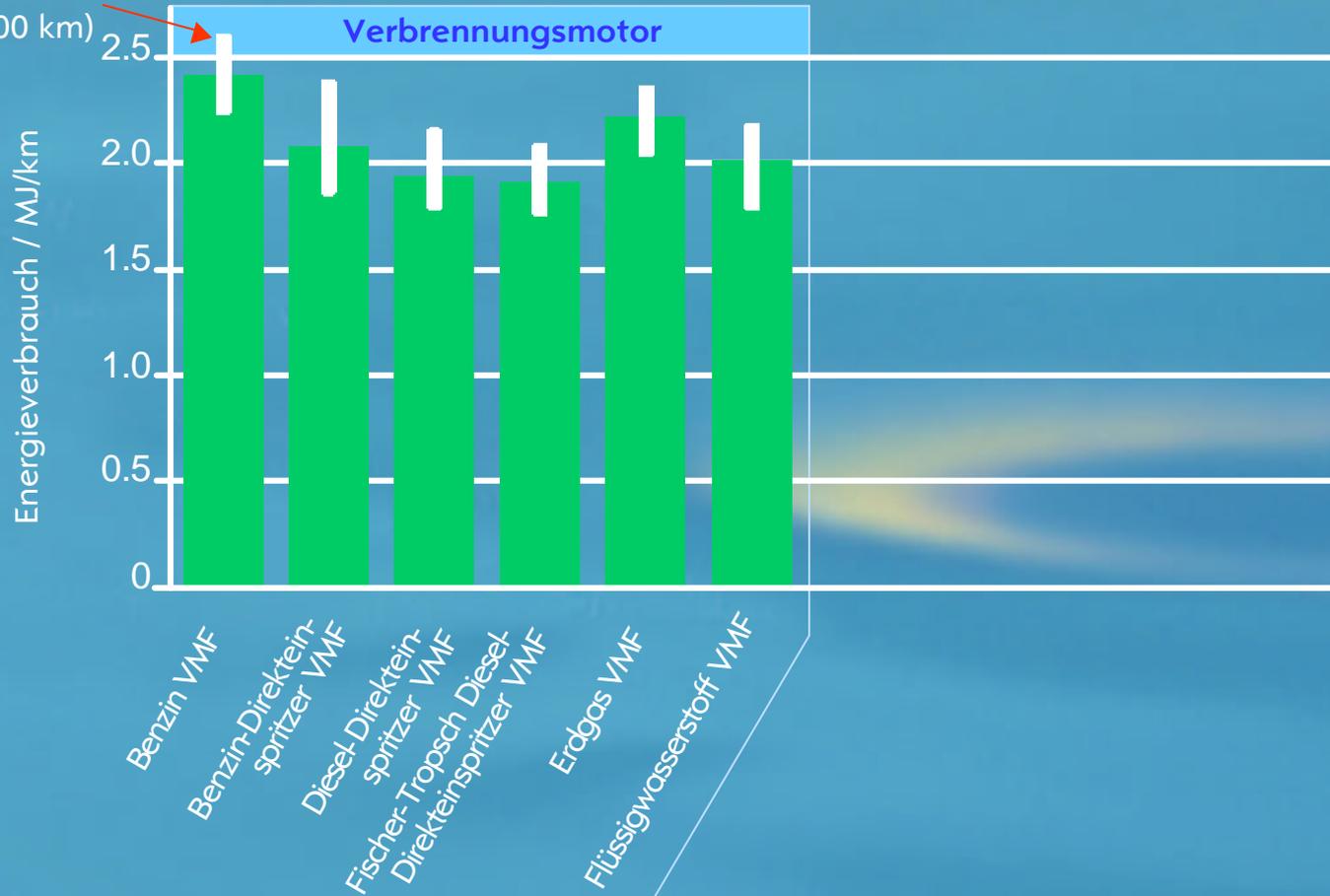
## Europäische Minivan-Klasse



# Tank-to-Wheel Energieverbrauch

## Nicht-Hybrid-Antriebe

2002 Basislinie  
(8.15 l/100 km)



VMF: Verbrennungsmotor-Fahrzeug

