



GM Well-to-Wheel-Studie - Ergebnisse und Schlüsse

sowie Vergleich mit anderen Arbeiten und
Ausblick auf Kraftstoffpotentiale und -kosten
(verfügbar unter www.HyWeb.de)

Reinhold Wurster



L-B- Systemtechnik GmbH
Ottobrunn
06 November 2003



Die Studie wurde beauftragt von GM

- Well-to-Tank (Kraftstoff) wurde durchgeführt von der L-B-Systemtechnik (LBST) unter Einbindung von Beiträgen durch BP, ExxonMobil, Shell und TOTAL
- Tank-to-Wheel (Fahrzeug) wurde von GM durchgeführt



Berücksichtigt wurden 14 Kraftstoffe (88 Kraftstoff “-Pfade”) und 22 konventionelle und fortgeschrittene Antriebssysteme vorgesehen für den Zeitraum 2010

GM Well-to-Wheel Studie - Untersuchte Well-to-Tank Pfade



Ausgangsenergie  Kraftstoff

Erdöl-basiert (3)

Benzin, Diesel, Naphtha

Erdgas-basiert (10)

CNG, Methanol, Fischer-Tropsch
Diesel und Naphtha (GTL),
Druckwasserstoff, Flüssigwasserstoff

Strom (7)

Strom, Druckwasserstoff,
Flüssigwasserstoff

Biomasse-basiert (12)

Druckwasserstoff, Methanol, Ethanol,
flüssige Kohlenwasserstoffe, CMG,
Bio-ester, ETBE, MTBE

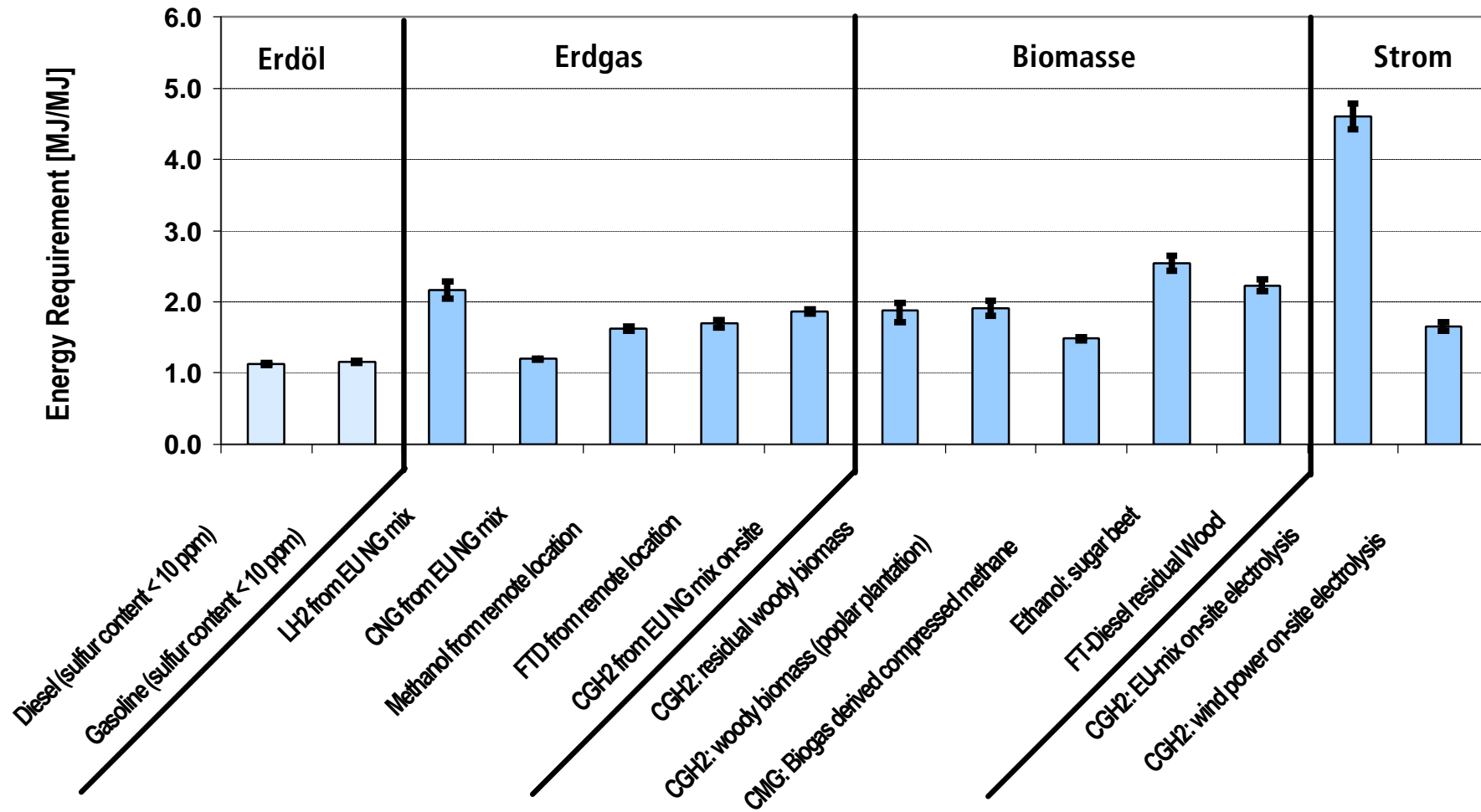
Insgesamt untersuchte Pfade: 32 [+ 56 Varianten]



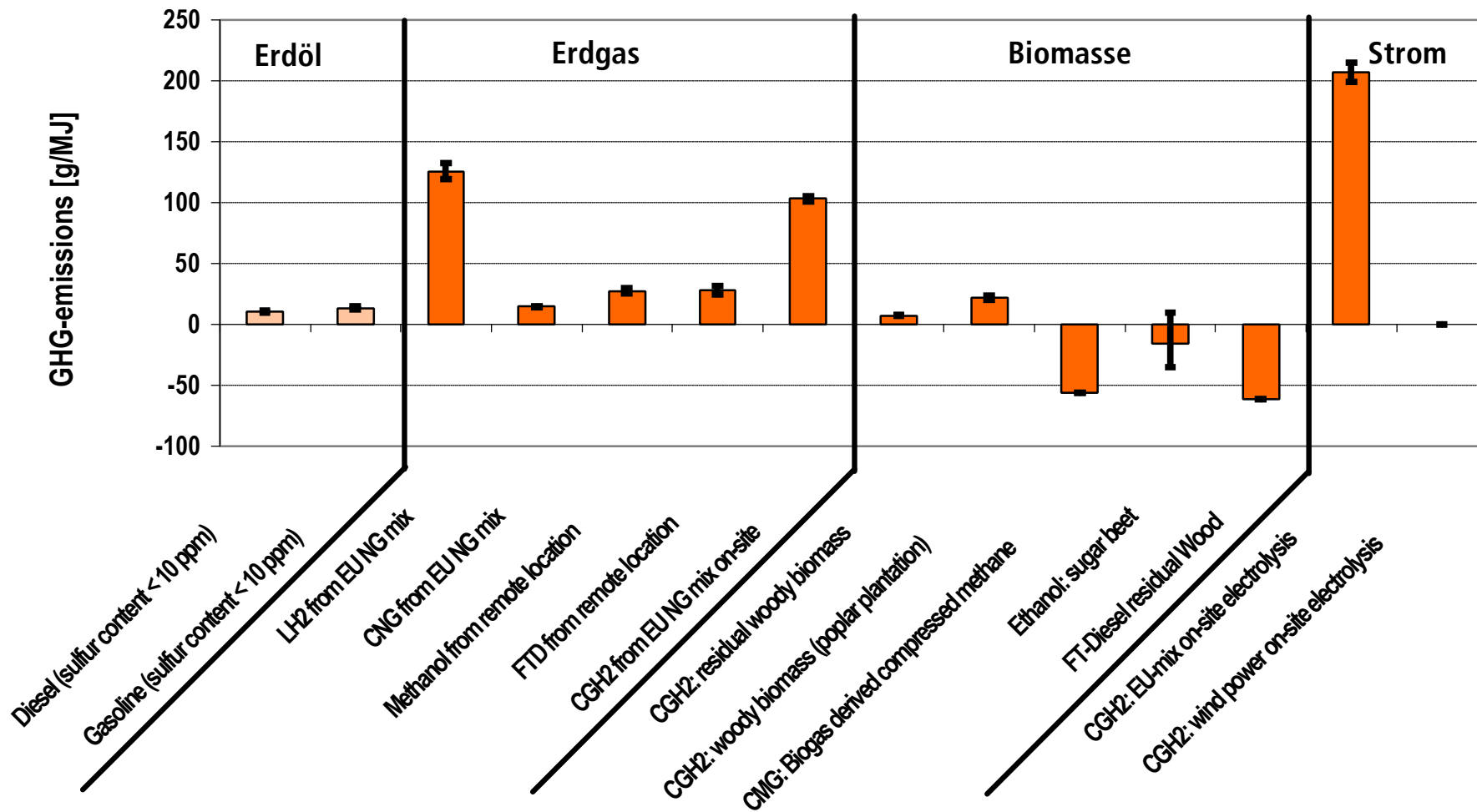
Well-to-Tank

[“Quelle bis zum Tank”]

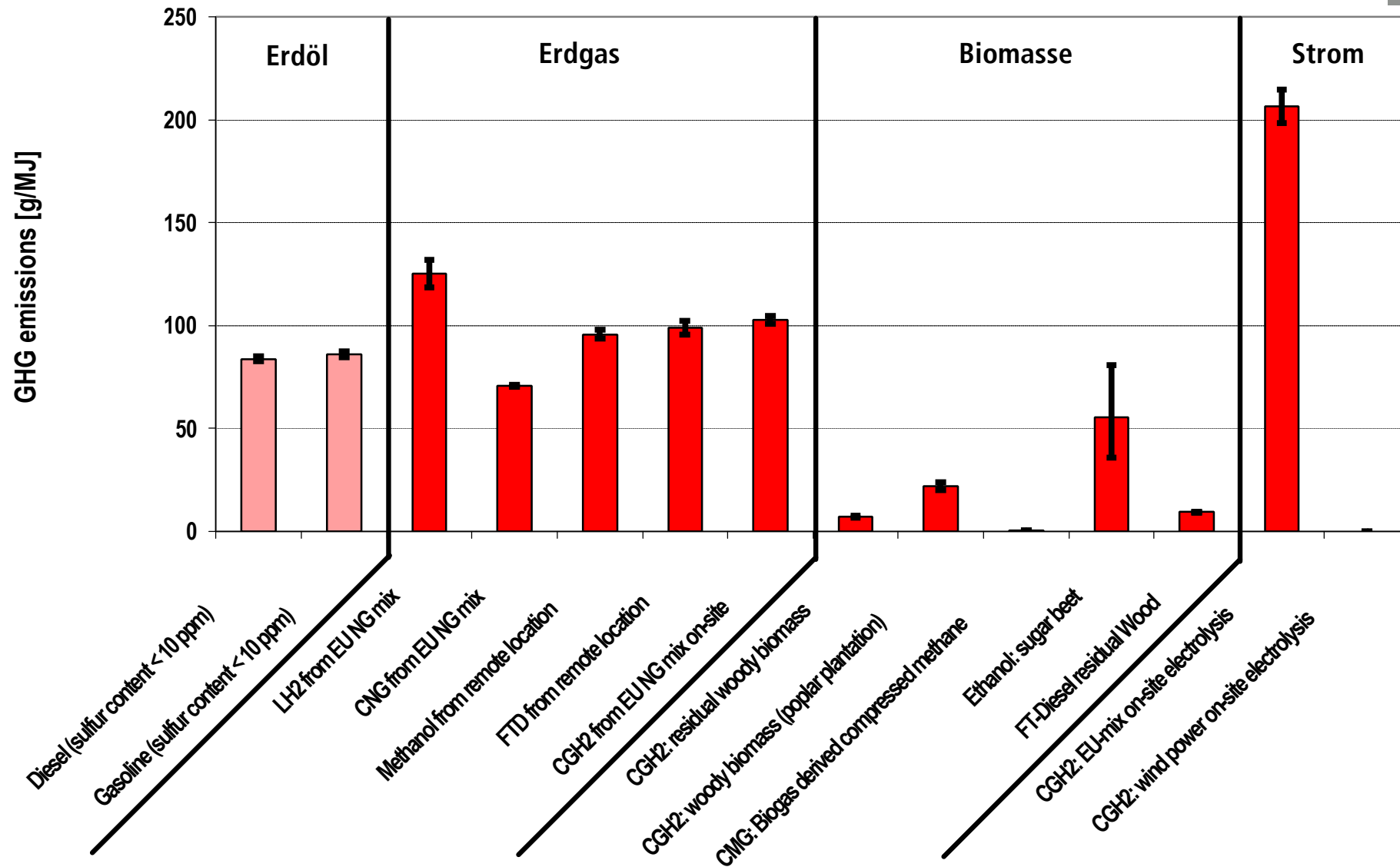
Energiebedarf: Well-to-Tank



Klimagasmissionen (CO₂-Äquivalent): Well-to-Tank



Klimagasmissionen (CO₂-Äquivalent): Kraftstoffversorgung und -einsatz





Tank-to-Wheel

["Tank zum Rad"]



