

htw saar

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes

University of
Applied Sciences

RDE-Untersuchungen (Real Driving Emissions) an LPG-Fahrzeugen

Institut Automotive Powertrain (IAP)

Dipl.-Ing. (FH) Peter Birtel

Dipl.-Ing. (FH) Michael Fries, M.Eng.

Oliver Zemborski

Prof. Dr.-Ing. Thomas Heinze

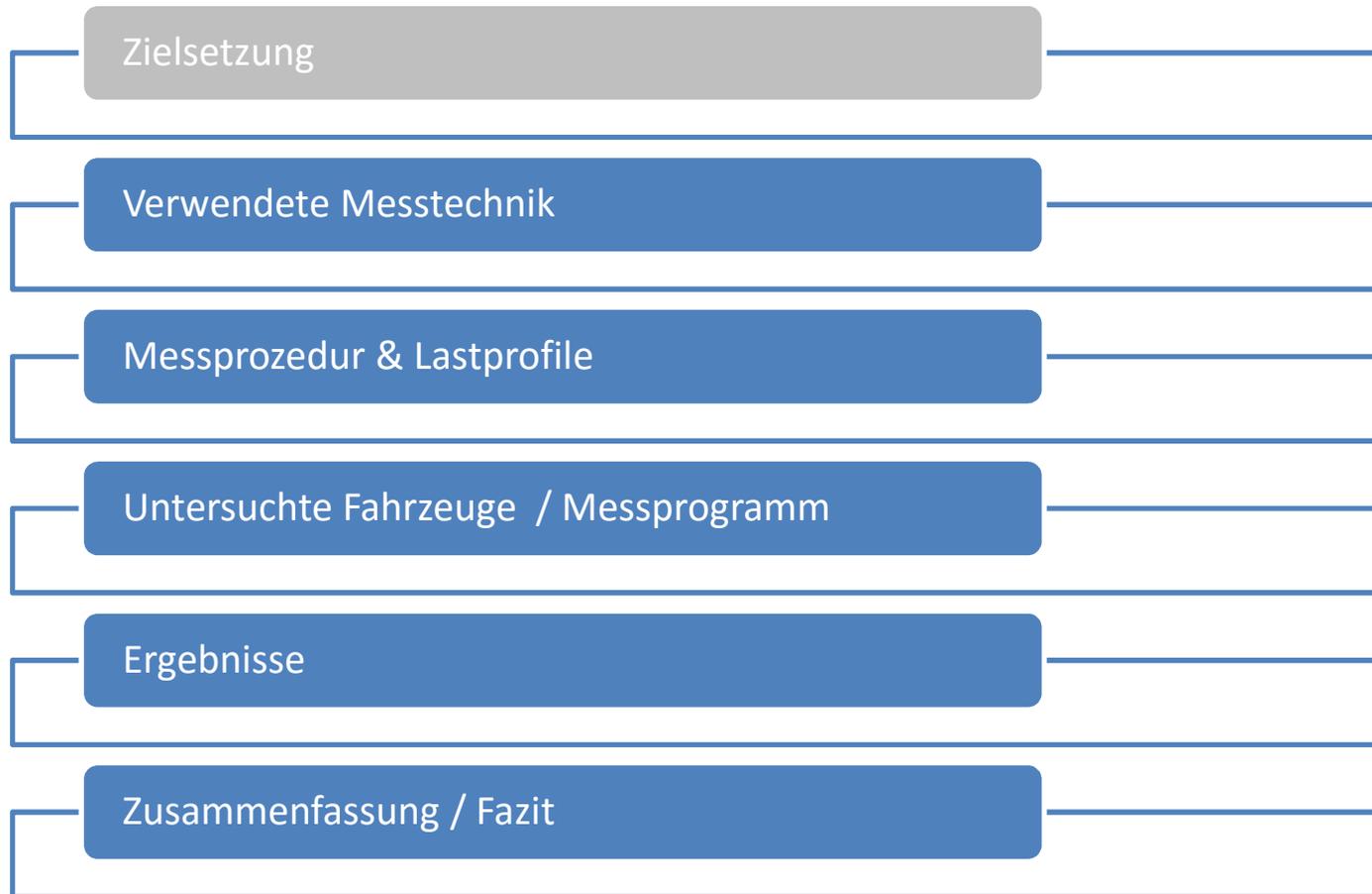
Deutscher Verband Flüssiggas e. V.

Dr. Nick Hecktor

11th Conference on Gas-Powered Vehicles
September 15 –16, 2016, Inselhotel Potsdam



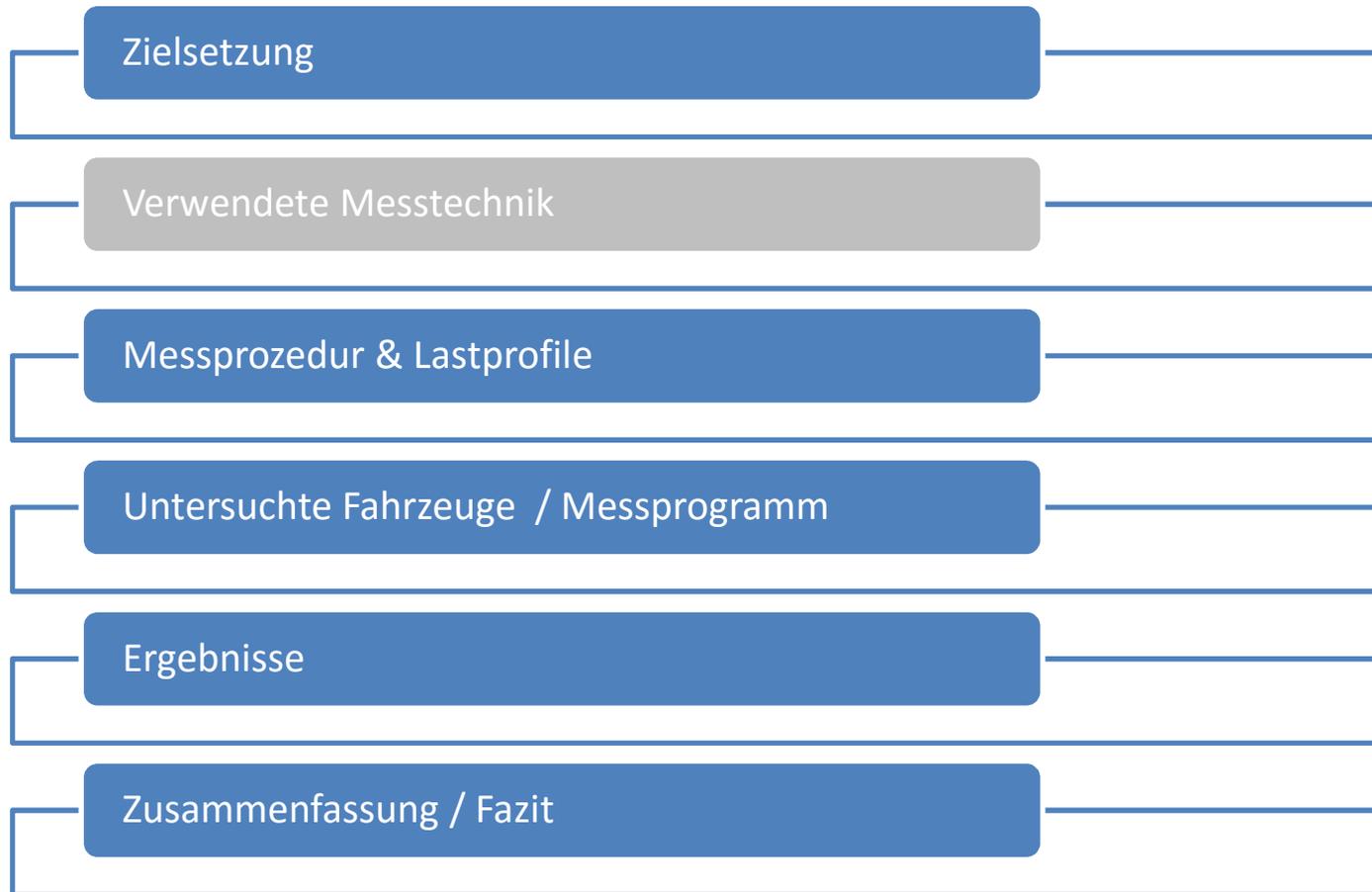




Zielsetzung

- Autogas hat auf Grund von hervorragenden Gemischbildungseigenschaften und einer hohen Klopfestigkeit ein außerordentlich hohes Potential für den Betrieb von Verbrennungsmotoren mit einem hohen Wirkungsgrad und geringen Schadstoffemissionen.
- Damit ist Autogas prädestiniert an Stellen eine Alternative darzustellen, wo Dieselfahrzeuge an NOx-Grenzen oder DI-Otto Benzinfahrzeuge an Partikelgrenzwerte stoßen.
- In wie weit dieses Potential real beim Betrieb von EU5/EU6 Pkw genutzt werden kann, soll mit vergleichenden **Autogas, Diesel und Benzin** Schadstoff-Emissionsuntersuchungen beim Betrieb gleichartiger Pkw ermittelt werden.
- Hierzu sollten mit Hilfe eines modernen **PEMS Systems** entsprechenden Messungen im **Fahrttest auf der Straße** und auf einem **Fahrzeugrollenprüfstand** durchgeführt werden.