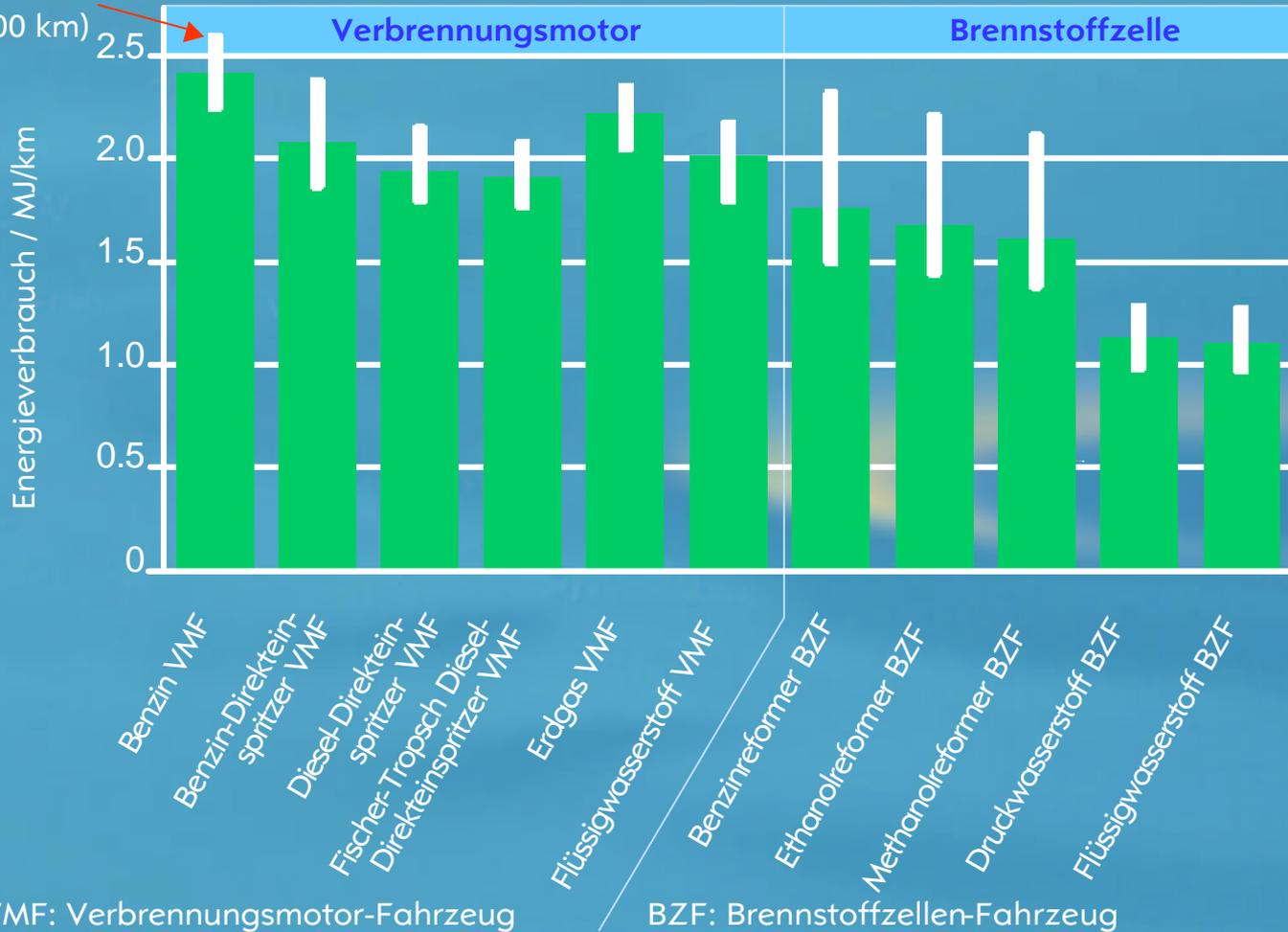
BZF: Brennstoffzellen-Fahrzeug



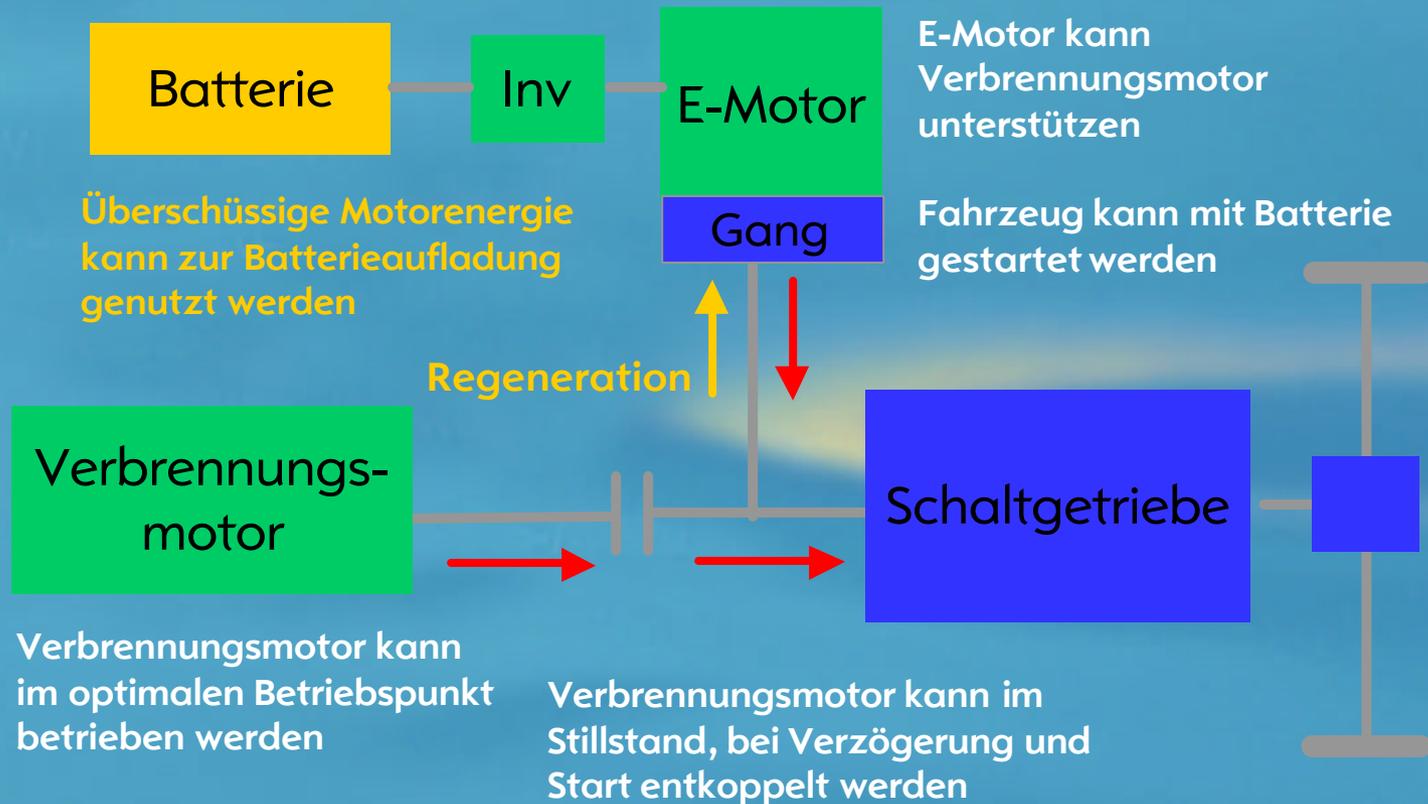
# Tank-to-Wheel Energieverbrauch

## Nicht-Hybrid-Antriebe

2002 Basislinie  
(8.15 l/100 km)