Europäische Tank-to-Wheel-Analyse (Fahrzeugpfade)

- Basisfahrzeug: Opel Zafira
- Fahrzyklen: Neuer Europäischer Fahrzyklus (NEFZ)
- Alle Fahrzeug wurden so ausgelegt, dass sie die gleichen europäischen Kundenleistungsanforderungen einhalten
- Technologische Zielwerte für den Zeitraum 2010
 - Fortgeschrittene Verbrennungsmotor- und Antriebstechnologien
 - Fortgeschrittene Fahrzeugplattformen
 - Hybridantriebstechnologien
 - Kraftstoffprozessor- und BZ-Systeme in hybridisierter und nicht-hybridisierter Antriebsarchitektur

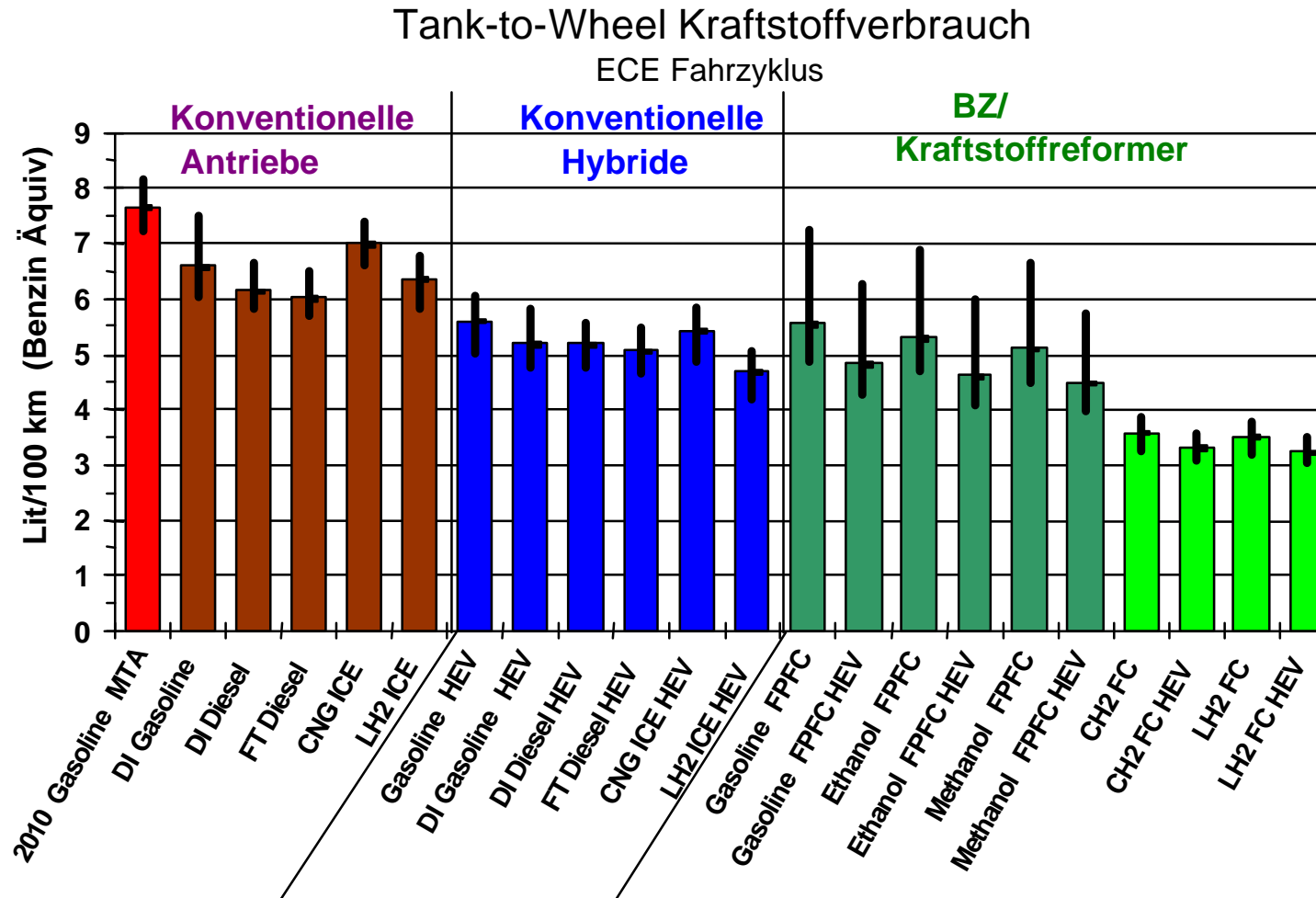


GM Well-to-Wheel Studie - Antriebsstränge

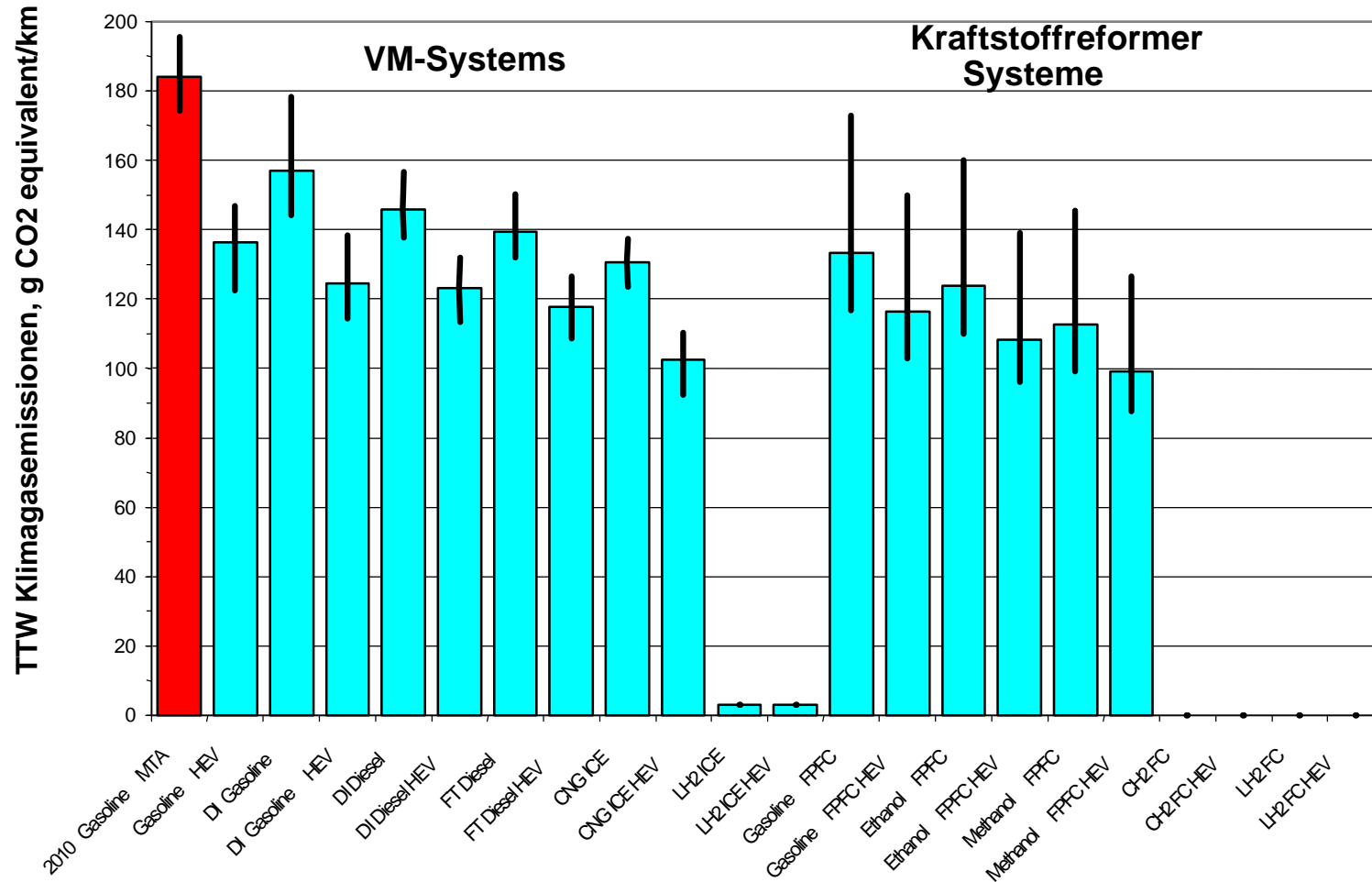


	VM	VM Hybrid	BZ Non-Hybrid	BZ Hybrid
Benzin	X	X	X	X
+Fortgeschrittener Antrieb				
Diesel	X	X		
FT Diesel	X	X		
CNG	X	X		
Methanol			X	X
Ethanol (E100)			X	X
Wasserstoff	X	X	X	X