Verwendete Messtechnik

- **AVL m.o.v.e PEMS iS**
 - Messung von Abgasstrom,
 - Messung von CO, CO₂, NO, NO_x
 - Partikelanzahl
- **J.U.M Engineering FID 3-300A**
 - Messung HC



Entnahmevorrichtung der Abgase



AVL m.o.v.e iS verbaut auf einer Anhängerkupplung

PEMS bei Fahrzeugen ohne Anhängervorrichtung





Messprozedur

1. Pre-Test

- Kalibrierung und Konditionierung des Messsystems mit Prüfgasen
- Spülung des Systems mit Nullgas

2. Main-Test

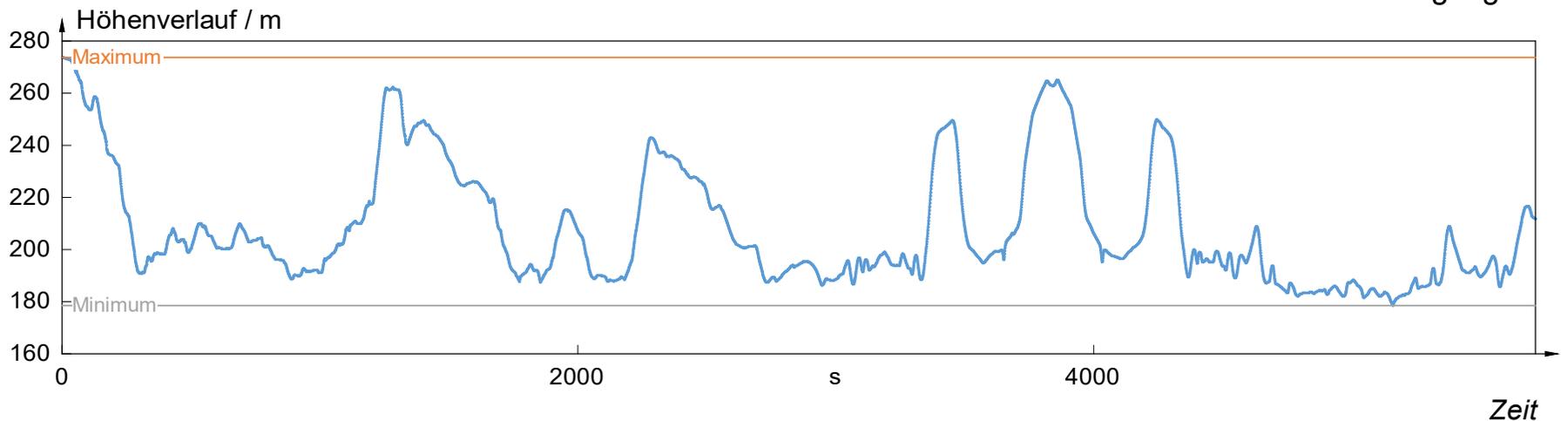
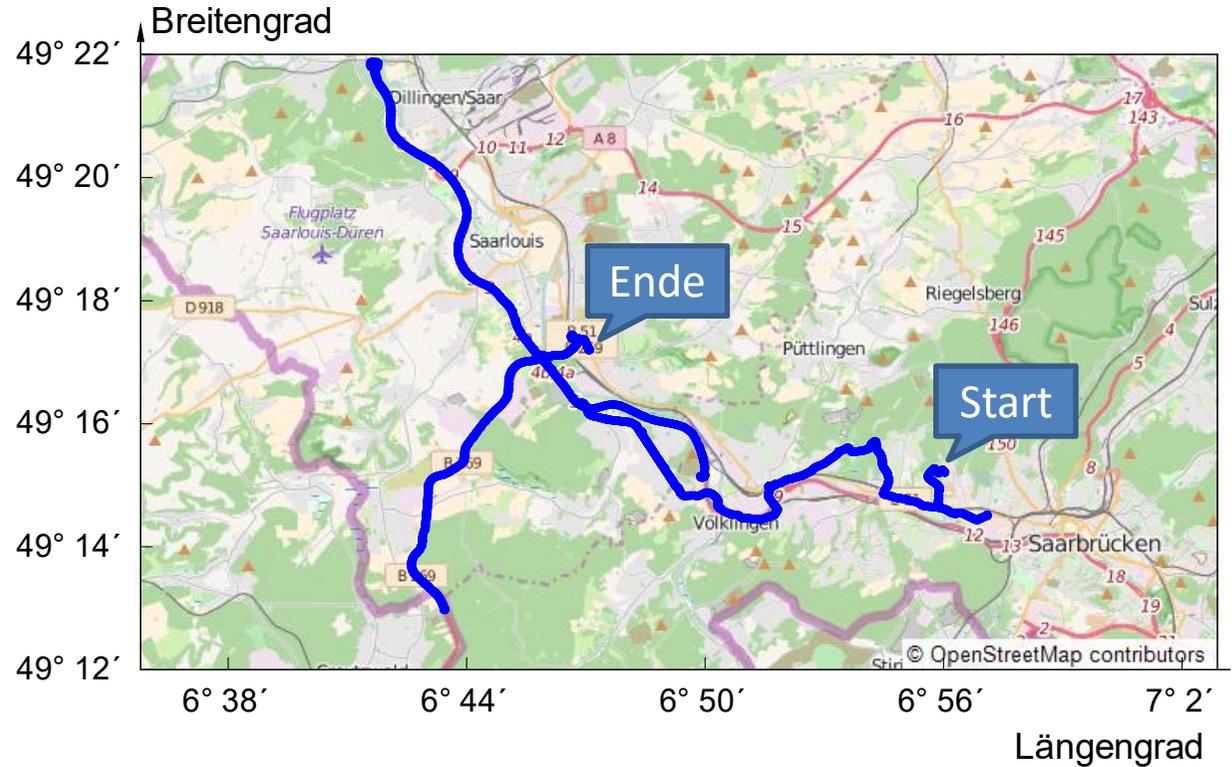
- Testprofil:
 - => Straße (RDE)
 - => oder Rollenprüfstand (WLTC oder NEFZ)
- Messung der Abgaswerte über PEMS

3. Post-Test

- Driftmessung der Sensorik
- Abschließende Spülung zur Re-konditionierung

RDE-Strecke

- RDE-Strecke im Saarbrücker Raum
- Startpunkt am Rollenprüfstand der HTW



Überprüfung Streckenanforderung RDE-Fahrt

softwaregestützt mit:
AVL „Concerto for PEMS“ Version 4.8 Build 72

Trip Requirements		Urban	Rural	Motorway	Total
Velocity Thresholds	km/h	[1-60[[60-90[[90- ...	
ave Velocity ECU	km/h	27.4	74.5	102.5	49.3
share <= 1km/h; minutes >= 100 km/h		11 %		11.9 min	
Trip Share ECU Distance	%	34.8	32.4	32.8	
Distance ECU	km	27.18	25.27	25.61	78.07
Duration	min	60	20	15	95
Max. Velocity	km/h			118.0	
% Velocity 145 - 160 km/h (max 3%)				0	

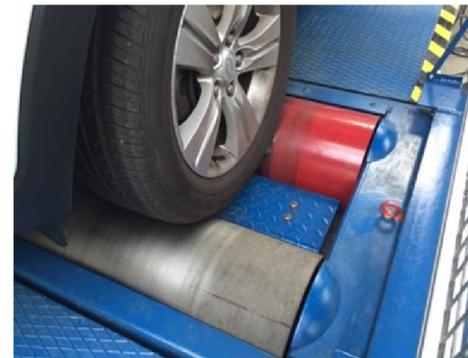
Gesetzliche begrenzte Vorgaben sind farblich markiert und werden bei Erfüllung mit grün oder bei nicht-Erfüllung mit rot eingefärbt.