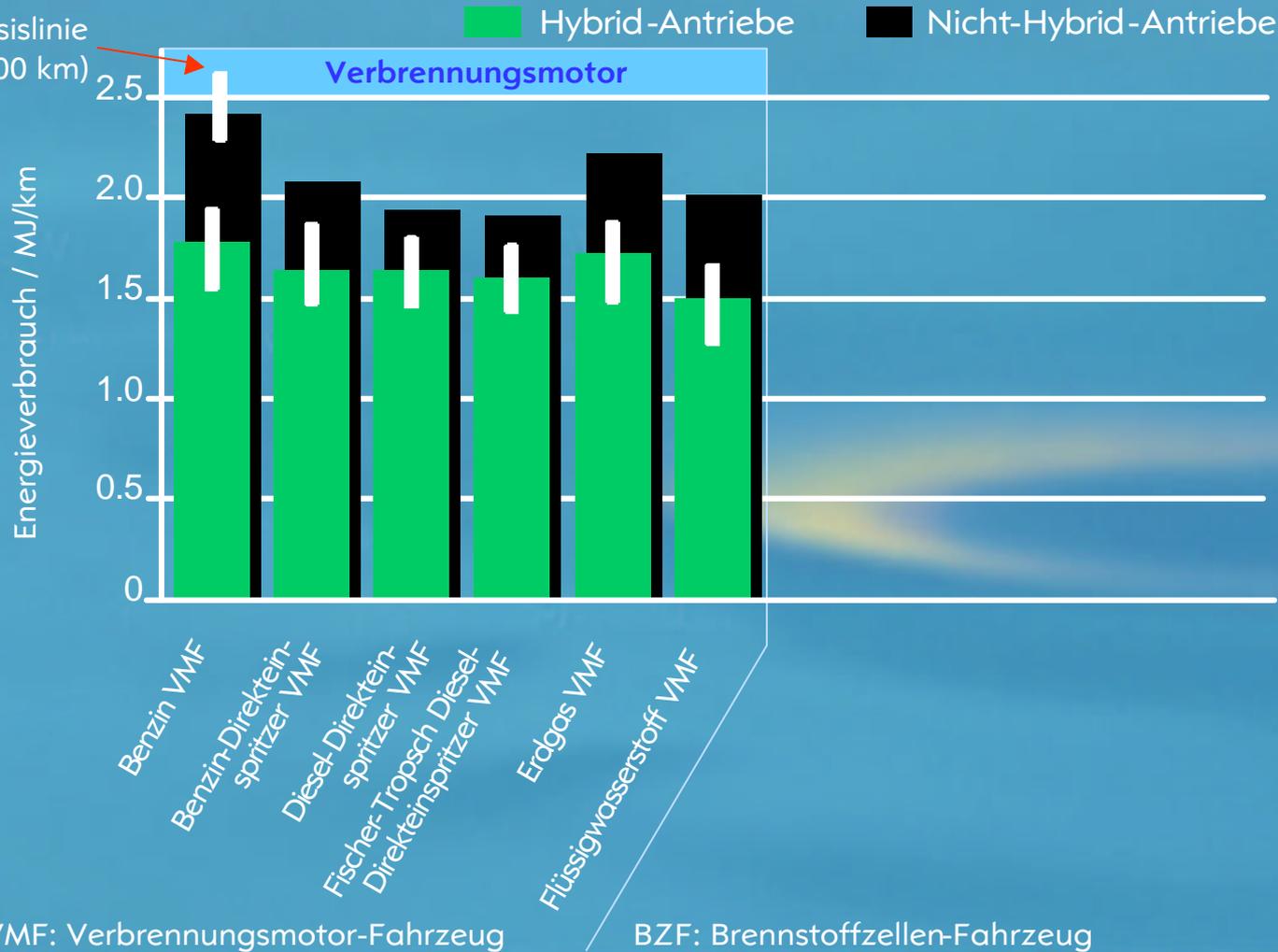
# Antriebsarchitektur Parallelhybrid



# Tank-to-Wheel Energieverbrauch

## Hybrid-Antriebe

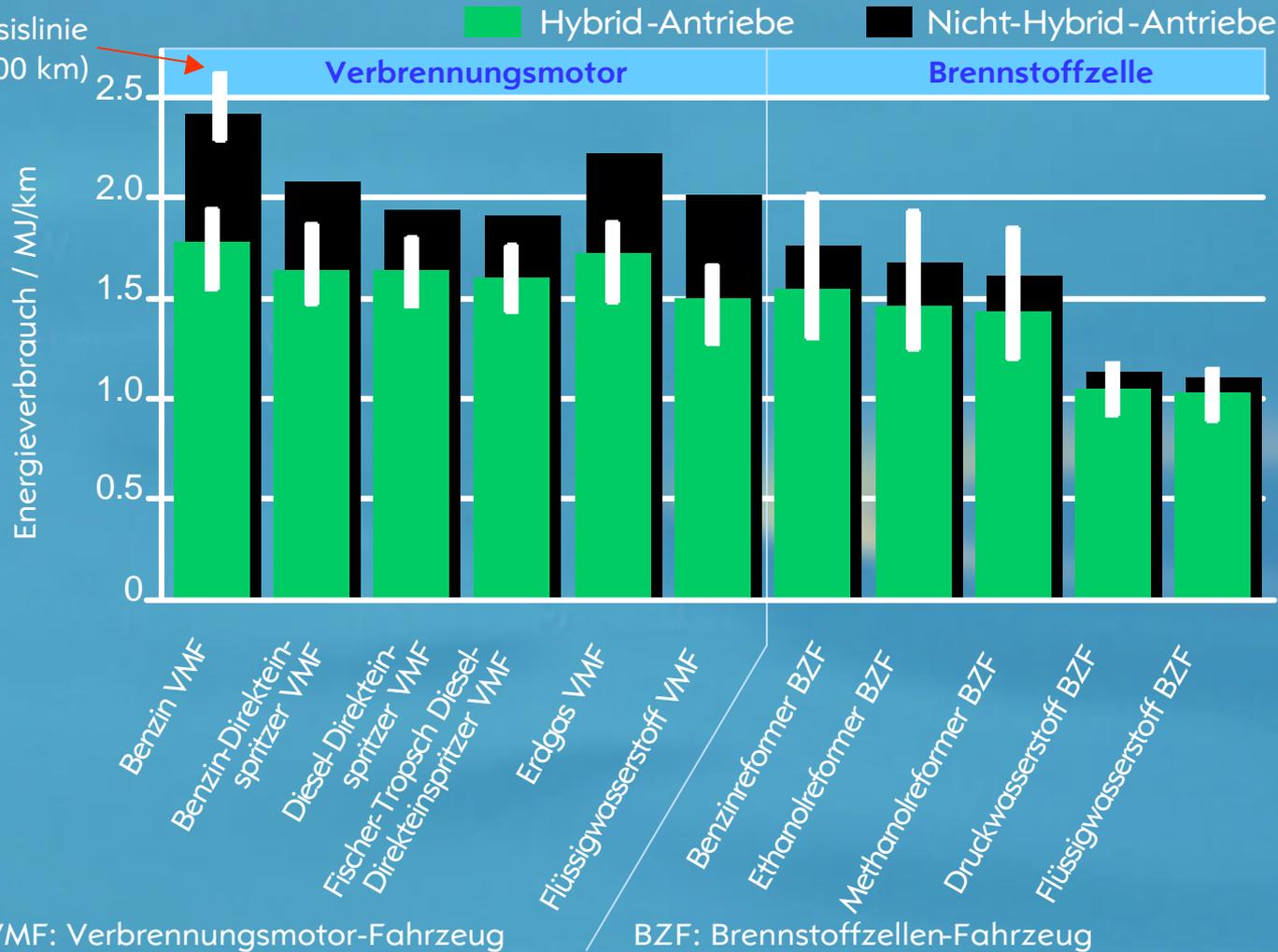
2002 Basislinie  
(8.15 l/100 km)