GM Well-to-Wheel Studie - TTW Kraftstoffverbrauch



GM Well-to-Wheel Studie - TTW Klimagasemissionen





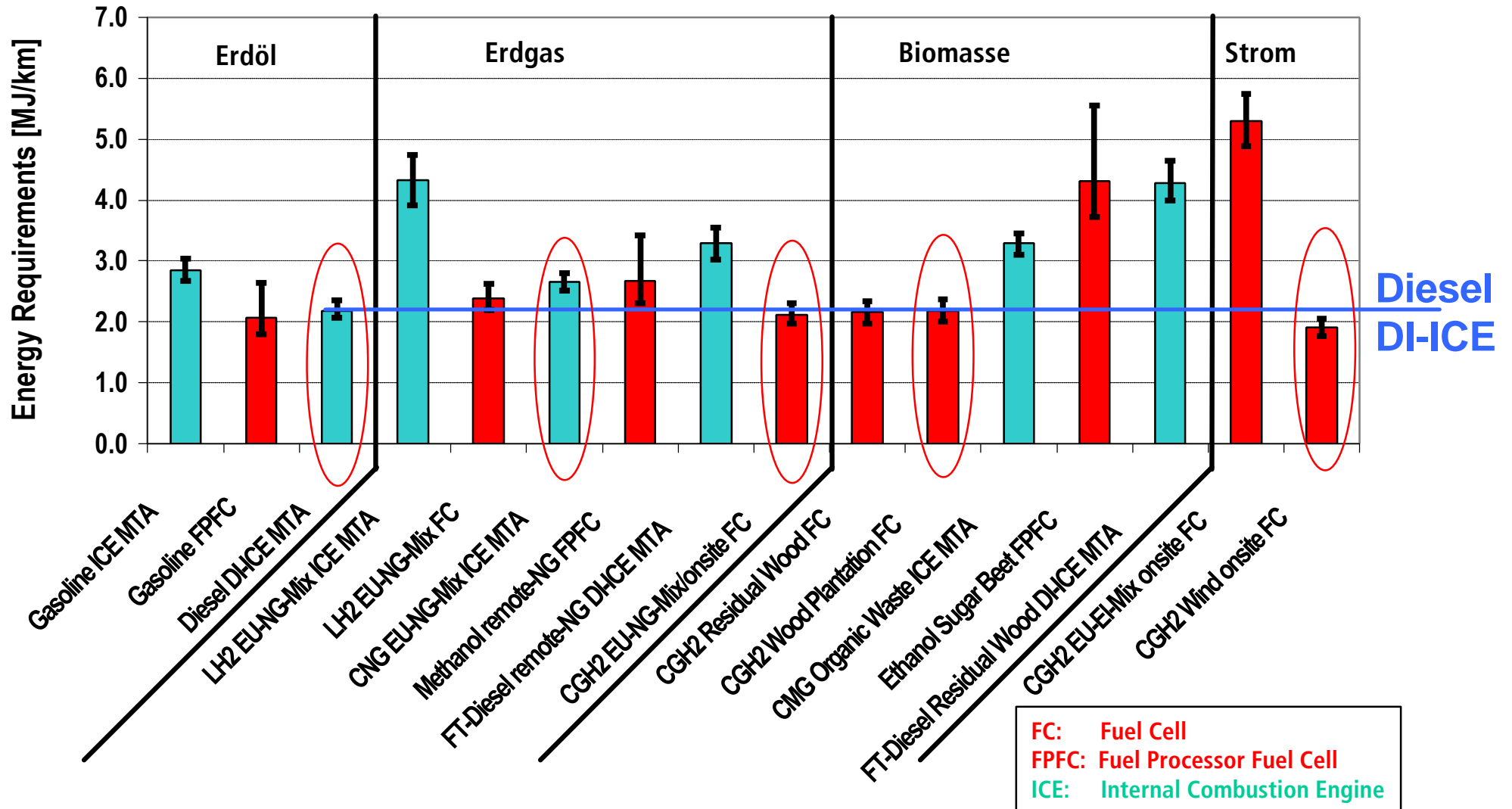
Well-to-Wheel

[“Quelle bis zum Rad”]