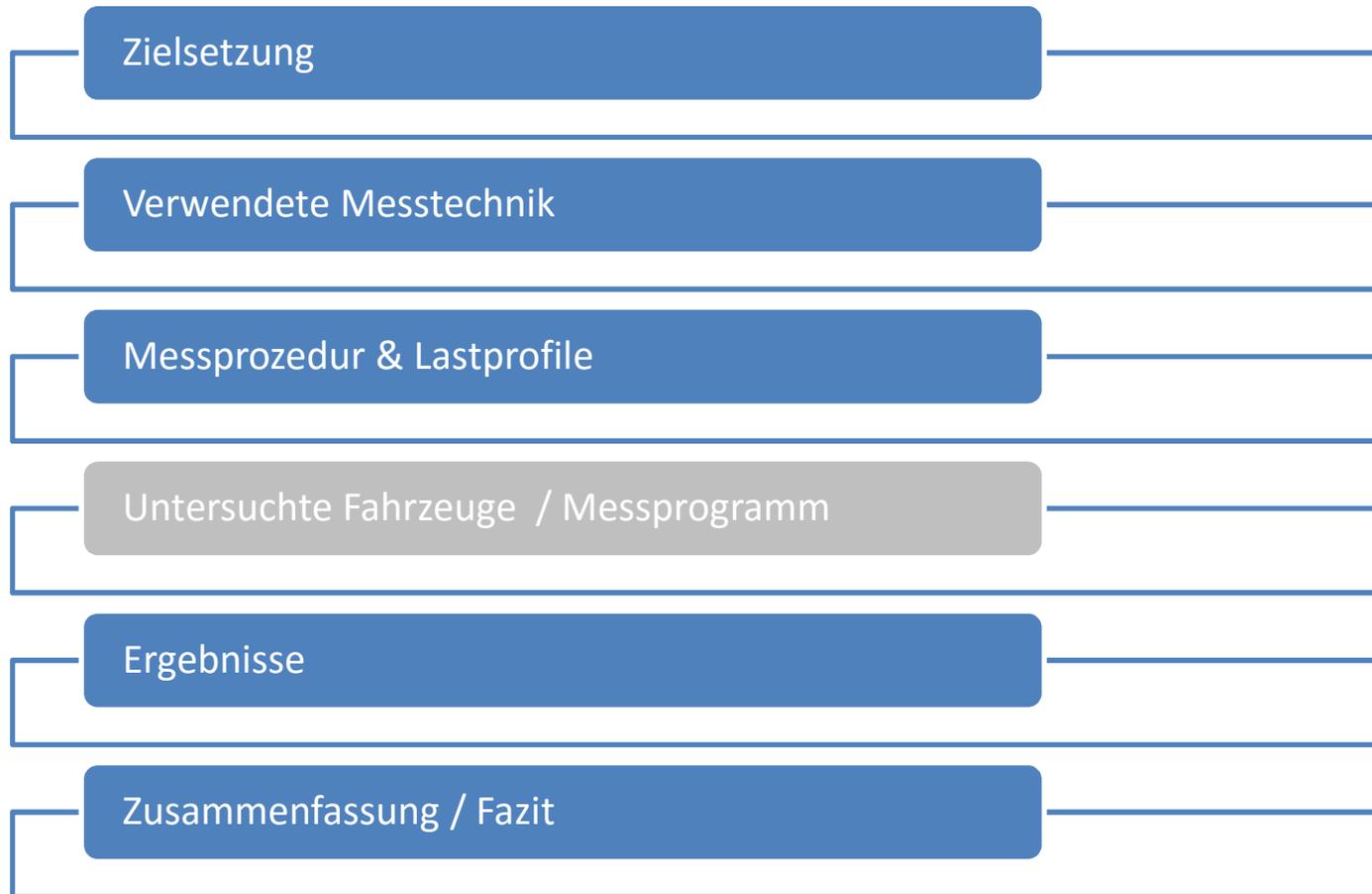
MAHA Rollenprüfstand LPS 2000



Messfertige Aufspannung des Fahrzeuges auf dem Rollenprüfstand

- Fahrwiderstandsbeaufschlagung entsprechend Zyklusvorgabe (bis 260kW)
- Radial Luftkühlgebläse 23000 m³/h
- PC-basierte Fahrprofilführung mit *DASYLab*







Hersteller/ Modell (LPG-System)	<i>Opel Astra J 1.4 Turbo (Landirezzo OMEGAS +)</i>	<i>Opel Astra J 1.6 CDTi</i>	<i>Skoda Octavia 1.8 TFSI (Prins Liquimax)</i>	<i>Kia Sportage 1.6 GDI (GFI E.z. LGI)</i>
Motortyp	A14NET	B16DTH	CJSA	-
Treibstoff / Kraftstoffsystem	Benzin/LPG PFI	Diesel CR	Benzin PFI und Benzin/LPG DI	Benzin/LPG DI
Abgasnorm	Euro 5	Euro 6	Euro 6	Euro 5
Abgasnachbehandlungs- systeme	3-Wege-Katalysator	DOC, DPF, NSK	3-Wege-Katalysator	3-Wege-Katalysator
Hubraum (cm³)	1364	1598	1798	1591
Leistung (kW)	103	81	132	99
Drehmoment (Nm)	200	300	250	164
Aufladung	ja	ja	ja	nein
Leergewicht (kg)	1613	1613	1352	1502
Antrieb	Front	Front	Front	Front
Getriebe / Anz. Gänge	Manuell / 6	Manuell / 6	DSG / 7	Manuell / 6
Erstzulassung	01.01.2013	01.03.2016	01.02.2015	01.04.2014
Kilometerstand (km)	70.625	11.139	73.746	27.265
VIN	WOLPE8E43D8025636	WOLPD8E62G8049449	TMBJD7NE7E0034398	U5YPC814ADL369747

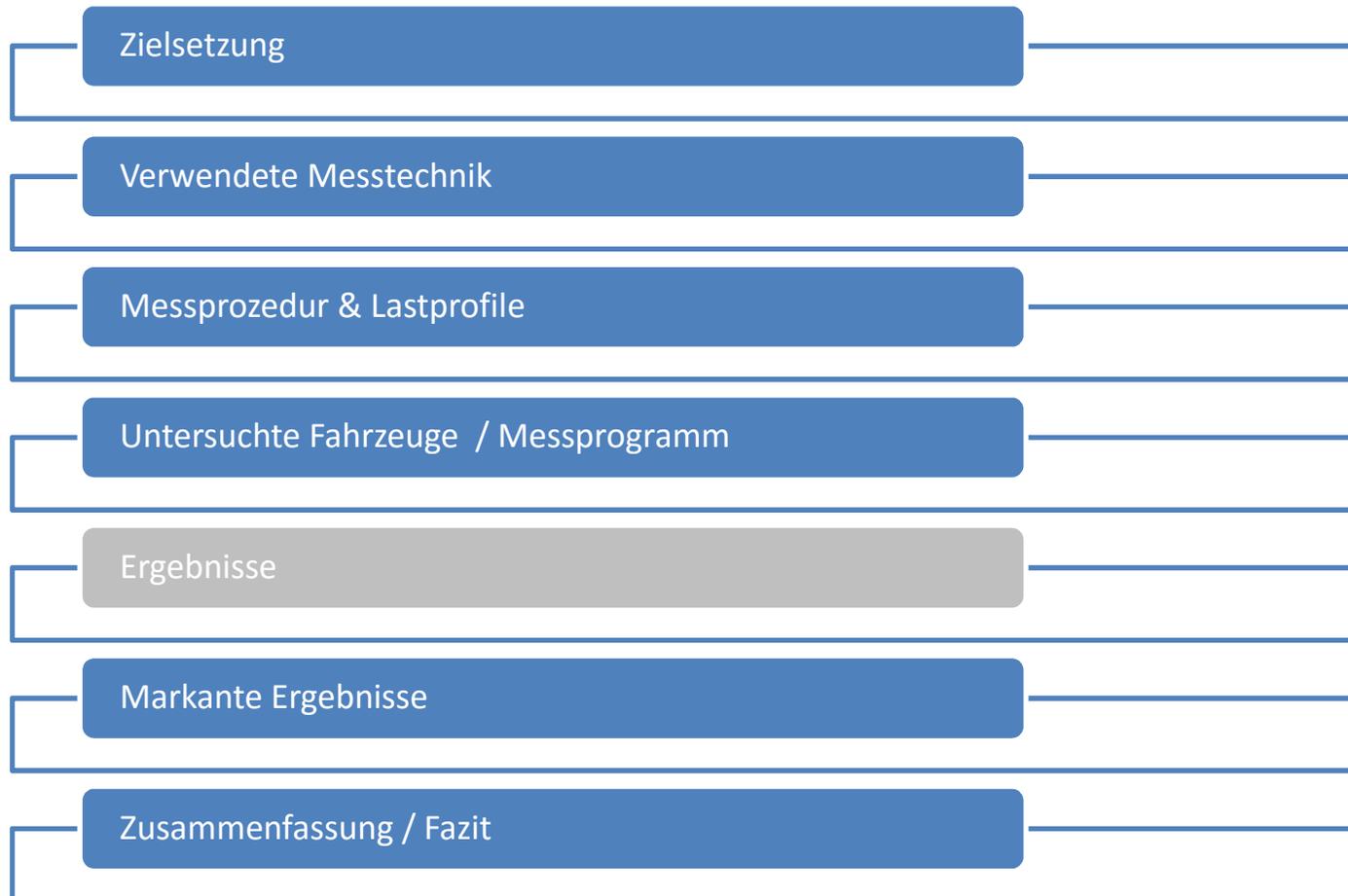


Durchgeführte Messungen

RDE-Fahrten nach EU 2016/427 (10.03.2016)
 WLTC-Fahrten: Zyklus entsprechend UN GTR 15
 NEFZ: ergänzend, falls erforderlich bzw. möglich

Fahrzeug	Kraftstoff	WLTC	RDE	NEFZ
Skoda Octavia PFI/DI Otto	LPG	7	3	3
	Benzin	3	3	3
Opel Astra EcoFlex Otto	LPG	4	3	0
	Benzin	3	3	0
Opel Astra EcoFlex Diesel	Diesel	3	5	5
Kia Sportage DI Otto	LPG	3	3	2
	Benzin	3	3	2

Im Sinne der Übersichtlichkeit werden in Folge nur die Mittelwerte aus den jeweiligen Meßreihen dargestellt