# Tank-to-Wheel Energieverbrauch

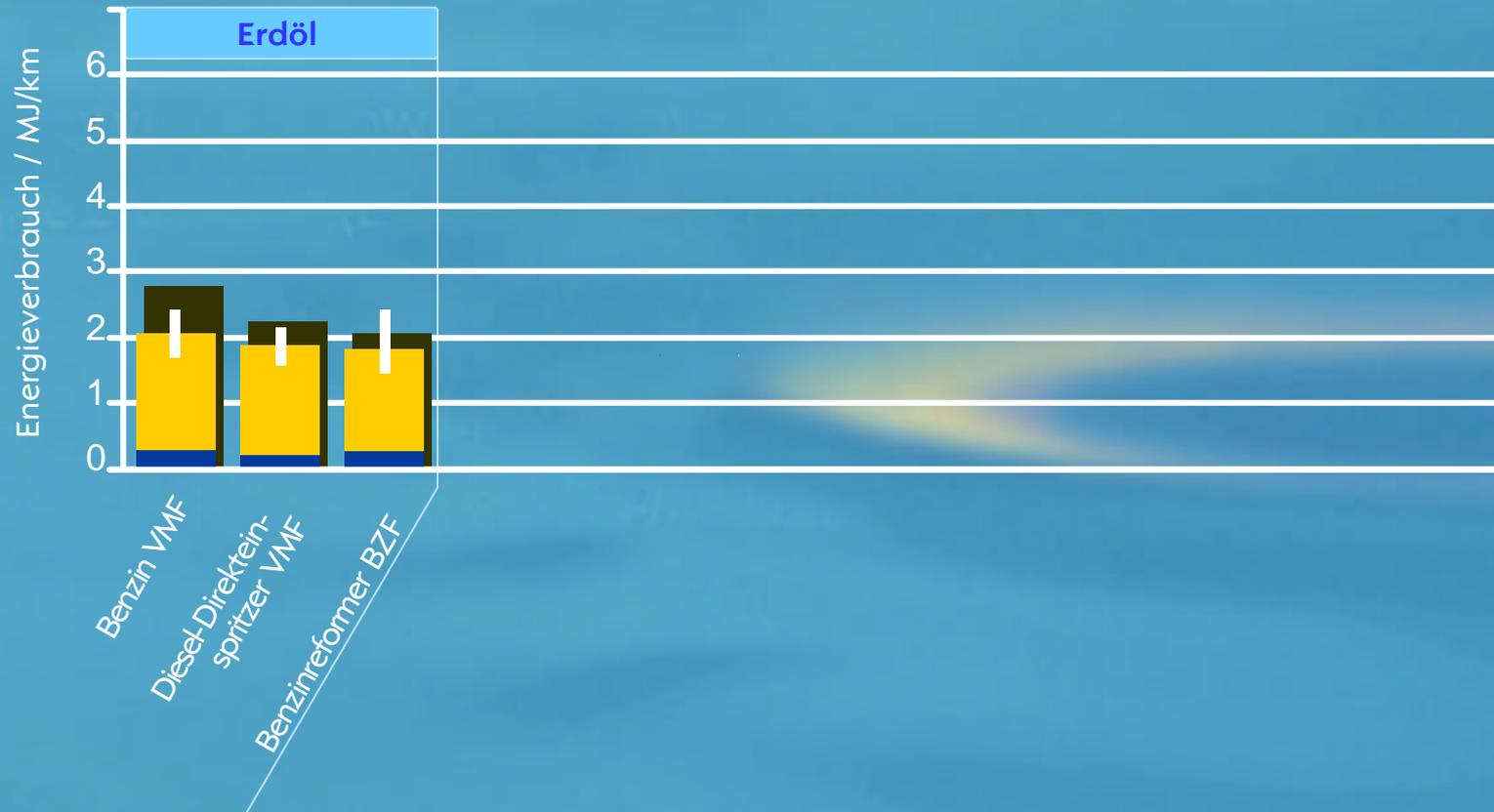
## Hybrid-Antriebe

2002 Basislinie  
(8.15 l/100 km)



# Well-to-Wheel Energieverbrauch

Well-to-Tank Tank-to-Wheel Hybrid-Antriebe Nicht-Hybrid-Antriebe