Energiebedarf: Well-to-Wheel



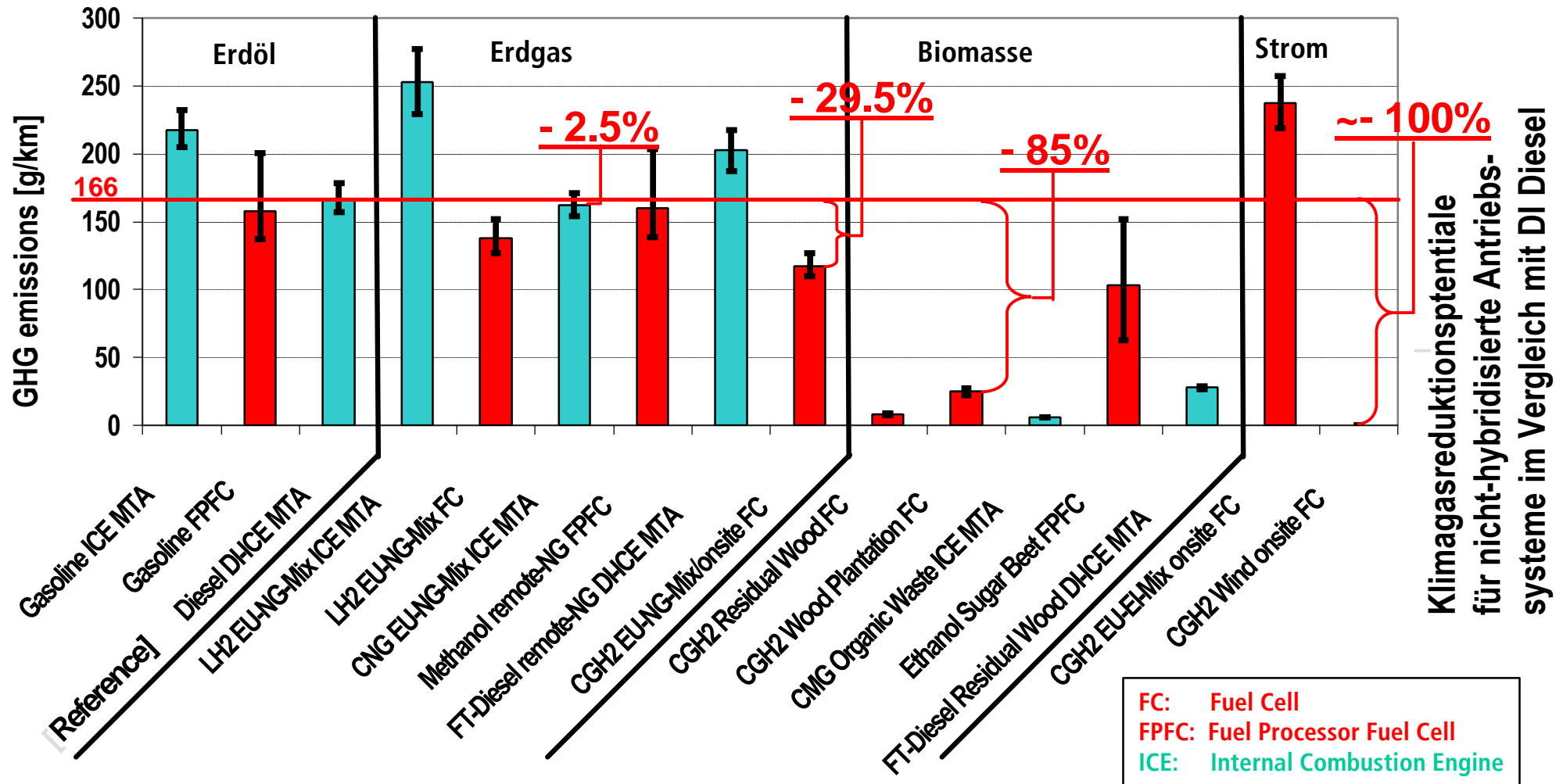
Fahrzeug: Opel Zafira



Klimagasemissionen (CO₂ Äquivalent): Well-to-Wheel



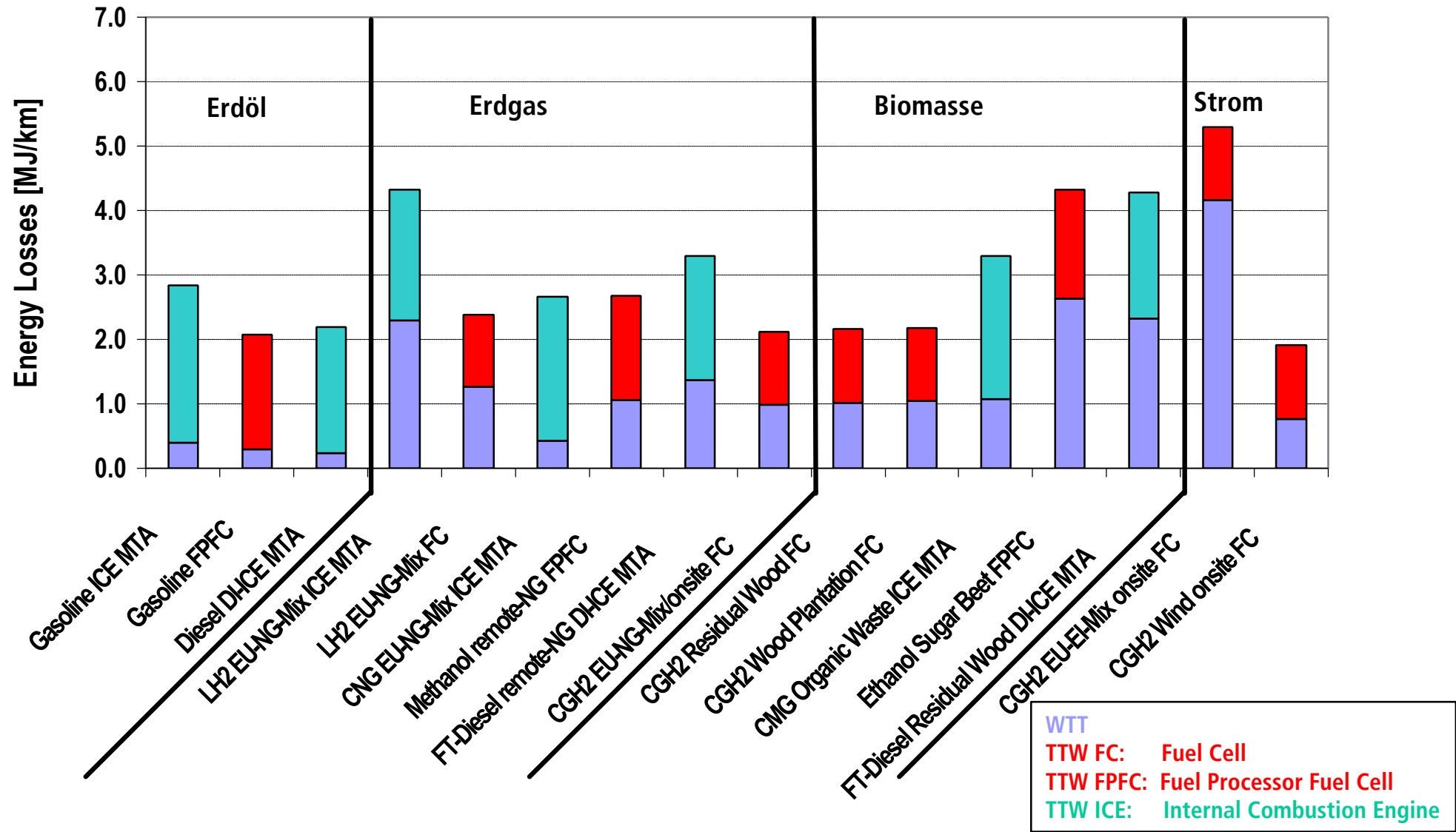
Fahrzeug: Opel Zafira



Energieverluste: Aufteilung in WTT und WTW



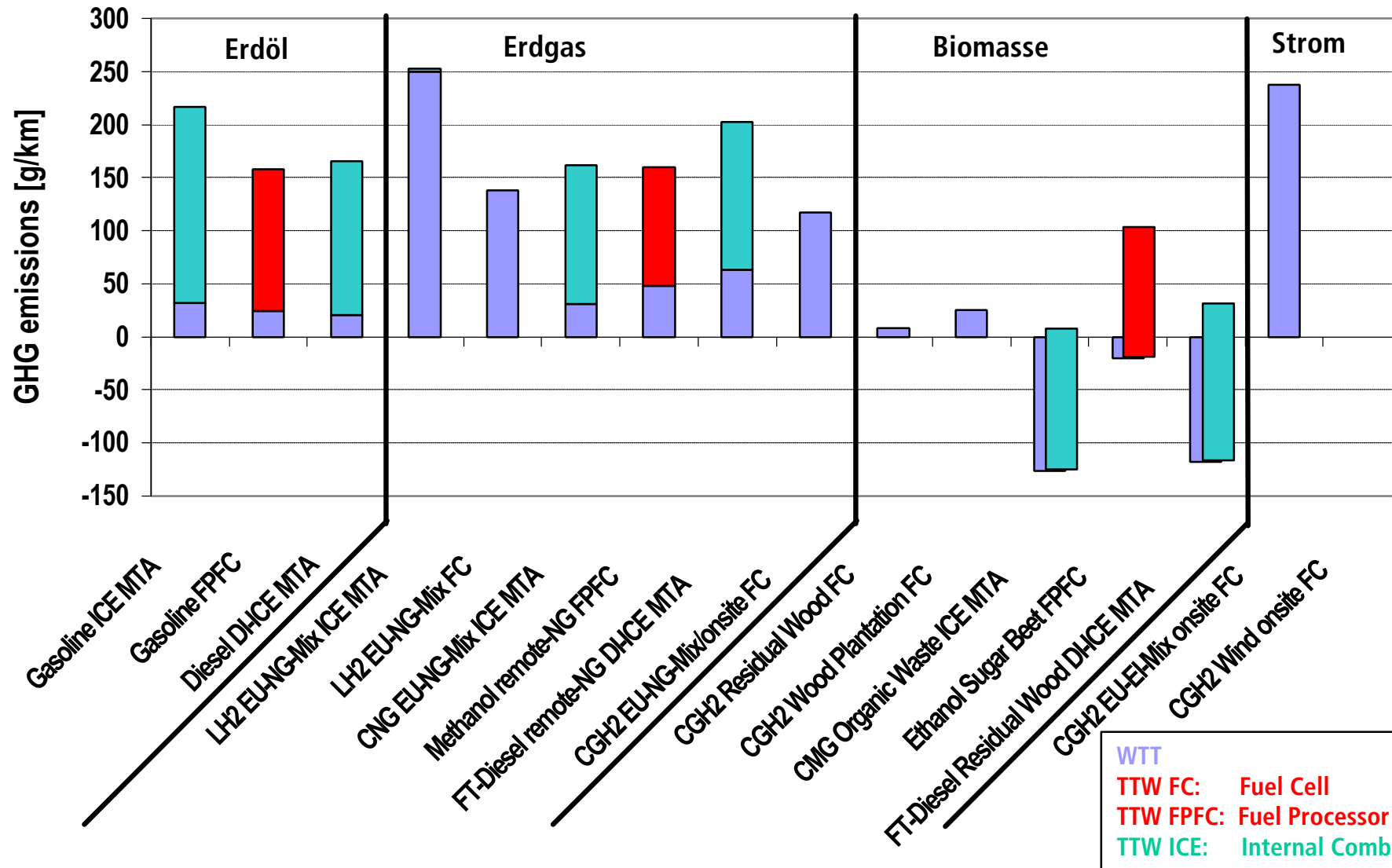
Fahrzeug: Opel Zafira



Klimagasemissionen (CO₂ Äquiv.): Aufteilung in WTT und WTW



Fahrzeug: Opel Zafira



WTT
TTW FC: Fuel Cell
TTW FPFC: Fuel Processor Fuel Cell
TTW ICE: Internal Combustion Engine



Einige Ergebnisse aus der GM Studie

Ergebnisse der GM WtW-Analysen (1)



- WTT Analysen können zu anderen Ergebnissen führen als WTW Analysen.
- Der Vorteil von Wasserstoff als Kraftstoff beruht zu einem großen Teil auf der Kraftstoffbereitstellung, er wird aber erst bei der Betrachtung der Gesamtkette (WTW) offensichtlich.
- Eine vollständige und adäquate LCA von Kraftstoffen ist nur möglich, wenn man auch die Verwendung im Fahrzeug mit seinem Antriebsstrang betrachtet.
- Wasserstoff hat von allen Kraftstoffen die größte Flexibilität bezüglich der Primärenergiequellen.
- Aus erneuerbaren Energien hergestellter Wasserstoff ist bezüglich der Treibhausgasemissionen der beste Kraftstoff.

Ergebnisse der GM WtW-Analysen (2)



- Der beste Biokraftstoff ist Wasserstoff
- Wasserstoff über den Strommix erzeugt zeigt keine Vorteile
- Hybridisierte CGH₂ aus Erdgas-BZ-Fahrzeuge haben 25% niedrigere Klimagasemissionen als hybridisierte CNG-Fahrzeuge
- Ein Vorteil beim Umstieg auf Gas-to-Liquids (FT Diesel) ist nicht erkennbar
- Methanol Anbord-Reformierungs-BZ-Fahrzeuge haben keine wirklichen Vorteile gegenüber fortgeschrittenen Dieselfahrzeugen und keine Vorteile gegenüber BZ-Fahrzeugen mit Anbord-Reformierung von Benzin, jedoch Vorteile gegenüber verbrennungsmotorischen Benzinfahrzeugen

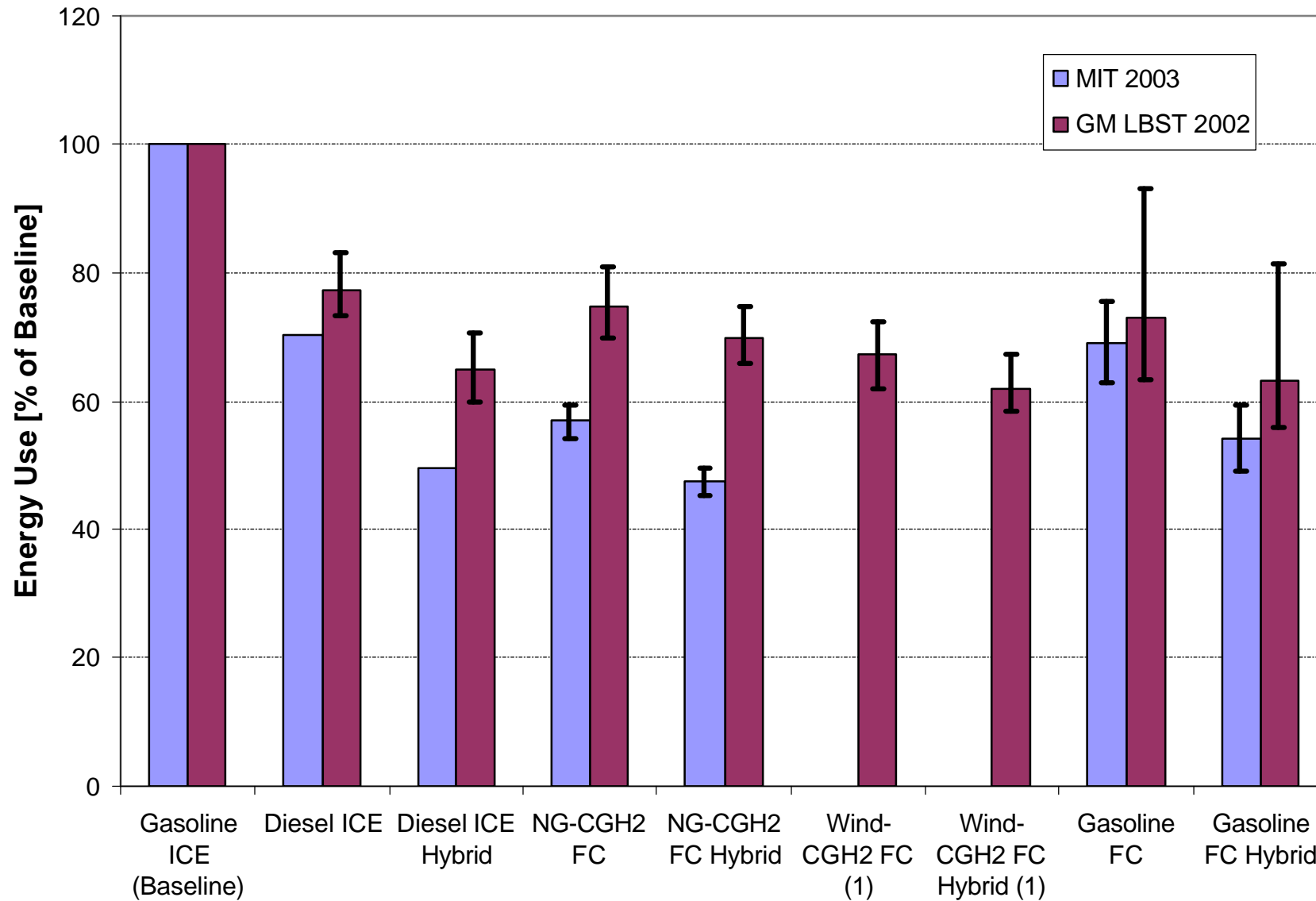


- Biomasse-Pfade unterscheiden sich bei Klimagasen bzgl. der gegebenen Randbedingungen deutlich
- Die Unterschiede können weitestgehend auf die N_2O -Emissionen zurückgeführt werden, welche in den unterschiedlichen europäischen Regionen jeweils von der Bodenart, dem Stickstoffdüngereinsatz und den klimatischen Bedingungen abhängen
- Kohlenstofffreisetzungen (CO_2 -Emissionen), welche durch Bodennutzungswechsel verursacht werden, wurden nicht berücksichtigt (können aber einen deutlichen Einfluß haben)

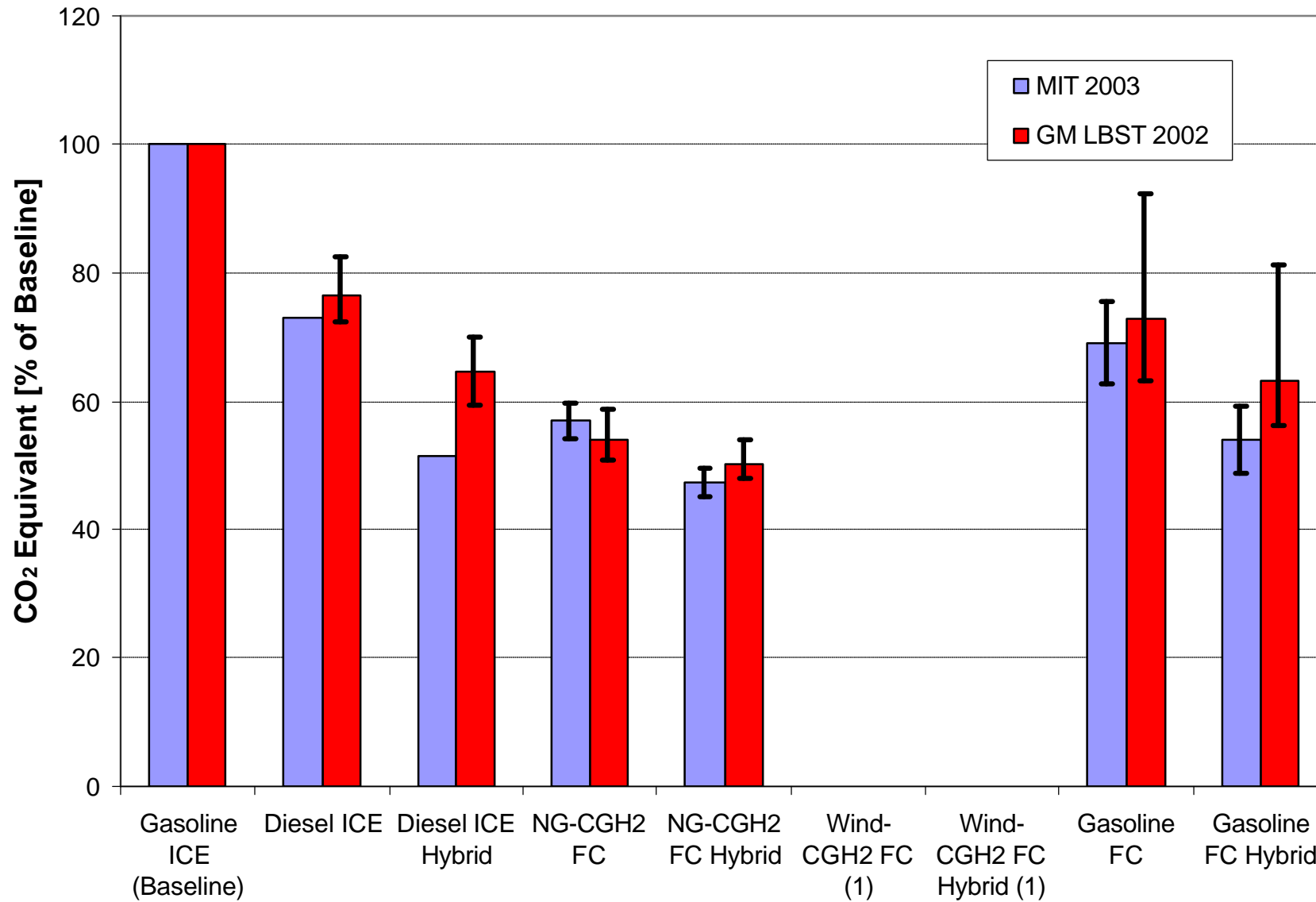


Vergleich der Ergebnisse der MIT-Studie mit denen der GM-Studie

Vergleich Energieeinsatz MIT2003 vs. GM-LBST2002



Vergleich Klimagasemissionen MIT2003 vs. GM-LBST2002





**Kommentar zur Untersuchung des
Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt und Energie
für den
Bundesverbandes der Deutschen Gas und
Wasserwirtschaft (BGW)
und die
Gemeinschaftsinitiative erdgas mobil GmbH**