Vorbemerkung: Verwendete Grenzwerte für reale CF- Berechnung

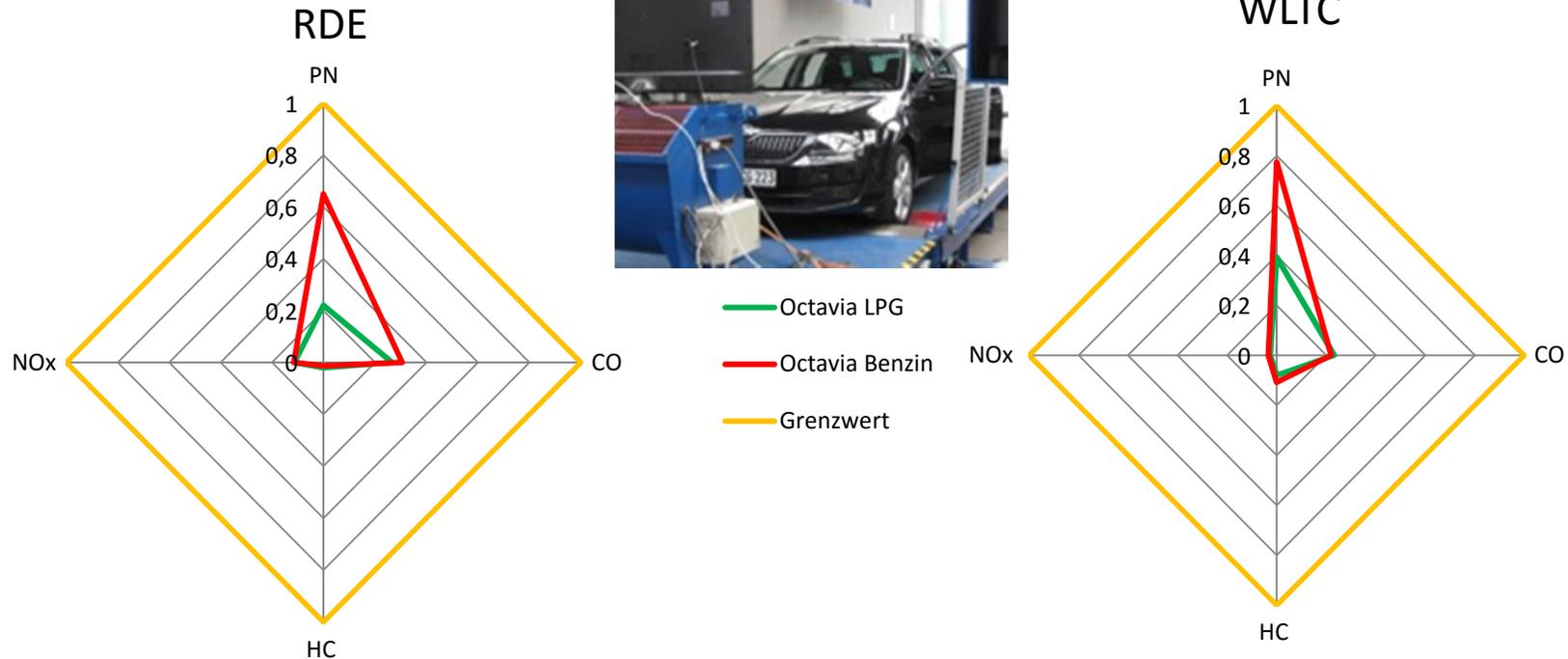
Zur leichten Einordnung und einem besseren Vergleichbarkeit der Emissionsmessungen wurden im folgenden alle Meßergebnisse in reale gemessene **Konformitätswerte (bzw. -faktoren CF, compliance factor)** umgerechnet. Hierzu wurden die Messwerte auf die zulässigen Grenzwerte normiert. Es wurden Grenz- bzw. Normierungswerte entsprechend der folgenden Tabelle verwendet. Dazu musste für Diesel EU6 der Summengrenzwert HC + NOx mit einem eigenen Ansatz aufgeteilt werden.

	Otto EU5/EU6c	Diesel EU6
NOx [g/km]	0,060	0,08*
HC [g/km]	0,10	0,09*
CO [g/km]	1	0,5
PN [# /km]	6E+11	6E+11

*Teilungsansatz nicht nach EU6

Fahrzeugbezogener Vergleich Skoda Octavia (CF normiert)

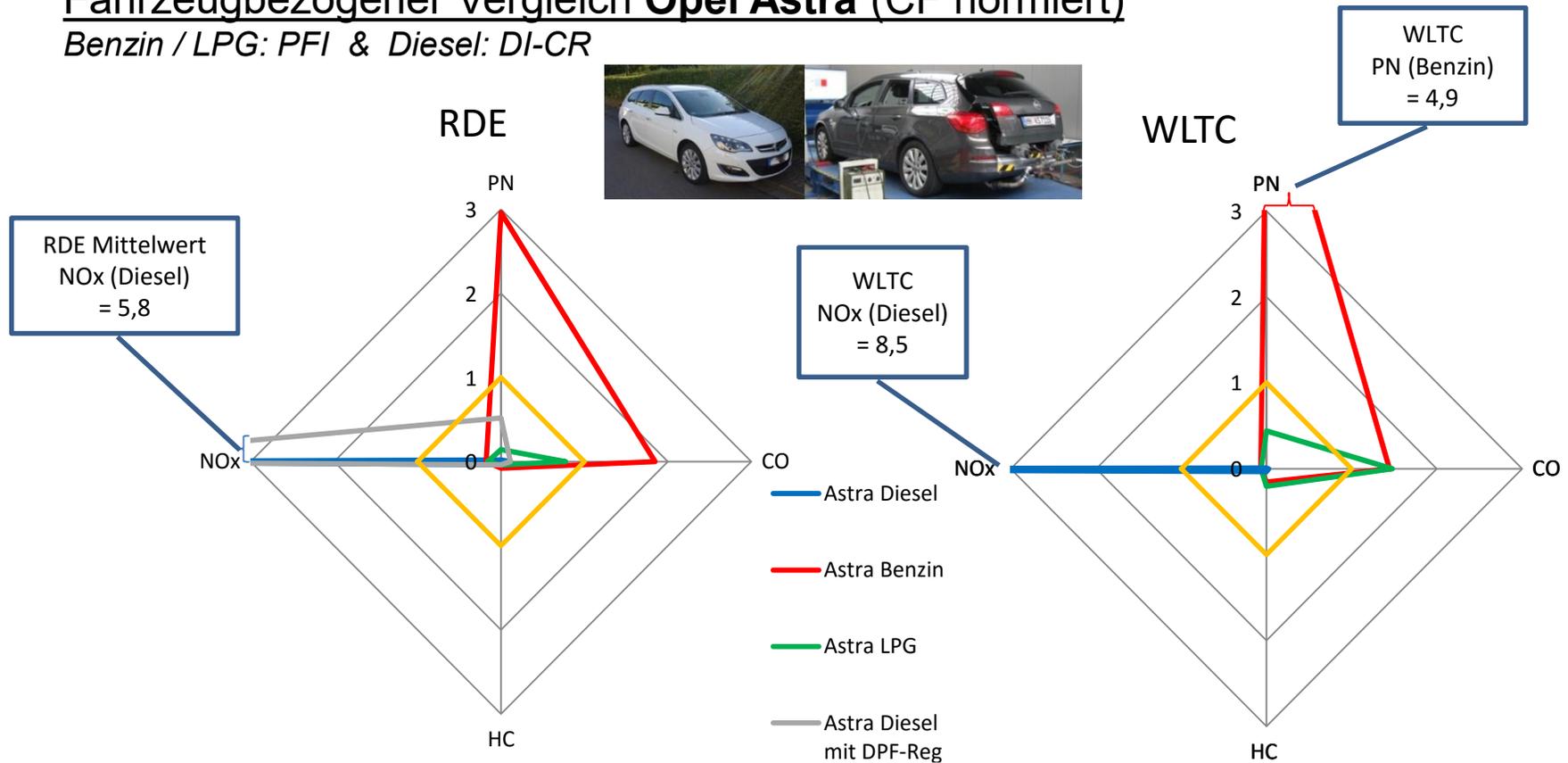
DI: Benzin / LPG; PFI: Benzin



- sowohl im RDE wie im WLTC werden alle Grenzwerte souverän eingehalten.
- alle gasförmigen Schadstoffemissionen liegen bei < 40% des Grenzwerts
- LPG-Betrieb reduziert die Partikelanzahl um 50 ... 70% (trotz anteiliger Benzin-Saugrohreinjection (PFI) bei LPG-Betrieb)

Fahrzeugbezogener Vergleich Opel Astra (CF normiert)

Benzin / LPG: PFI & Diesel: DI-CR



- NOx
 - Diesel: sowohl im RDE wie im WLTC 5,8 ... 8,5 fache NOx-Grenzwertüberschreitung
 - Benzin/LPG: NOx-Emissionen unterhalb 17% des Grenzwerts
- Die CO-Emissionen beim Benzin/LPG Betrieb liegen in der Nähe des zulässigen Grenzwerts
- LPG-Betrieb reduziert die Partikelanzahl auch bei einem PFI System hier um 90 ... 95%
- Der Partikelfilter (DPF) hält Partikel beim Diesel Astra wirksam zurück, werden DPF Regenerationen im RDE berücksichtigt, liegt die PN 3,6 fach höher als beim LPG-betriebenen Fahrzeug (Erläuterung folgt)



Fahrzeugbezogener Vergleich Kia Sportage (CF normiert)