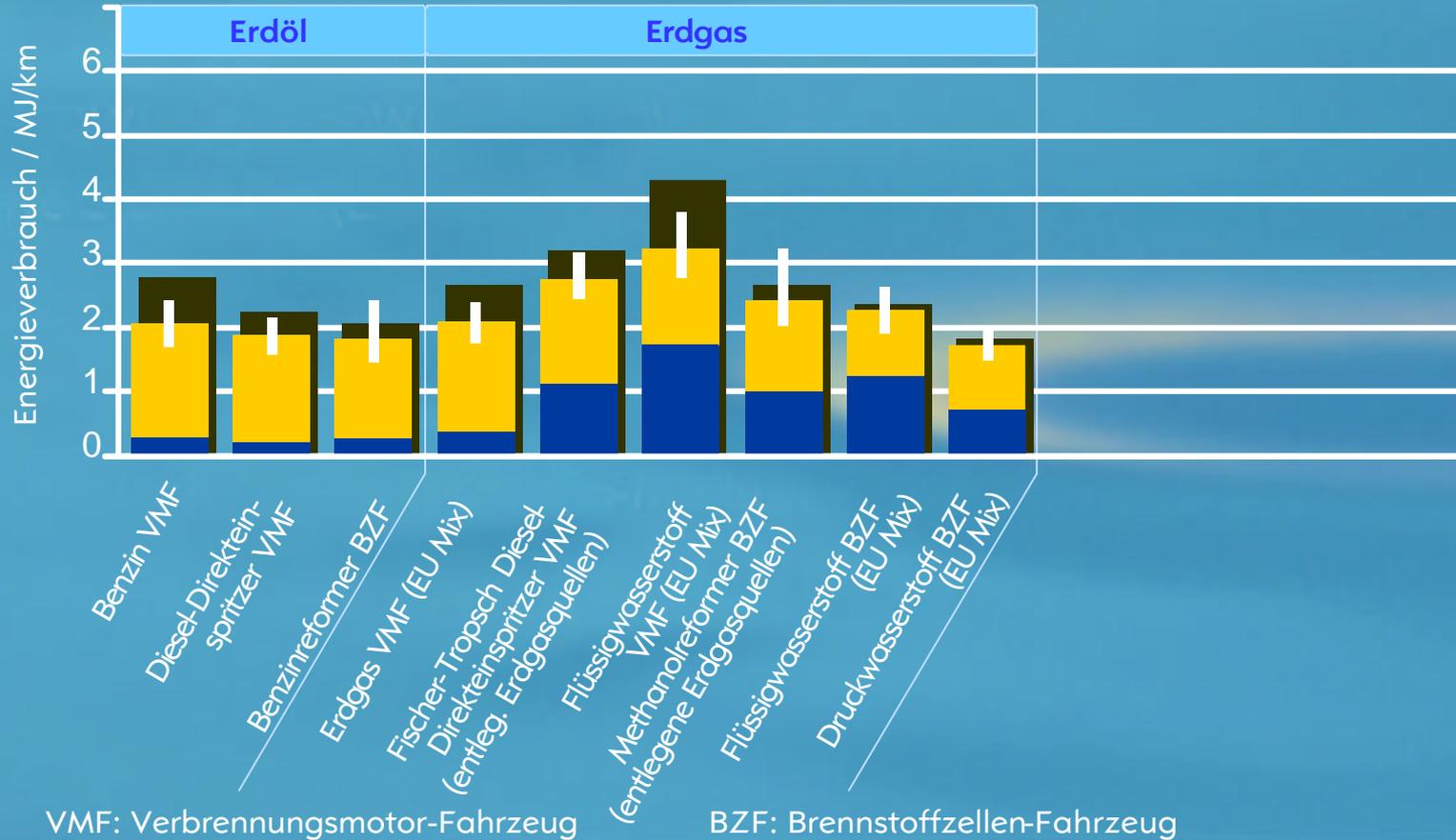
VMF: Verbrennungsmotor-Fahrzeug

BZF: Brennstoffzellen-Fahrzeug



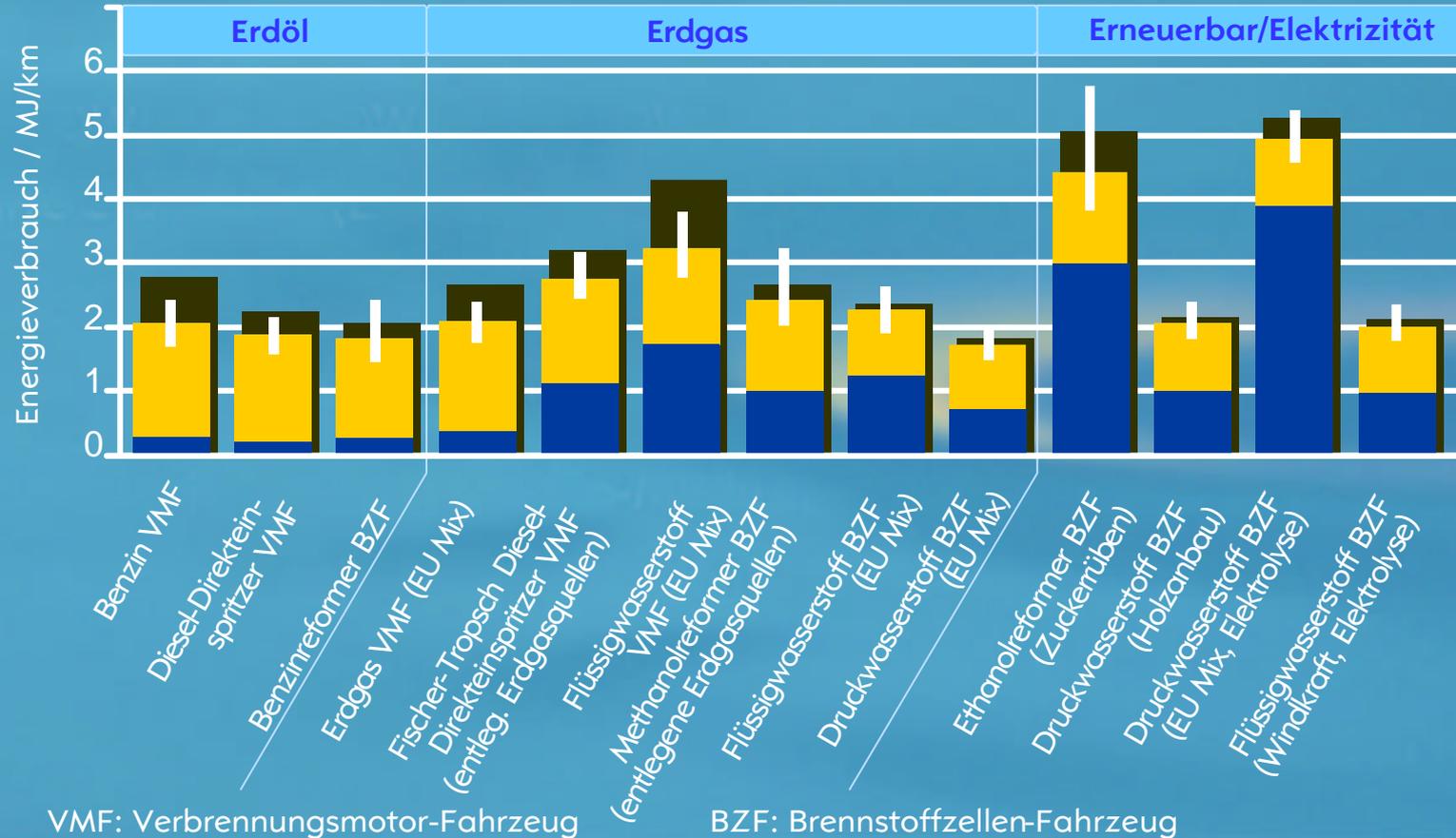
# Well-to-Wheel Energieverbrauch

Well-to-Tank Tank-to-Wheel