Resultat des WI für regenerativen Strom:

Während mit einer Kilowattstunde regenerativem Strom im BZ-Auto eine Minderung von circa 234 g CO₂/kWh erreicht werden kann, bringt der Einsatz der gleichen kWh im Stromnetz als Ersatz für konventionelle Kraftwerksleistung eine Reduktion von 590 g CO₂, das heißt die Umweltwirkung ist zur Zeit rund 2 ½ mal so hoch.

Gegenrechnung der LBST für Erdgas:

Während mit einer Kilowattstunde Erdgas im CNG-Auto eine Minderung von circa 44 g CO₂/kWh erreicht werden kann, bringt der Einsatz der gleichen kWh Erdgas in einem GuD-Kraftwerk ($\eta = 57,5\%$) eine Reduktion von 112 g CO₂, das heißt die Umweltwirkung ist zur Zeit rund 2 ½ so hoch (und würde in BHKWs noch höher sein).



Annahmen des WI:

- Auch langfristig (d.h. bis 2050) werden signifikante Anteile am deutschen Strommix fossilen Ursprungs sein.
Erneuerbare Stromquellen sind begrenzt in ihrer Verfügbarkeit.
- Auch langfristig ist Erdgas in beliebigen Mengen verfügbar.

⇒ Das würde praktisch folgendes heißen:

Erneuerbare Energien sind begrenzt, fossile unbegrenzt.

Kommentar: Überraschend an einem solchen Szenario ist insbesondere, dass es von einem Forschungsinstitut, das den Auftrag der Nachhaltigkeit im Namen führt, als Grundlage für langfristige strategische Entscheidungen vorgeschlagen wird, deren Ziel eine nachhaltige Energieversorgung ist.



Gesamtresultat:

Erdgas als CGH₂ im Brennstoffzellenauto verfahren liefert eine CO₂-Reduktion Well-to-Wheel von fast 30% gegenüber einem CDI-Dieselfahrzeug und noch immer über 25% gegenüber einem optimierten CNG-Fahrzeug.

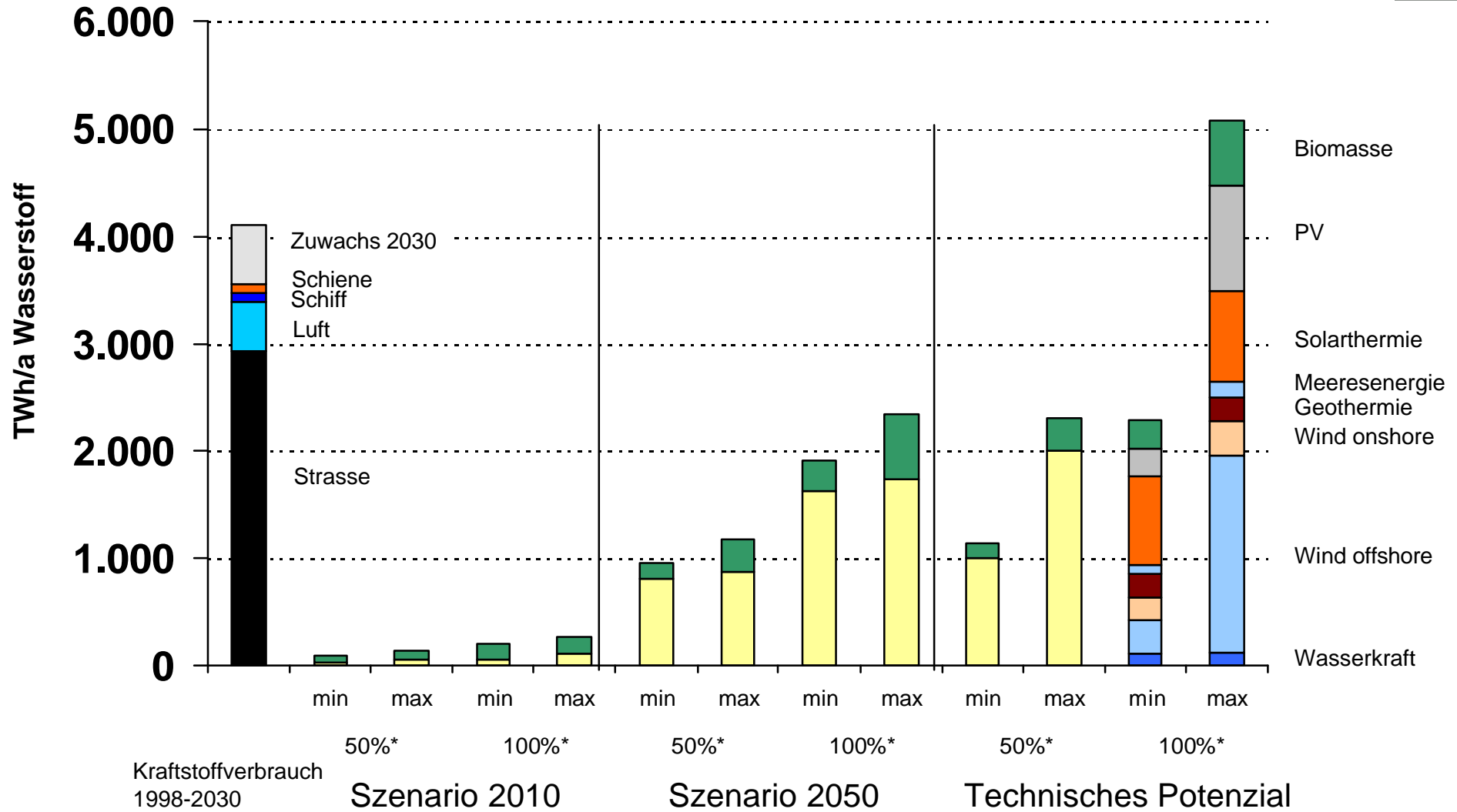
Es hat also wenig Sinn, Erdgasfahrzeuge gegen CGH₂-BZ-Fahrzeuge auszuspielen, da die BZ-Fahrzeuge in der Klimagasdiskussion immer gewinnen würden.

Wir brauchen für eine Übergangsphase CNG-Fahrzeuge und müssen parallel massiv am Einstieg in den Wasserstoff als Fahrzeugkraftstoff arbeiten.