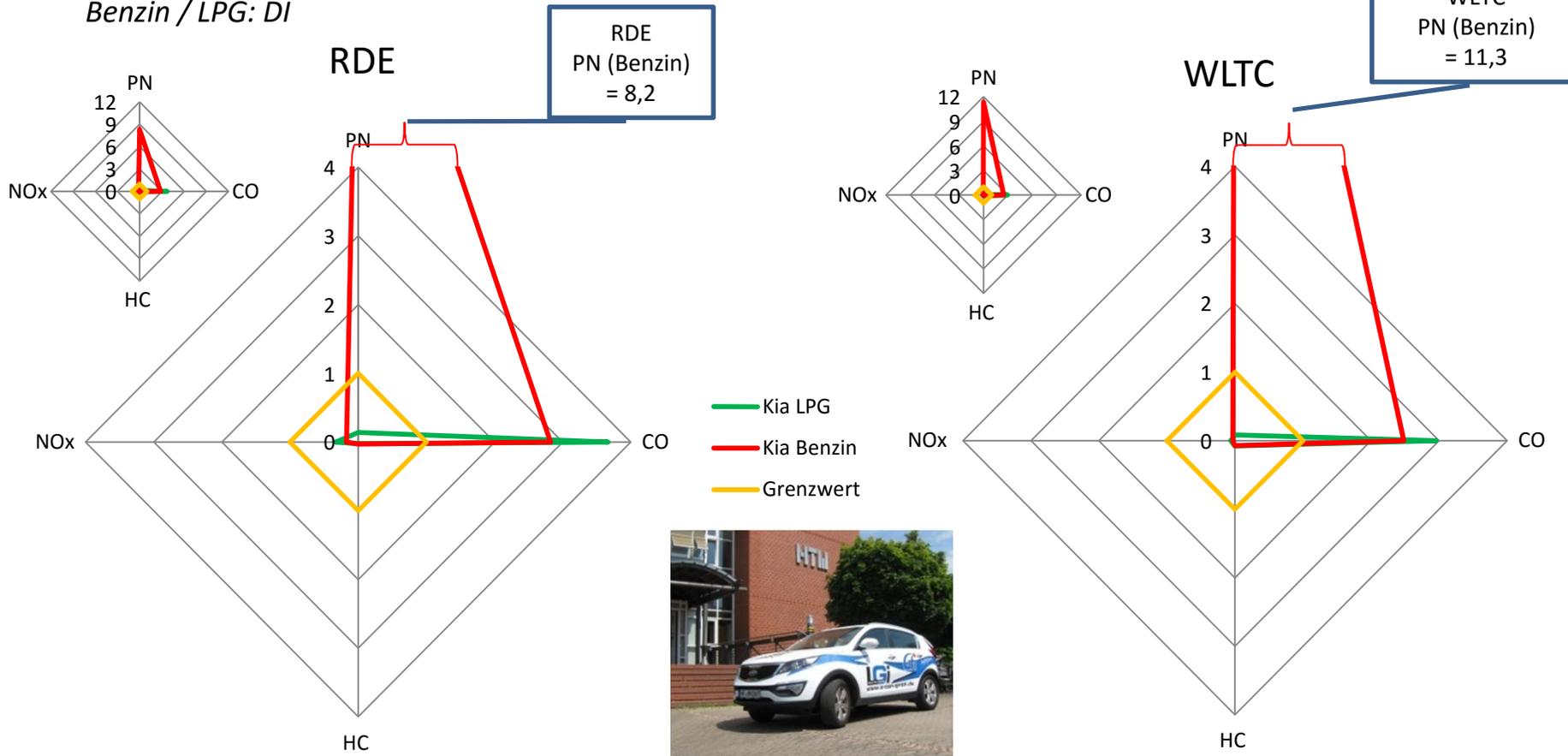
Benzin / LPG: DI



- Bei einem DI-Ottomotor wird durch LPG-Betrieb die Partikelanzahl sehr deutlich reduziert, hier um ca. 99%
- Die NOx-Emissionen liegen bei < 1/3 des Grenzwerts
- Der CO-Grenzwert wird nur im RDE und WLTC ca. 3-fach überschritten, dies deutet auf eine NEFZ-Homologation des Wagens

Fahrzeugbezogener Vergleich Kia Sportage (CF normiert)

Benzin / LPG: DI

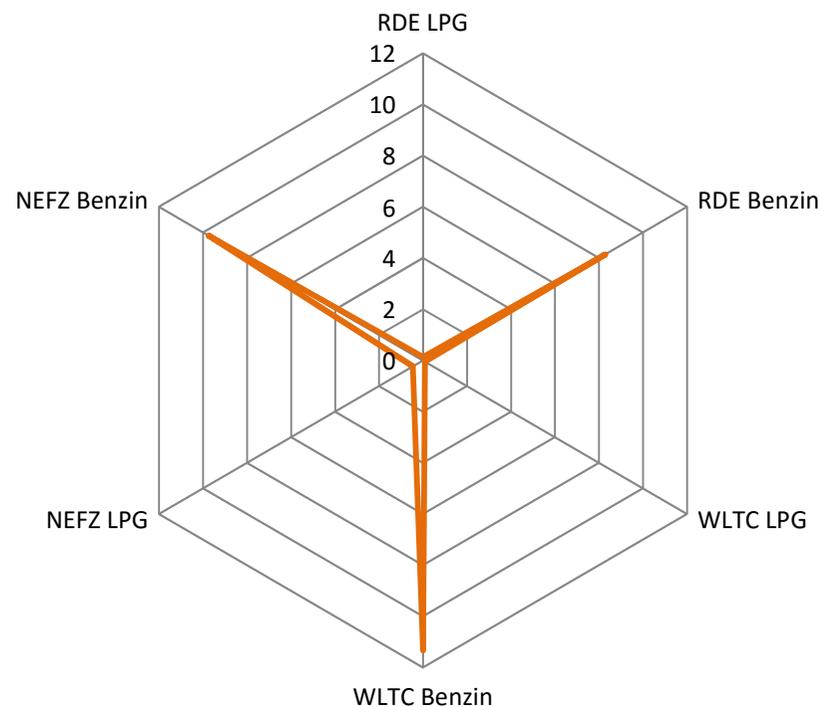


- Bei einem DI-Ottomotor wird durch LPG-Betrieb die Partikelanzahl sehr deutlich reduziert, hier um ca. 99%
- Die NOx-Emissionen liegen bei < 1/3 des Grenzwerts
- Der CO-Grenzwert wird nur im RDE und WLTC ca. 3-fach überschritten, dies deutet auf eine NEFZ-Homologation des Fahrzeugs

RDE, WLTC und NEFZ

Partikelemission PN Kia Sportage (CF normiert)

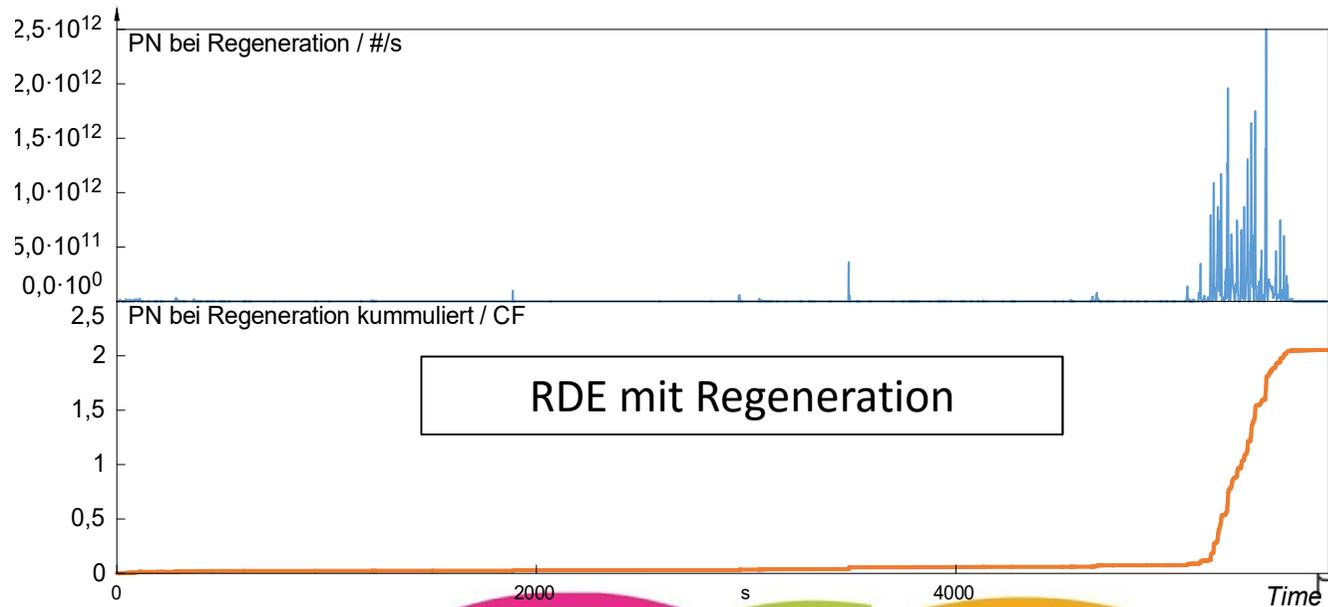
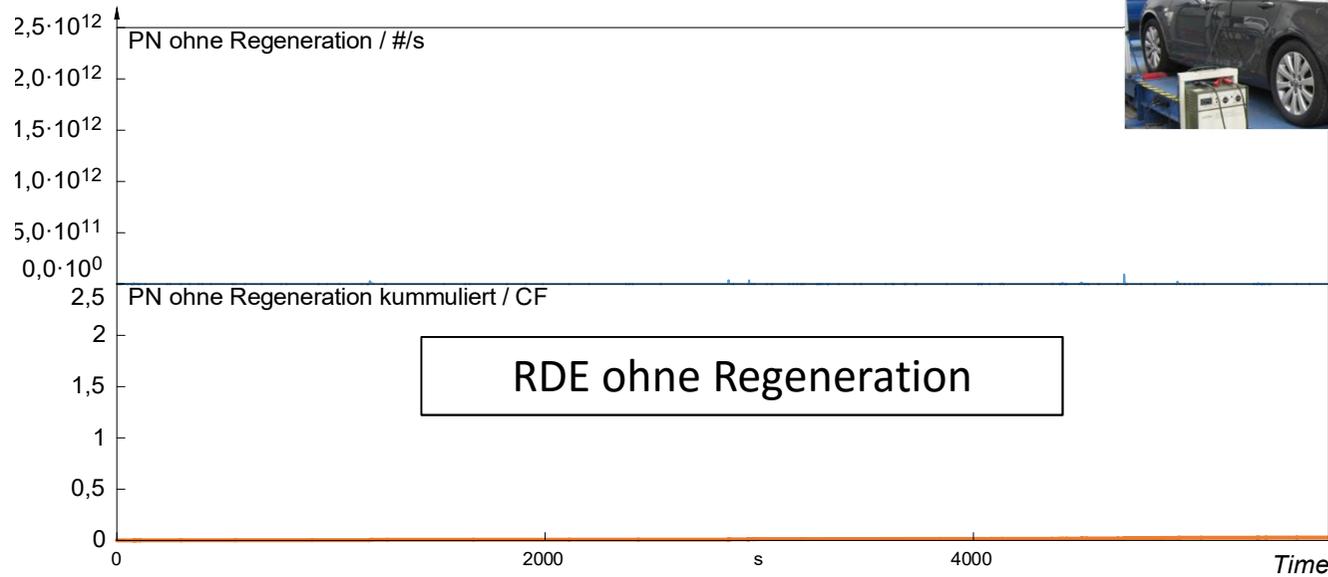
Benzin / LPG: DI