Hybrid-Antriebe Nicht-Hybrid-Antriebe

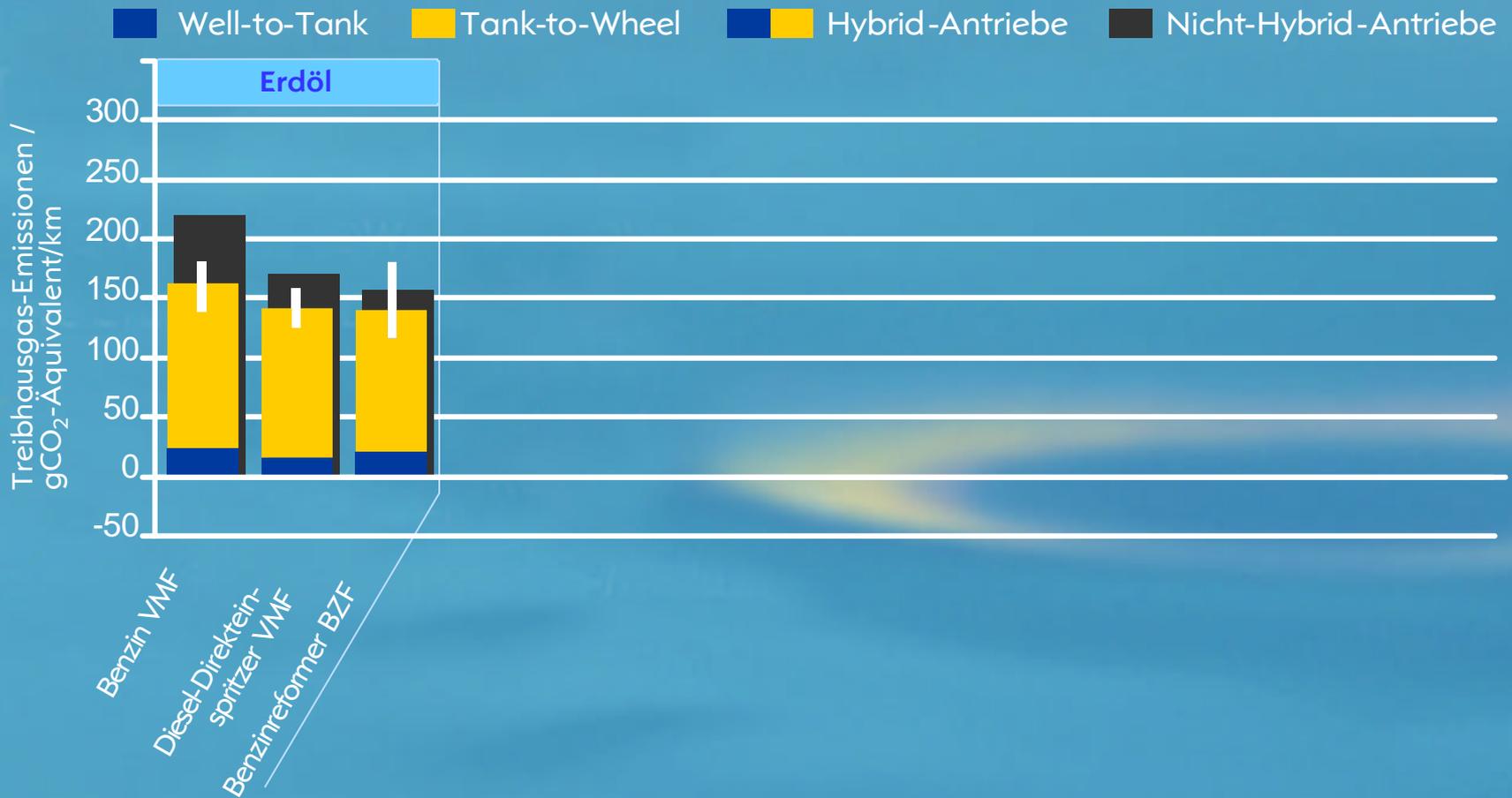


# Well-to-Wheel Energieverbrauch

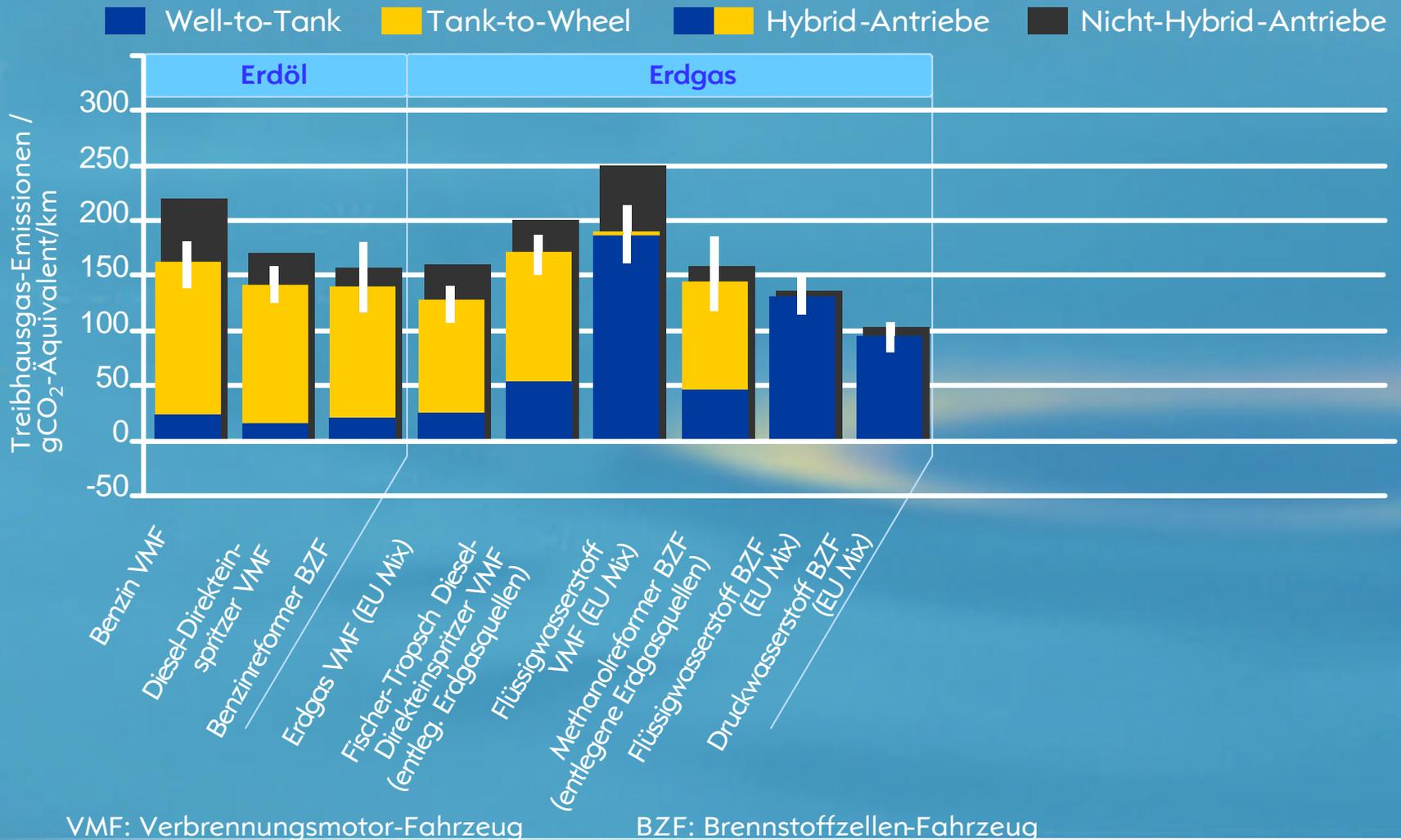
Well-to-Tank Tank-to-Wheel Hybrid-Antriebe Nicht-Hybrid-Antriebe