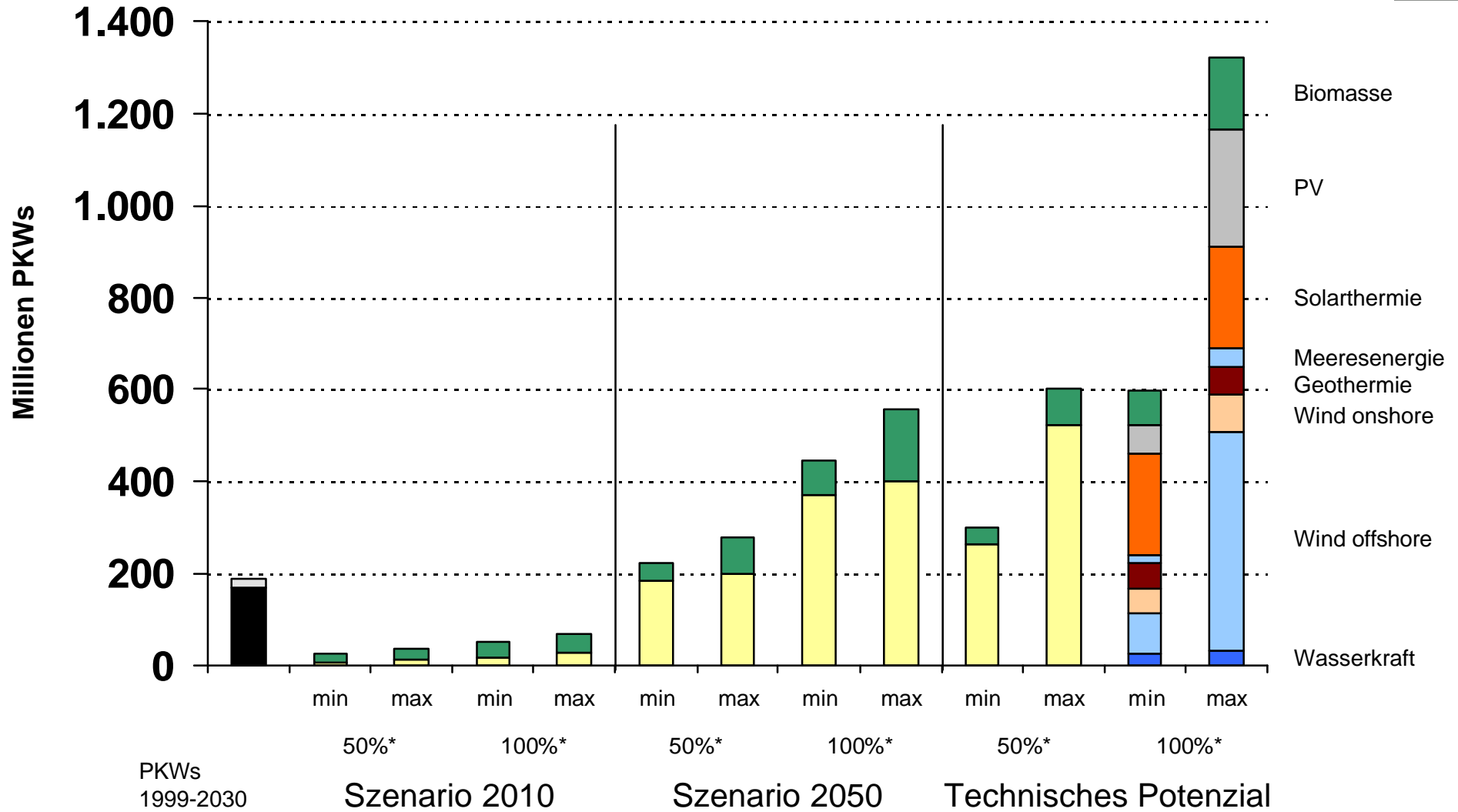
Potenziale der Kraftstofferzeugung

Technisches Potenzial H₂-Erzeugung aus REN in der EU15



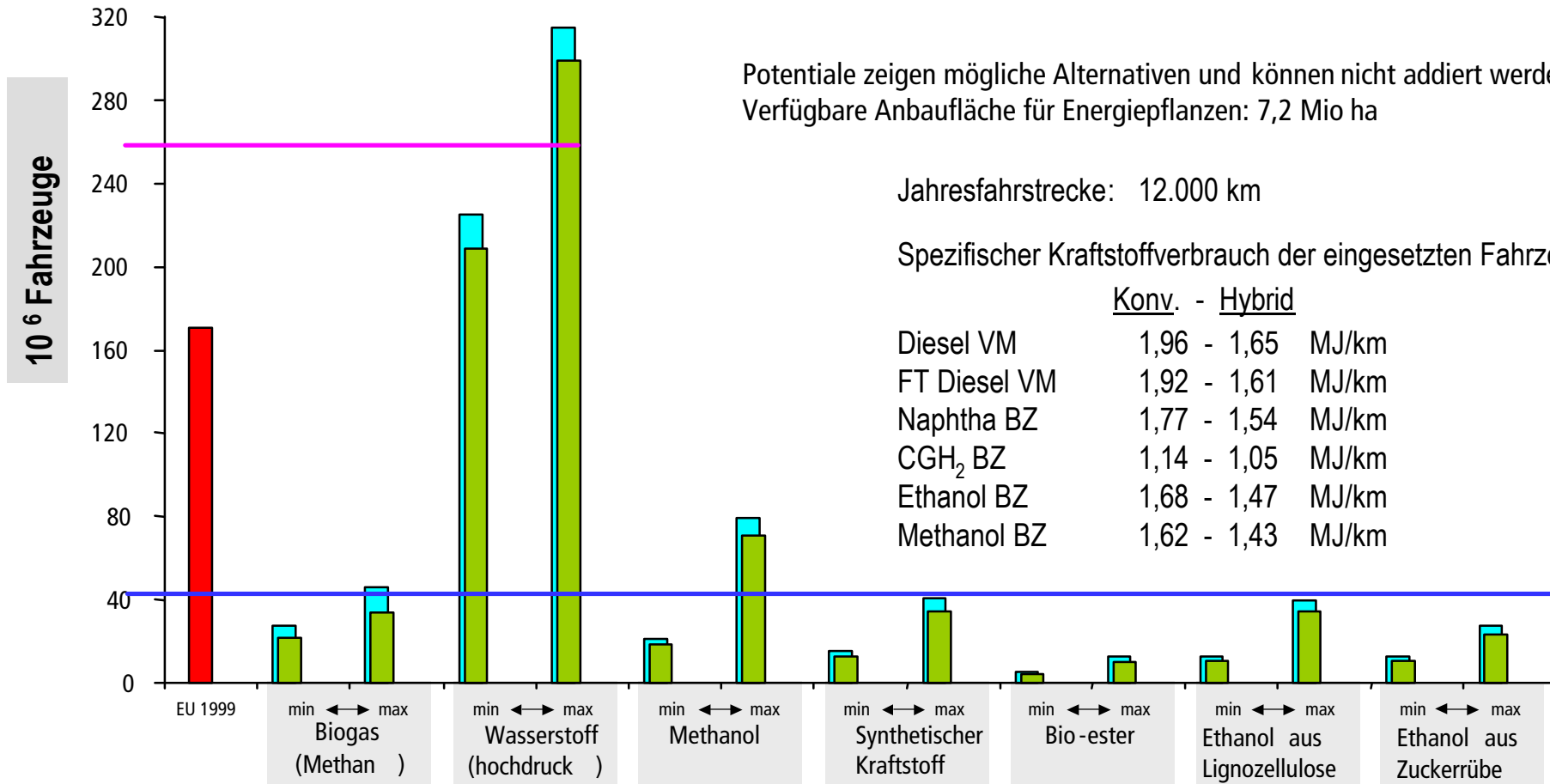
* der erneuerbaren Energiepotentiale verfügbar zur Kraftstoffherstellung

REN Potenziale für H₂-BZ-Fahrzeuge in der EU15



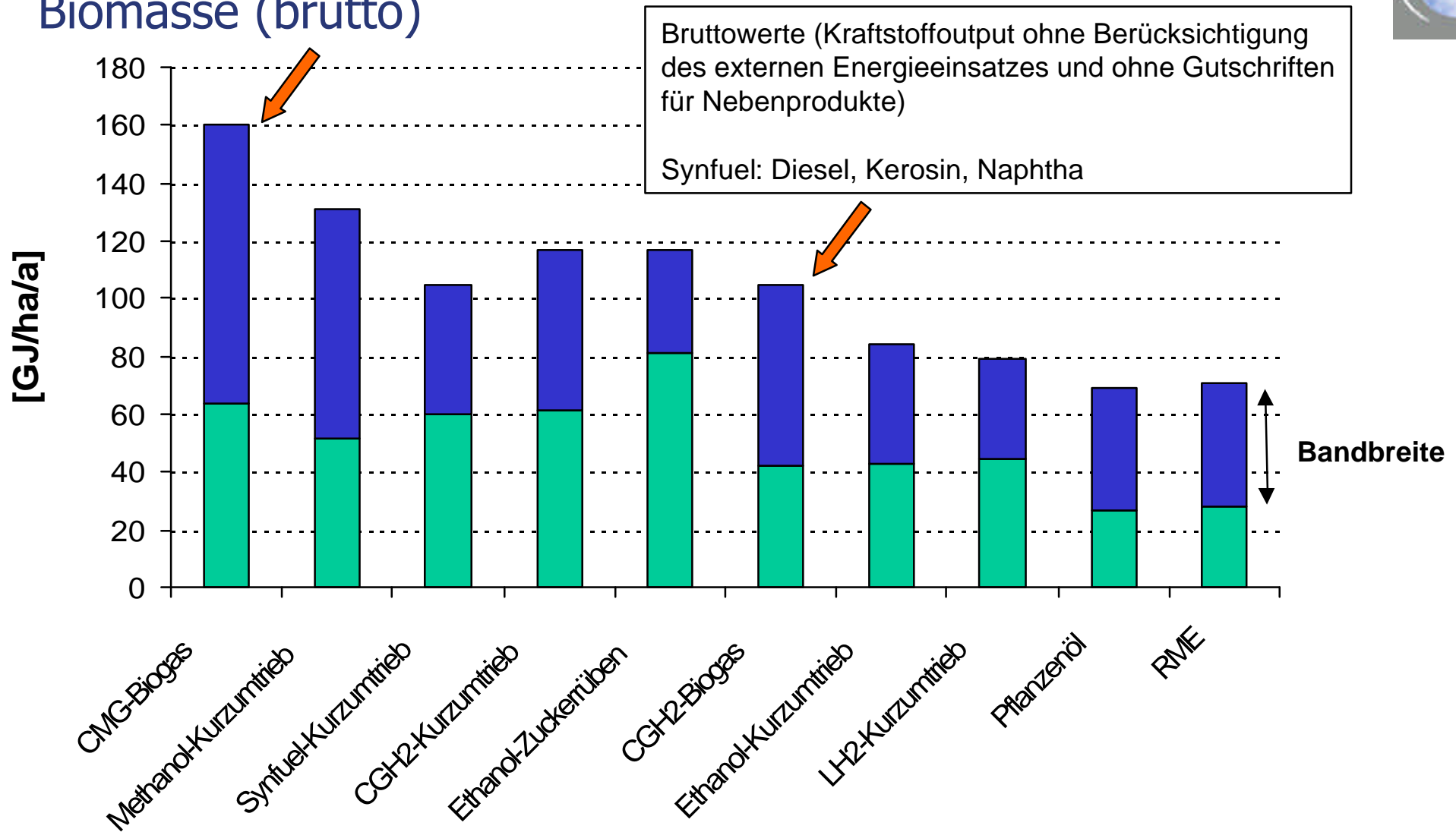
* der erneuerbaren Energiepotentiale verfügbar zur Kraftstoffherstellung

Zahl der Fahrzeuge, die in EU-15 mit Erneuerbaren Energien nach 2020 versorgt werden können [LBST]





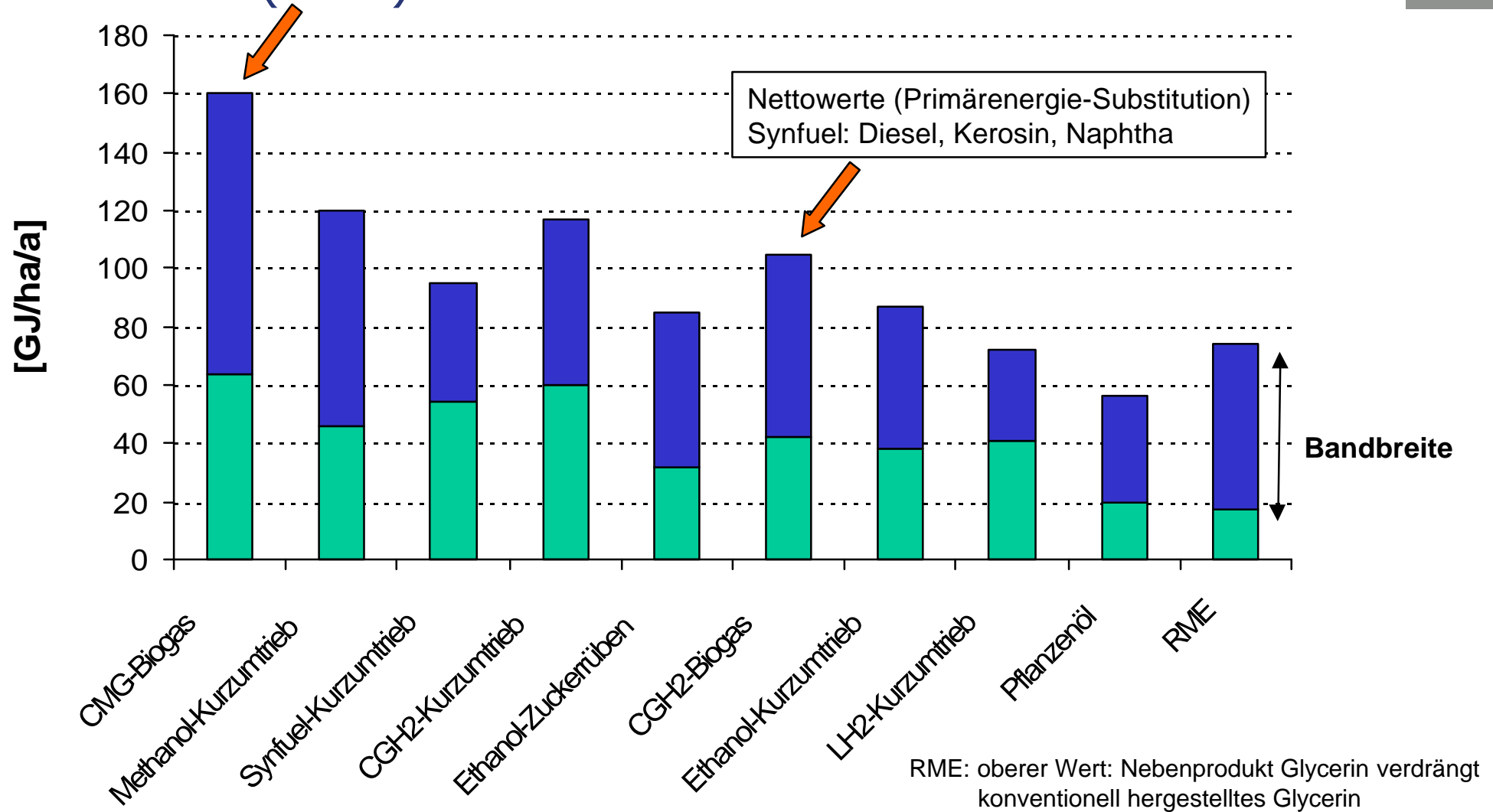
Spezifische Hektarerträge verschiedener Kraftstoffe aus Biomasse (brutto)