- Der LPG-Betrieb eines DI-Ottomotors im Kia Sportage reduziert den Partikel- ausstoß bzgl. der Partikelanzahl PN im Durchschnitt um 99%.
- Dies gilt unabhängig vom Fahrtest im RDE, WLTC oder NEFZ
- Damit können durch den Betrieb mit Autogas insbesondere bei DI-Otto- motoren EU6c PN-Grenzwerte ohne hohen Aufwand sicher erreicht werden.

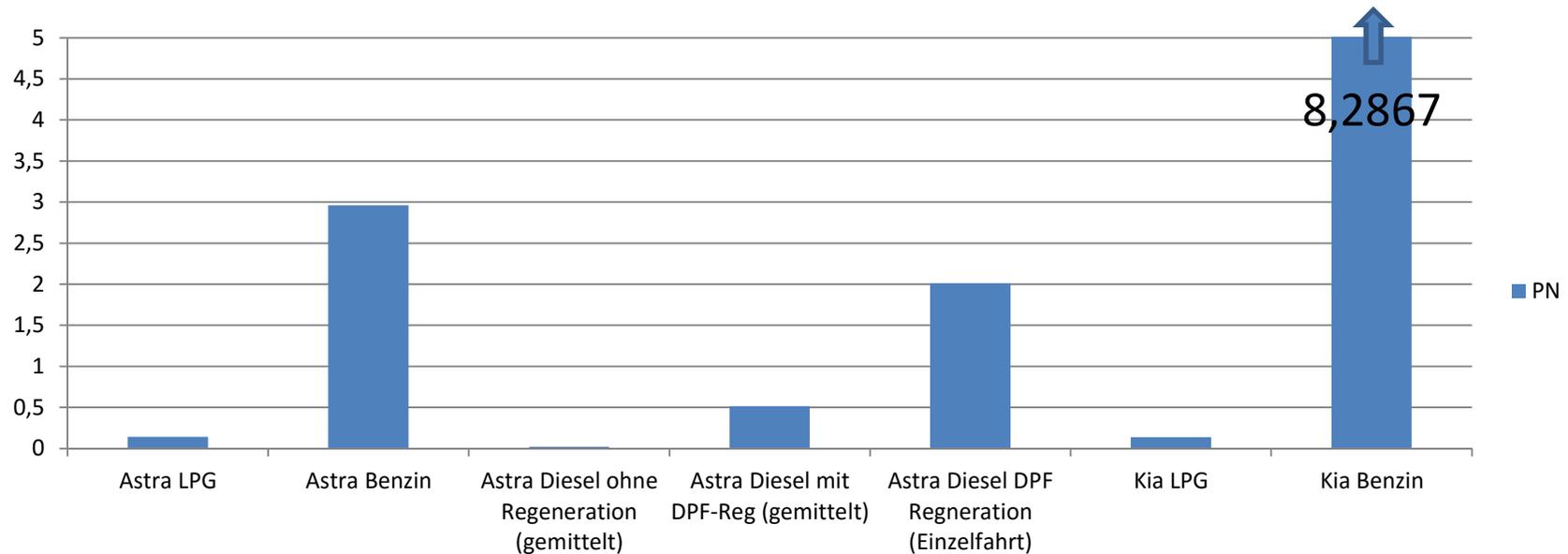


RDE-Fahrten mit Partikelfilter (DPF)



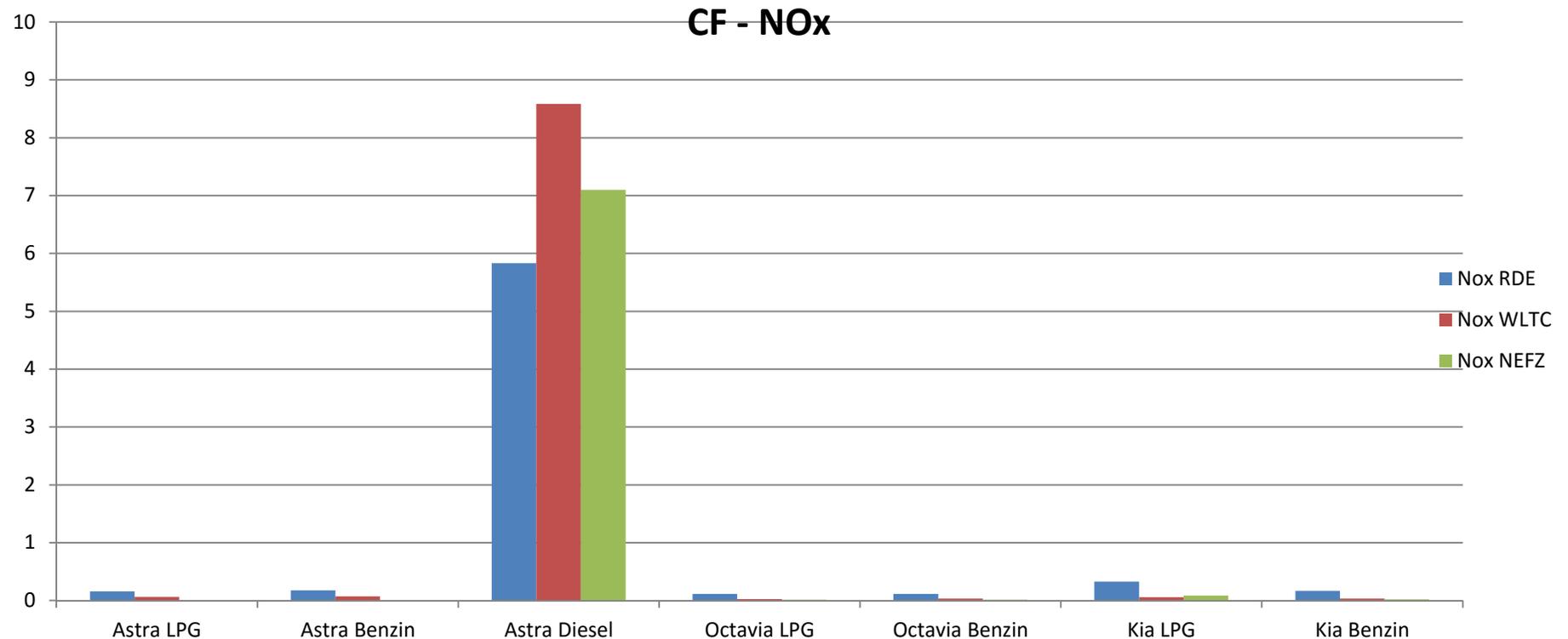
RDE-Fahrten mit Partikelfilter (DPF)