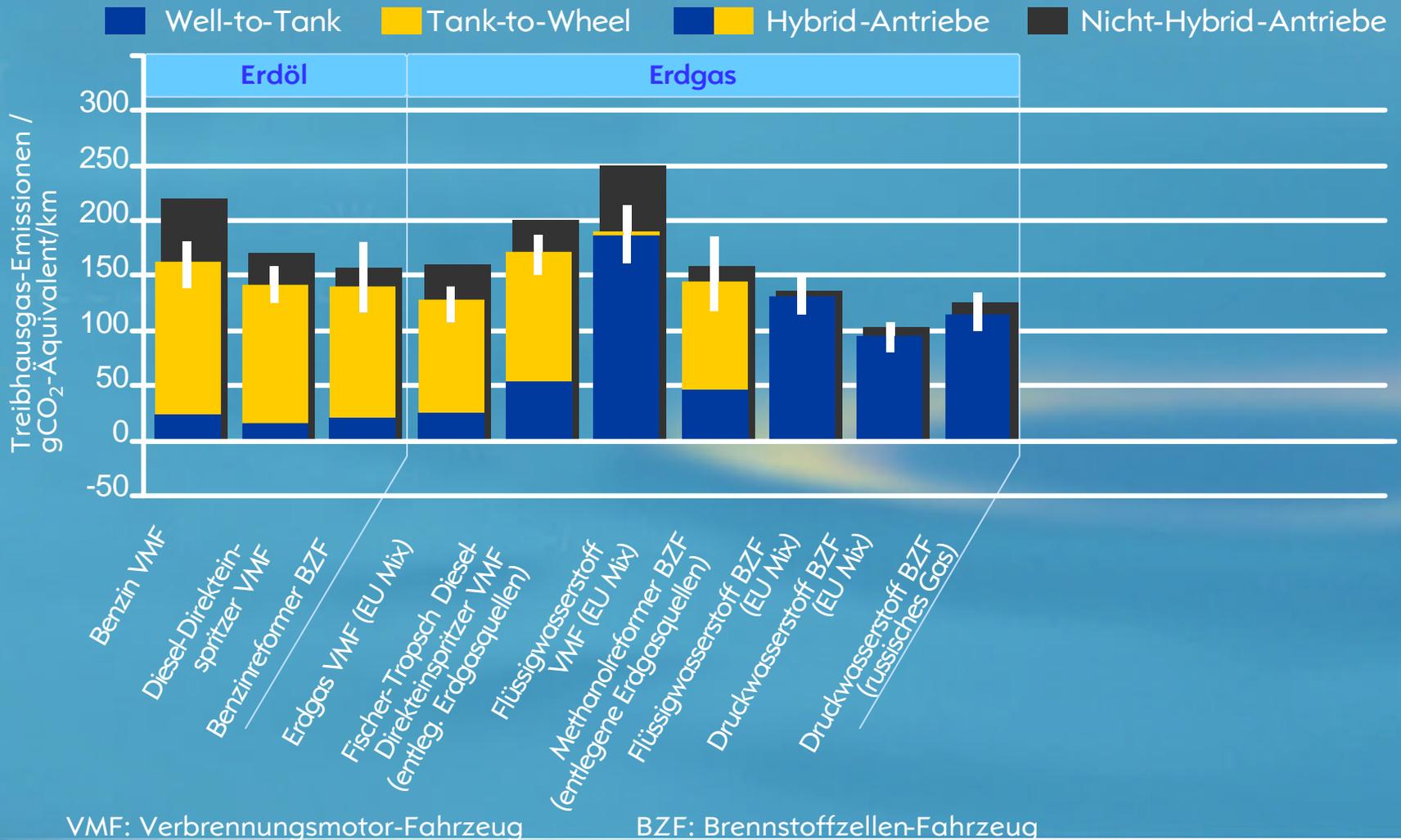
# Well-to-Wheel Treibhausgas-Emissionen



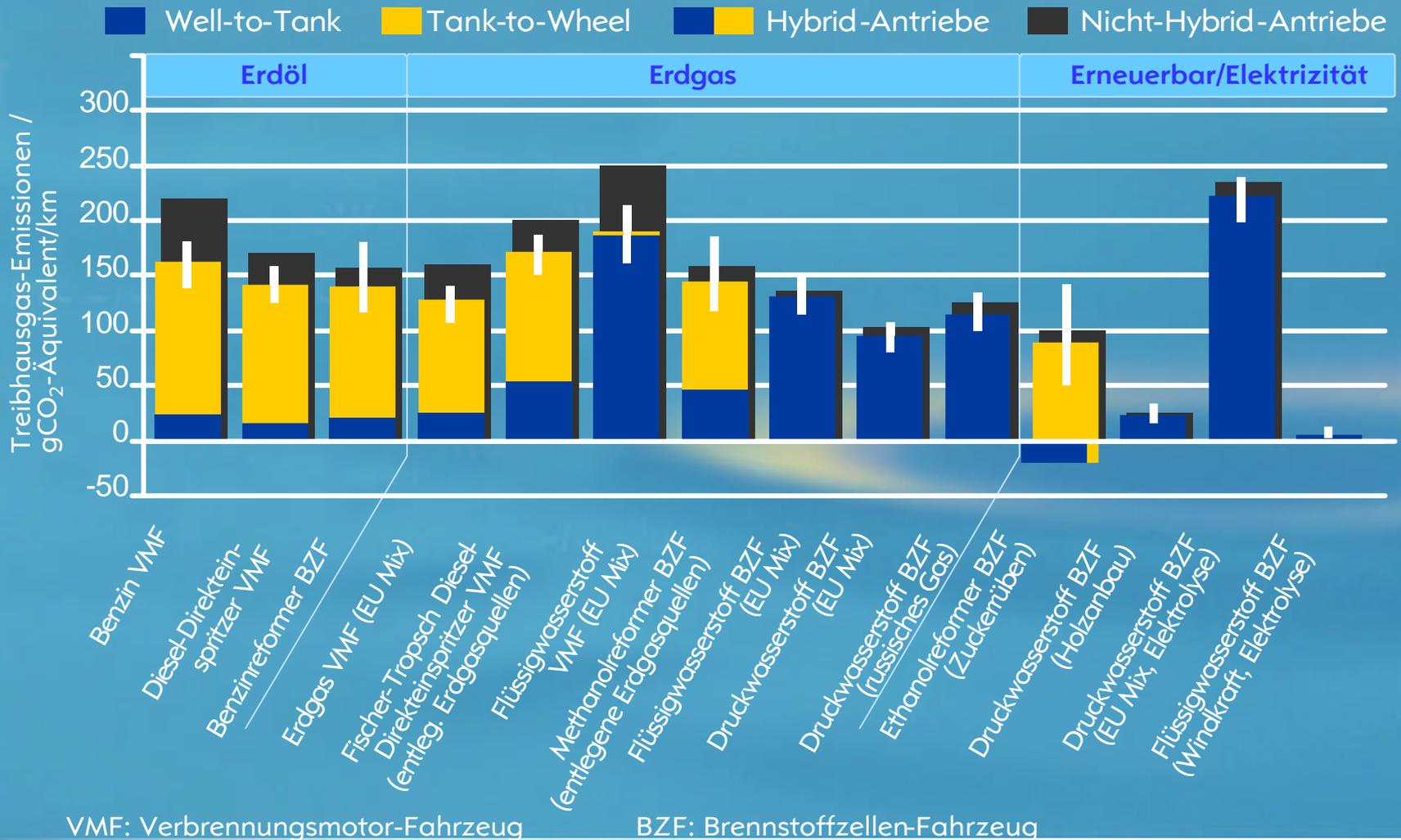
# Well-to-Wheel Treibhausgas-Emissionen



# Well-to-Wheel Treibhausgas-Emissionen



# Well-to-Wheel Treibhausgas-Emissionen



# Well-to-Wheel Zusammenfassung (1/2)

- Ergebnisse der aktuellen Studie sind überwiegend übereinstimmend mit denen der GM-Argonne North American WTW Studie hinsichtlich der relativen Rangfolge der Kraftstoff-Antriebs-Kombinationen. Absolute WTW Werte sind niedriger, vorwiegend wegen der geringeren Masse des Referenzfahrzeugs in der europäischen Studie.
- Hybridisierung verringert den Kraftstoffverbrauch in allen Antriebssystemen. Der Nutzen ist für Verbrennungsmotoren höher als für Fahrzeuge mit Brennstoffzellen-Antrieb aufgrund der höheren Teillast-Effizienz von Brennstoffzellen-Fahrzeugen.
- Fahrzeuge, die mit Wasserstoff-Brennstoffzellen betrieben werden, bei denen der Wasserstoff aus reformiertem Erdgas stammt, weisen reduzierte Treibhausgas-Emissionen verglichen mit Benzin- und Diesel-Verbrennungsmotor-Fahrzeugen auf.
- Die Quelle von Erdgasvorkommen hat große Auswirkungen auf Treibhausgas-Emissionen für erdgasbasierte Pfade.
- Brennstoffzellen-Fahrzeuge haben das Potenzial, WTW Treibhausgas-Emissionen stark zu reduzieren oder zu vollkommen zu eliminieren, falls der Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen gewonnen wird.



# Well-to-Wheel Zusammenfassung (2/2)

- Mit Methanol betriebene Brennstoffzellen-Fahrzeuge bieten keinen Vorteil gegenüber Benzin- oder Diesel-Verbrennungsmotor-Fahrzeugen oder Brennstoffzellen-Fahrzeugen mit Benzinreformer.
- Elektrolyse-basierter Wasserstoff verursacht hohe Treibhausgas-Emissionen, sofern die Elektrizität aus dem herkömmlichen Kraftwerksmix gewonnen wird, und praktisch keine Emissionen, wenn die Elektrizität aus erneuerbaren Quellen stammt.