Quellen: Biofuels 2000; DM2 2001; FfE 1998; Graskraft 2000; Haldor Topsoe 1998; NREL 1999; UBA 1999; UET 2001; Kaltschmitt 2001

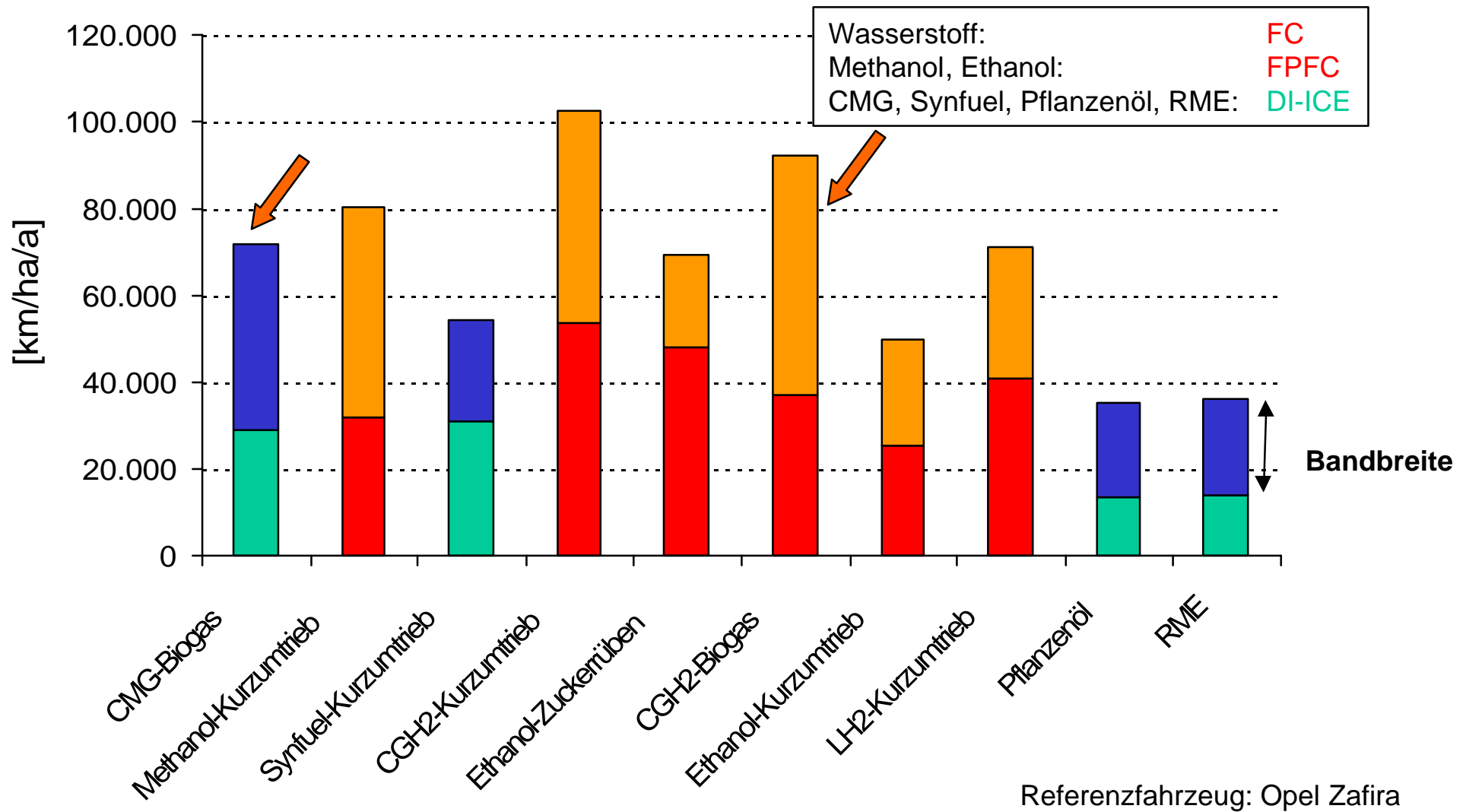


Spezifische Hektarerträge verschiedener Kraftstoffe aus Biomasse (netto)

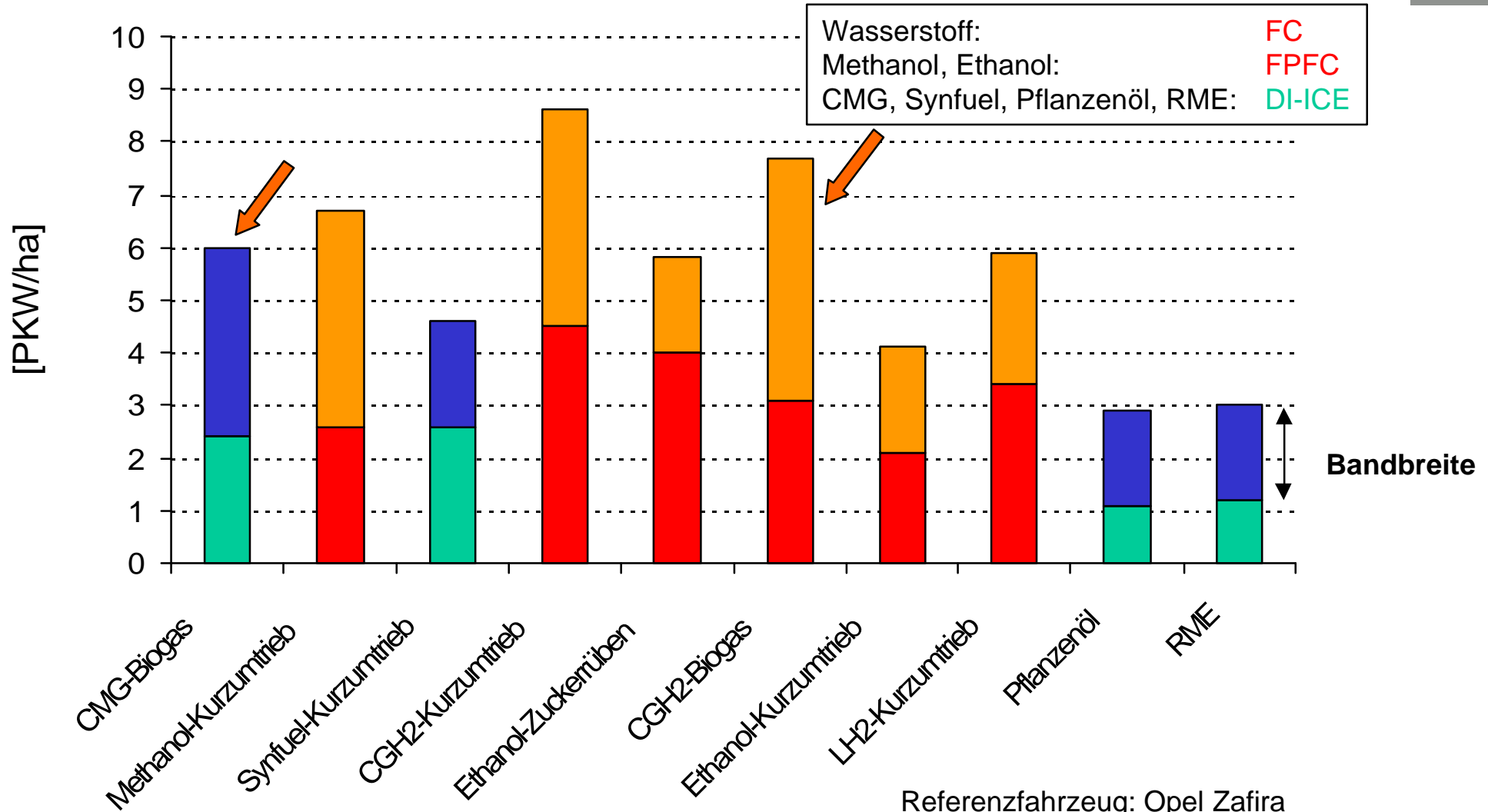


Quellen: Biofuels 2000; DM2 2001; FfE 1998; Graskraft 2000; Haldor Topsoe 1998; NREL 1999; UBA 1999; UET 2001; Wuppertal 1999