PN im Verhältnis zum Grenzwert Euro 6c



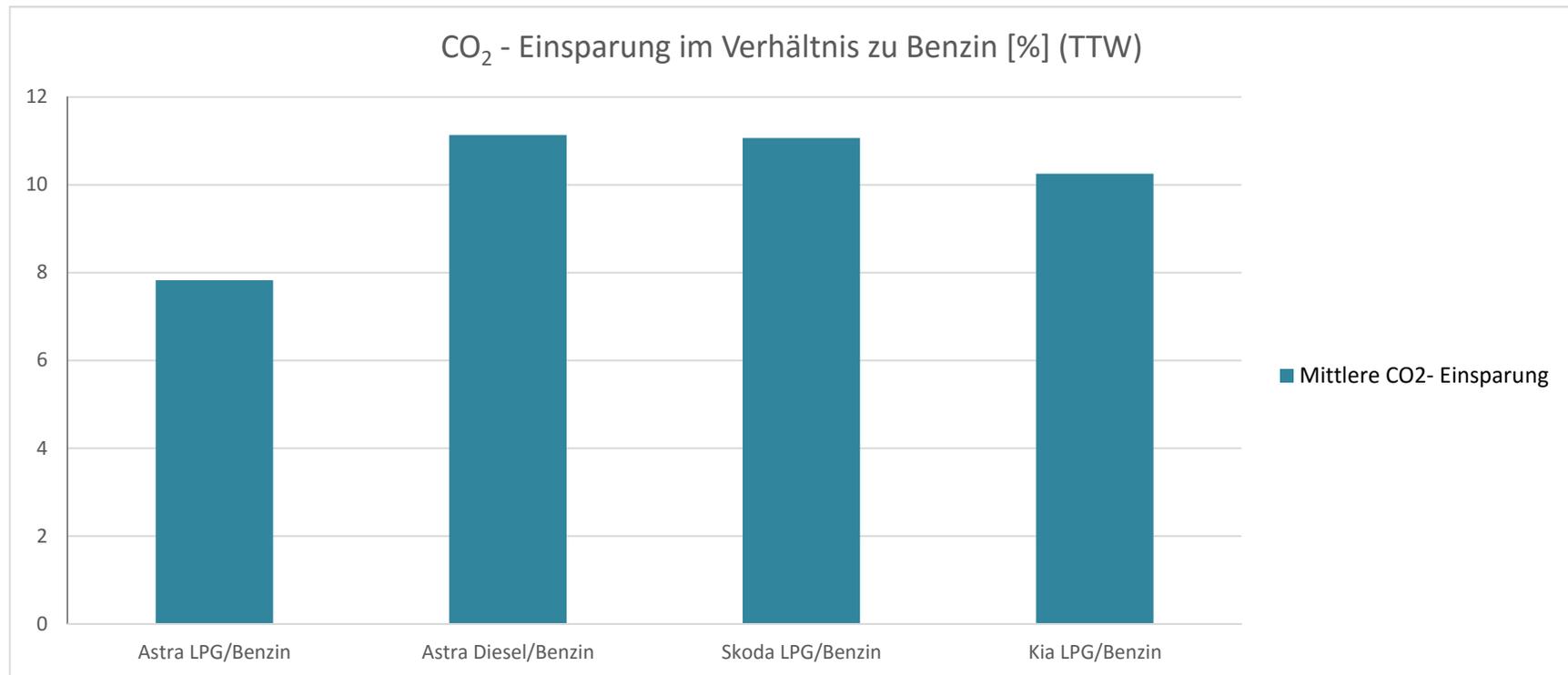
- Der Partikelfilter (DPF) hält Partikel beim Diesel Astra wirksam zurück
- Werden DPF Regenerationen im RDE berücksichtigt, liegt die PN 3,6 fach höher als bei LPG-betriebenen Fahrzeugen

Vergleich der NO_x-Emissionen aller Fahrzeuge in RDE,WLTC und NEFZ im Verhältnis zum Grenzwert EU6c

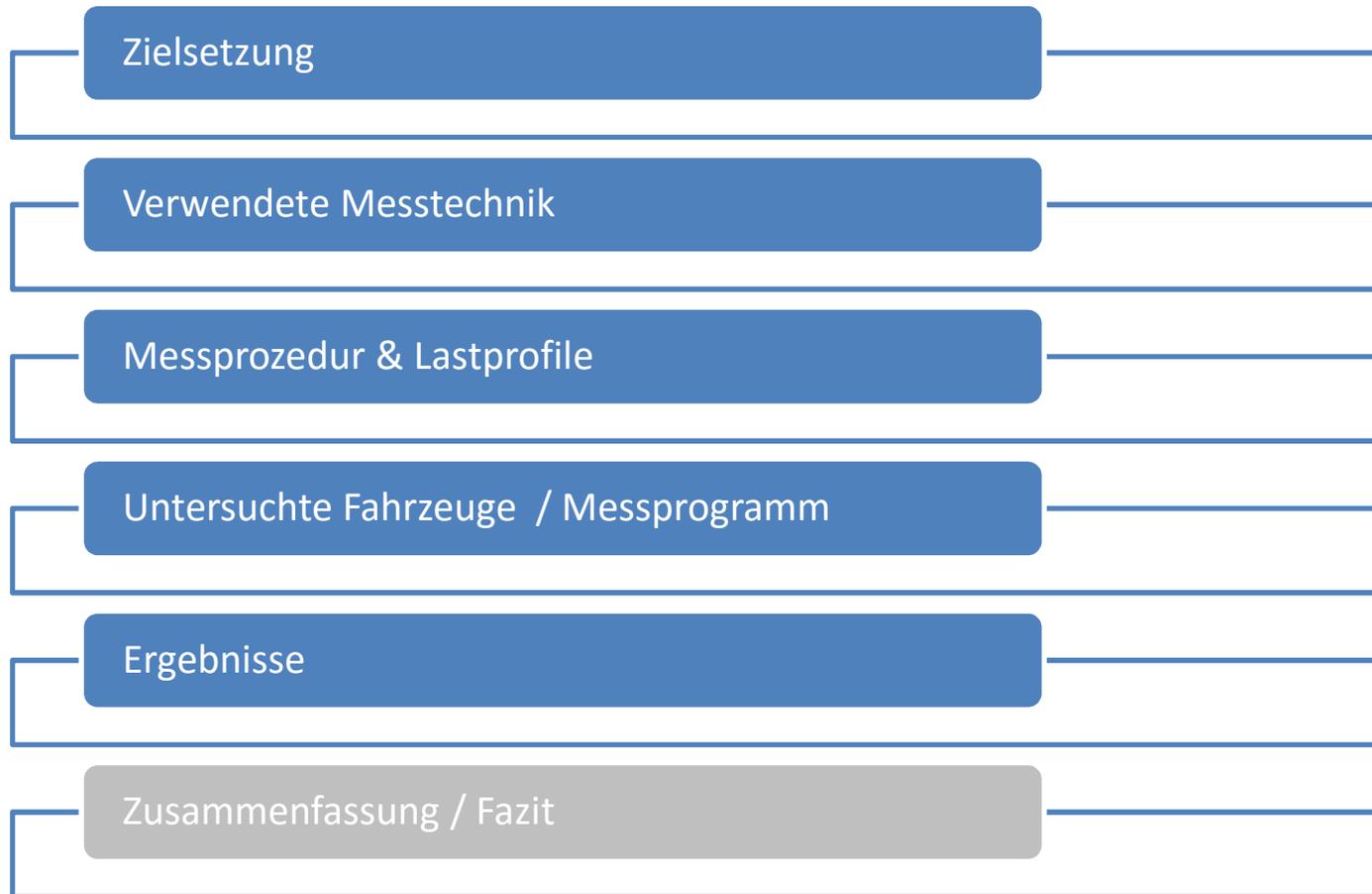


- **Das Diesel-Fahrzeug überschreitet bei allen Messungen die Grenzwerte für NO_x deutlich**
Die Überschreitungsfaktoren lagen bei: RDE 5,8 / WLTC 8,5 / NEFZ 7
- **Hingegen, Fahrzeuge mit Ottomotoren lagen im Test deutlich unter dem Grenzwert sowohl bei Autogas- wie auch bei Benzinbetrieb**

CO₂ – mittlere Einsparung gegenüber Benzinbetrieb, Mittelwerte über alle Tests



- **Der LPG-Betrieb emittierte Tank-to-Wheel (TTW) im Durchschnitt aller Tests 9,7 % weniger CO₂ als der Benzinbetrieb.**
 - **Das Dieselfahrzeug erreichte im Vergleich zum Benzinbetrieb eine mittlere TTW Einsparung von 11% CO₂.**
- (Hinweis: Für eine korrekte Bewertung des globalen Treibhausgaseffekts müssen in einer WTW-Aussage differenzierte Vorkettenemissionen berücksichtigt werden)



Zusammenfassung I

Es wurden EU5/EU6 Pkw bei Betrieb mit Autogas, Benzin und Diesel verglichen. Die Tests erfolgten bei realen Straßenfahrten im RDE, bei Fahrzeugrollentests im WLTC und teilweise auch im NEFZ. Aus den Messungen können die folgenden Aussagen abgeleitet werden:

1. Die gemessenen NO_x-Emissionen des Dieselfahrzeugs, Opel Astra 1.6 CDTi, lagen durchschnittlich um einen Faktor 7 oberhalb des zulässigen Grenzwerts und um einen Faktor > 50 höher als bei den Pkw mit Ottomotoren bei Autogas- oder Benzinbetrieb.
2. LPG-Betrieb reduziert bei Ottomotoren den Partikelausstoß bzgl. der Partikelanzahl PN bei Saugrohr- und DI-Einspritzung um 90 ... 99%. Somit können durch den Betrieb mit Autogas insbesondere bei DI-Ottomotoren EU6c PN-Grenzwerte sicher erreicht werden.
3. Beim Diesel Opel Astra werden Partikel vom DPF sehr wirksam zurückgehalten. Die PN liegt jedoch 3,6-fach höher als bei einem entsprechenden LPG-betriebenen Opel Astra, wenn im RDE die DPF-Regenerationen mit berücksichtigt werden.