- Optimierte CNG-Fahrzeuge führen zu geringeren Treibhausgas-Emissionen verglichen mit Benzin-Verbrennungsmotor-Fahrzeugen. Sie bieten jedoch keinen Nutzen hinsichtlich des Well-to-Wheel Energieverbrauchs.
- Biokraftstoffe bieten reduzierte Treibhausgas-Emissionen. Das Ausmaß der Verbesserung hängt jedoch von den  $N_2O$ -Emissionen beim Anbau der Biomasse ab.
- Fischer-Tropsch Diesel-Verbrennungsmotor-Fahrzeuge erzeugen einen höheren Energieverbrauch und höhere Treibhausgas-Emissionen als erdölbasierte Diesel-Verbrennungsmotor-Fahrzeuge.
- Mit flüssigem Wasserstoff aus Erdgas betriebene Verbrennungsmotor-Fahrzeuge erzeugen keine  $CO_2$ -Emissionen im Fahrzeug, jedoch höhere WTW Treibhausgas-Emissionen als herkömmliche Benzin- oder Diesel-Verbrennungsmotor-Fahrzeuge.



# Nächste Schritte

- Abschluss und Veröffentlichung der europäischen Well-to-Wheel Studie in diesem Sommer
  - Studie wird unter <http://www.lbst.de/gm-wtw> verfügbar sein
- Teilnahme an der „Joint European Well-to-Wheel Study“ (unter Schirmherrschaft von EUCAR und CONCAWE).
- Zusammenarbeit mit ähnlichen Ansätzen
  - Prof. Ishitani, Tokyo University
  - Prof. Heywood, MIT



# Danksagungen

## Arbeitsgruppe der europäischen Well-to-Wheel Studie:

Andrew Armstrong, bp

Norman Brinkman, GM

Jean Cadu, Shell

Raj Choudhury, GM

David Masten, GM

Olivier Dautrebande, TotalFinaElf

Martin Fasse, GM

Volker Formanski, GM

Dieter Hasenauer, GM

Daniel Le Breton, TotalFinaElf

Moshe Miller, Advanced Development Corp.

Stephan Noodt, Fiat-GM Powertrain

Joachim Quarg, Fiat-GM Powertrain

David Rickeard, Exxon Mobil

Jörg Schindler, LBST

Christoph Schmidt, GM

Trudy Weber, GM

Hans Weidner, GM

Werner Weindorf, LBST

Reinhold Wurster, LBST