Spezifische Hektarerträge verschiedener Kraftstoffe umgerechnet in FZ-km/a



Anzahl PKW, die pro ha Anbaufläche versorgt werden können

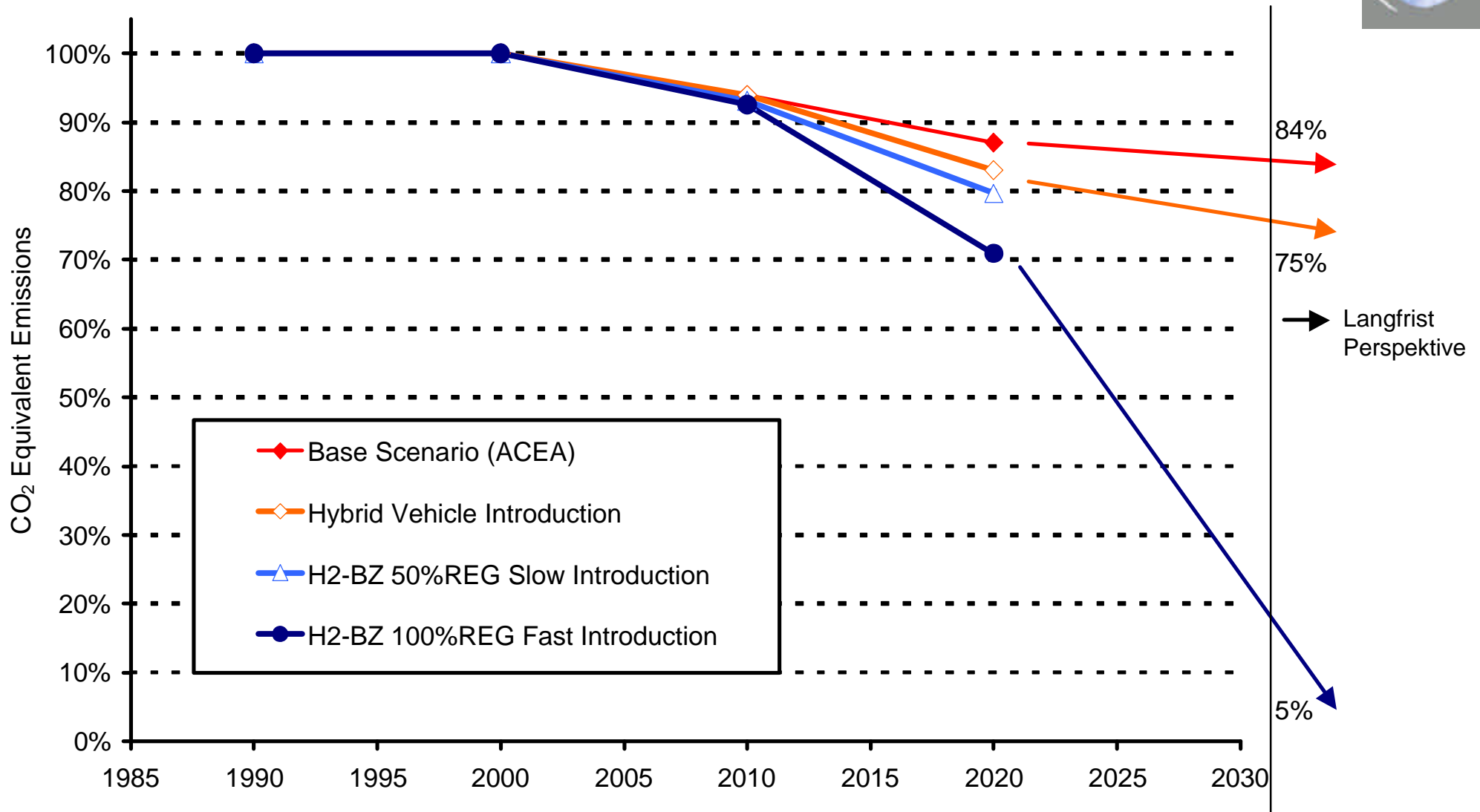


Referenzfahrzeug: Opel Zafira
 Jahresfahrleistung: 12.000 km



Szenarien für Klimagas-Emissionen in Deutschland

Szenarien für Klimagas-Emissionen für PKWs in Deutschland



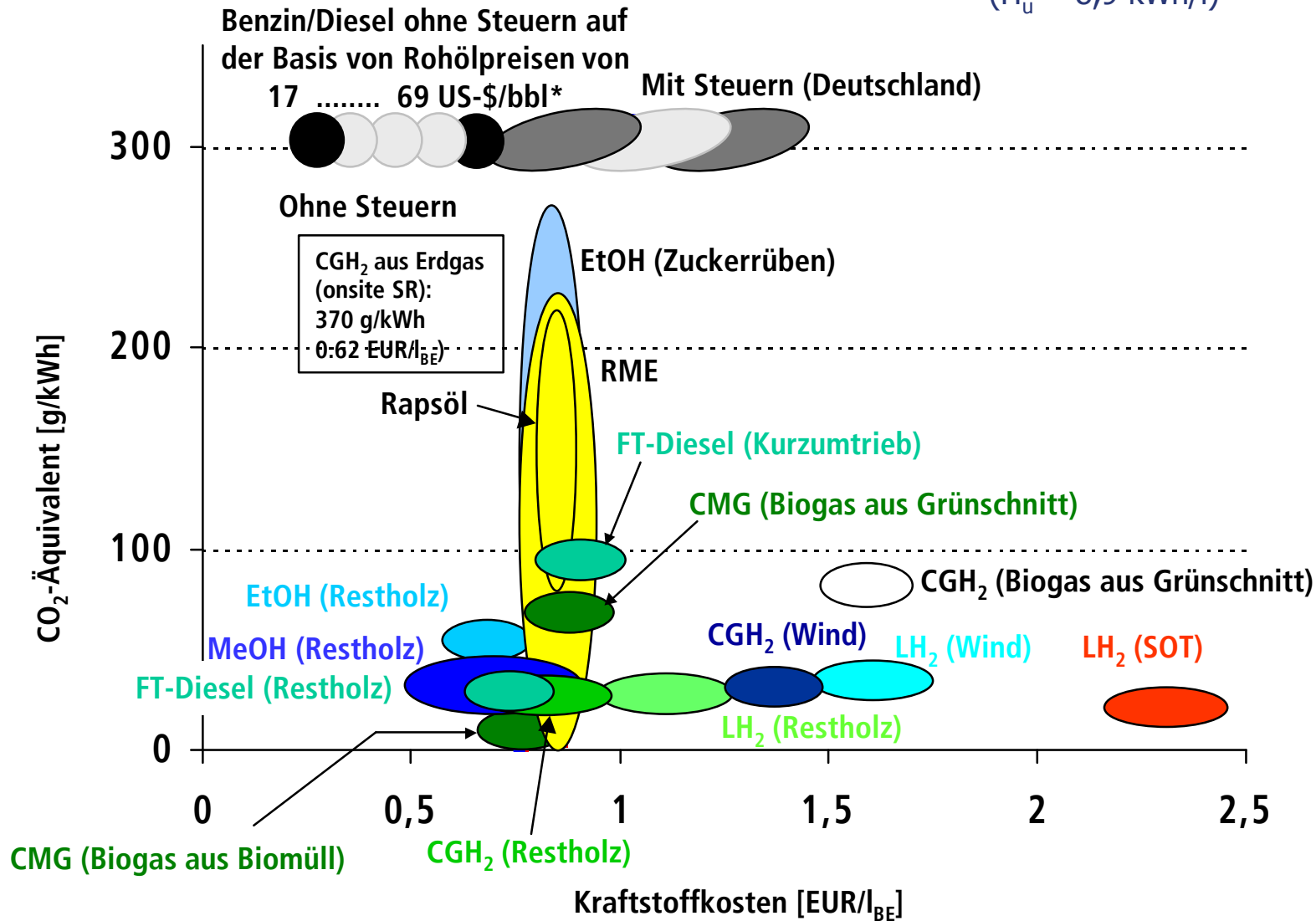
Quelle: LBST, "Vergleich verschiedener Antriebskonzepte im Individualverkehr im Hinblick auf Energie- und Kraftstoffeinsparung", April 2002, www.lbst.de/antriebskonzepte/



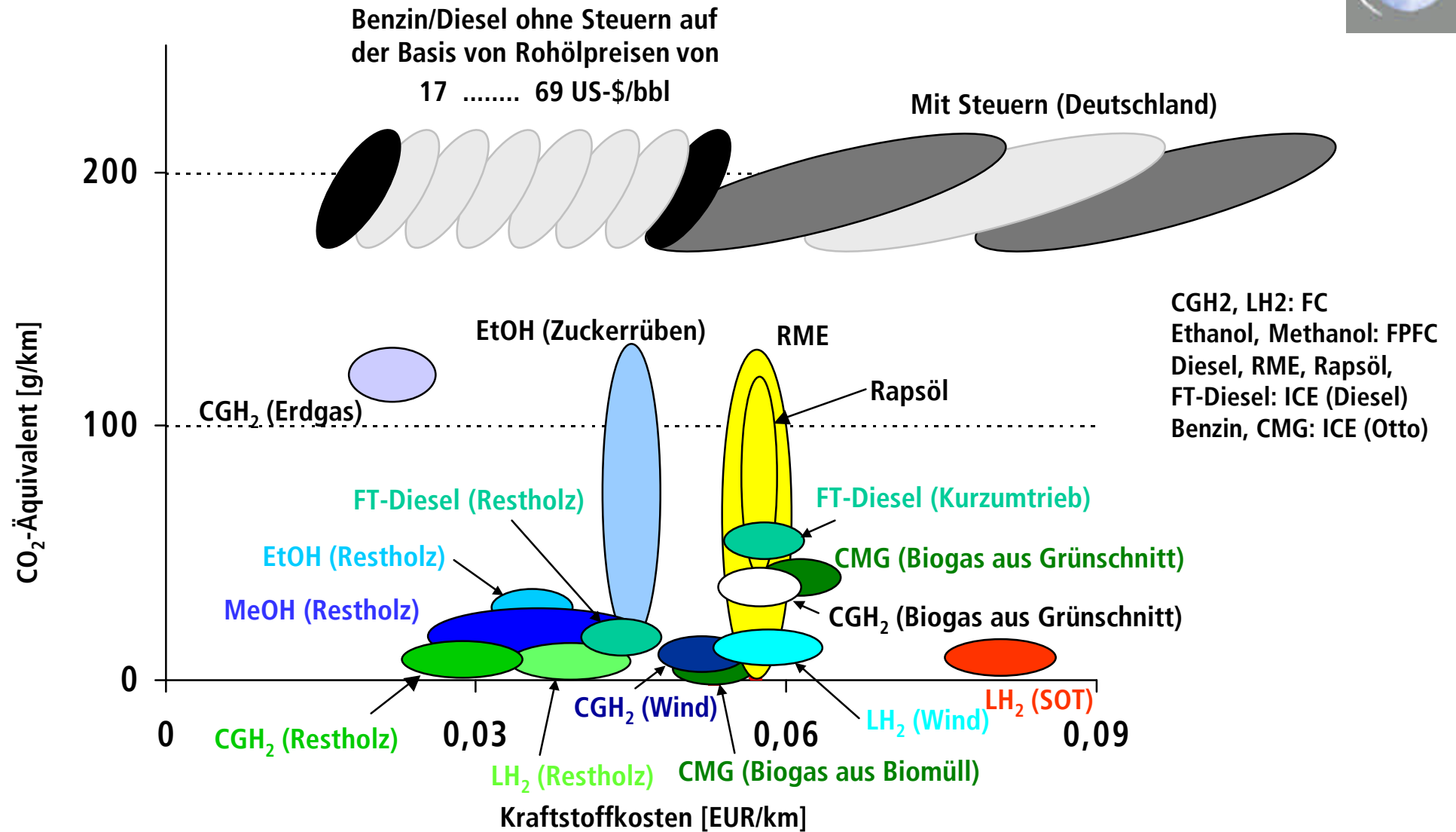
Kosten

Kraftstoffkosten bezogen auf 1 Liter Benzineinheit

($H_u = 8,9 \text{ kWh/l}$)



Kraftstoffkosten bezogen auf den gefahrenen km



Wo geht die Entwicklung hin?



Übergangskraftstoffe müssen mindestens für drei Fahrzeuggenerationen (von jeweils 8 Jahren) im Markt sein. Das heißt, wir sprechen von 30 Jahren und mehr.

Für kürzere Zeiträume ist es zweifelhaft, ob ein Übergangskraftstoff unter wirtschaftlichen Aspekten eingeführt werden sollte.

Wann kommt der langfristig sinnvolle Kraftstoff „Wasserstoff“ in den Markt?

- ☞ In den USA und Japan wird die breite Einführung um 2010 beginnen mit vorbereitenden Projekten schon jetzt (10 H₂-Tankstellen im Großraum Tokio im Frühjahr 2004, drei weitere Großräume in Vorbereitung, in Japan 4.000 Tankstellen und 5 Mio BZ-Fahrzeuge in 2020).
- ☞ Die weitere Dynamik wird insbesondere abhängen von
 - der Entwicklung auf den Öl- und Gasmärkten in den kommenden Jahren
 - den Fortschritten beim Brennstoffzellenauto
 - der gesellschaftlichen Prioritätensetzung

Life Cycle Analysen mit LBST Beteiligung



VES - Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie [1998 - 2001]

GM WTW-Study - "Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems - A European Study" [2001 - 2002]

BStMLU-Studie - "Vergleich verschiedener Antriebskonzepte im Individualverkehr im Hinblick auf Energie- und Kraftstoffeinsparung" [2001 - 2002]

FCSHIP - "Fuel Cell Technology in Ships" [2002 - 2004]

CONCAWE/EUCAR/JRC - Well-to-Wheels Assessment of Alternative Road Transport Fuels - Well-to-Tank [2002 - 2003]

HyWays - "European Hydrogen Energy Roadmap" Activity [voraussichtlich ab 2004]

Internetauftritte der L-B-Systemtechnik



L-B-Systemtechnik Website:
www.lbst.de

Informationen zu Wasserstoff und
Brennstoffzellen:
www.HyWeb.de

Wasserstoff- und BZ-Fahrzeug-Übersicht:
www.h2cars.de

Informationen zu Wasserstoffprojekten:
www.h2guide.de

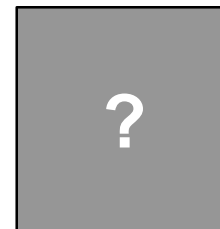
Informationen zu fossilen Energieressourcen:
www.energiekrise.de

EIHP

European Integrated Hydrogen Project:
www.eihp.org



HyNet - The European Thematic Network on
Hydrogen:
www.HyNet.info



HyWays - The Development and Detailed
Evaluation of a Harmonised "European
Hydrogen Energy Roadmap":
www.HyWays.de