Zusammenfassung II - Lösungsansätze

Problem	Lösungsansatz
NOx	Ottomotor mit Drei-Wege-Katalysator
DI-Ottomotor: Partikel	niedrig siedende Kraftstoffe
CO ₂	<u>Kraftstoffeigenschaften:</u> <ul style="list-style-type: none">- geringerer energiespezifischer Kohlenstoffgehalt (WTT Vorketten CO₂-Äquivalente berücksichtigen!)- erhöhte Klopfestigkeit- geringere Vorentflammungsempfindlichkeit

→ Ein prädestinierter und kostengünstiger Lösungsansatz:

**Autogasantrieb
mit DI-Ottomotor und Drei-Wege-Katalysator**

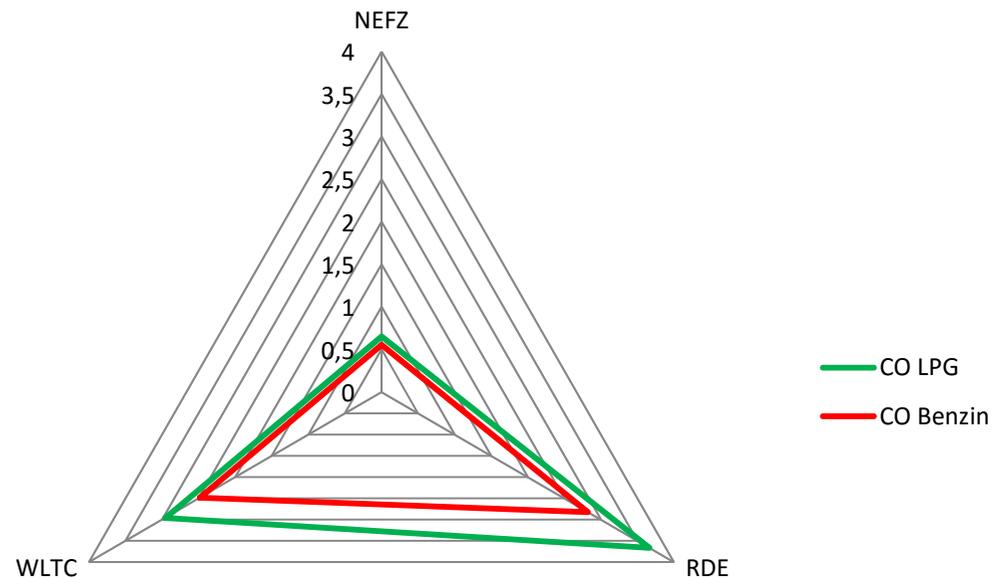


Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



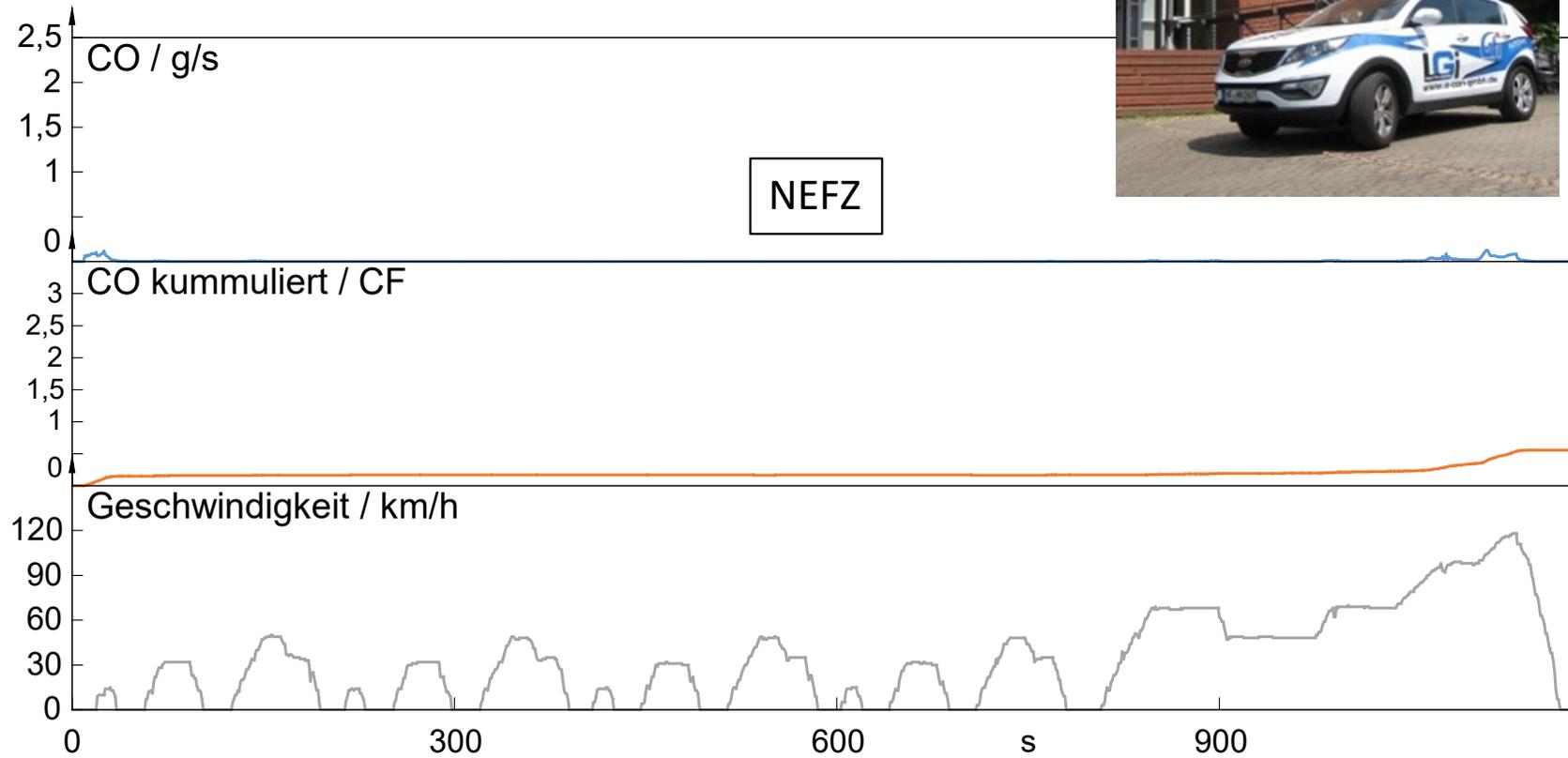
Backup



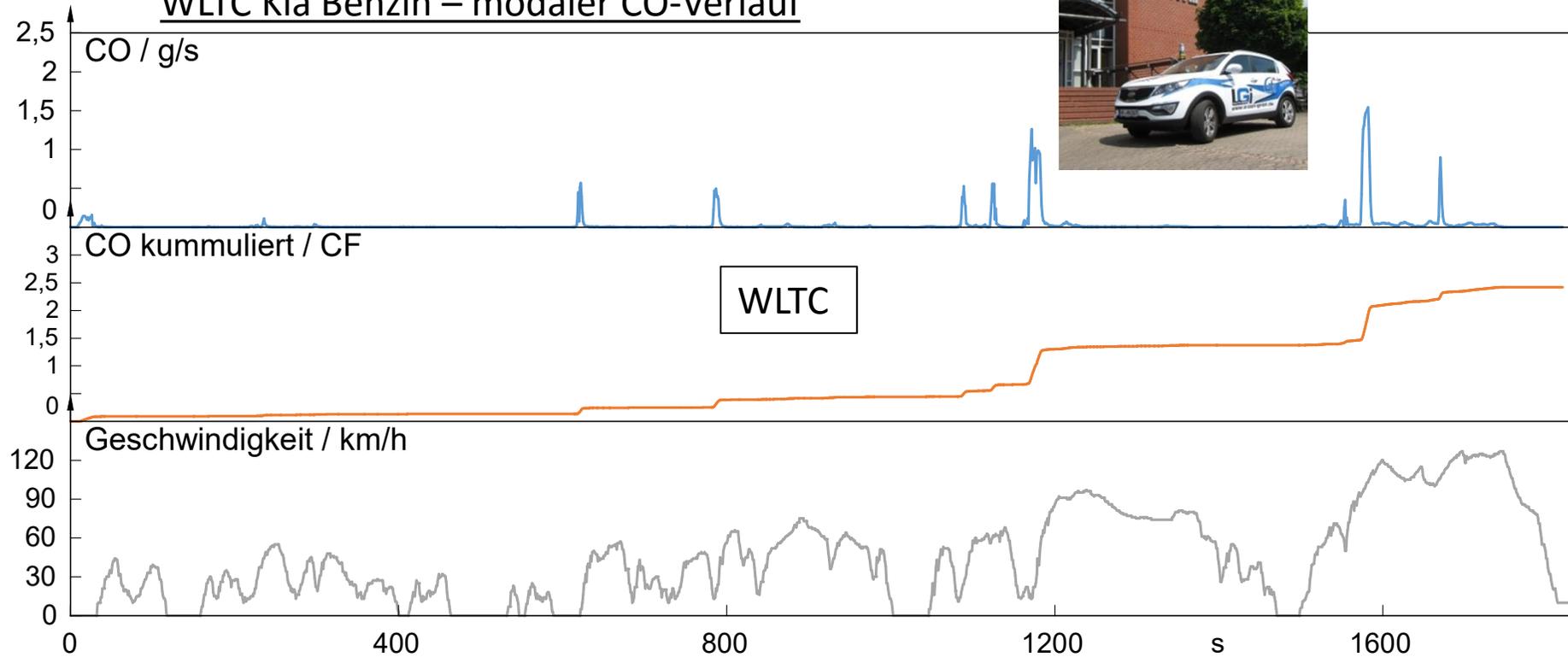
Kia Sportage – CO Problematik**Kia Sportage CO-Emissionen (CF normiert)**

- Der CO-Grenzwert wurde sowohl bei Autogas- und Benzinbetrieb im RDE wie auch im WLTC ca. 3-fach überschritten.
- Messungen im NEFZ - auf den das Fahrzeug auch homologiert wurde – zeigten jedoch, dass im NEFZ die Grenzwerte sicher eingehalten werden.
- Die CO-Überhöhungen lassen sich auf höhere Hochlastanteile im RDE und WLTC zurückführen. Diese fallen bei einem relativ geringen Hubraum in Relation zur Fahrzeuggröße bei nicht aufgeladenen Motoren übermäßig stark ins Gewicht.

Kia Sportage – CO Problematik

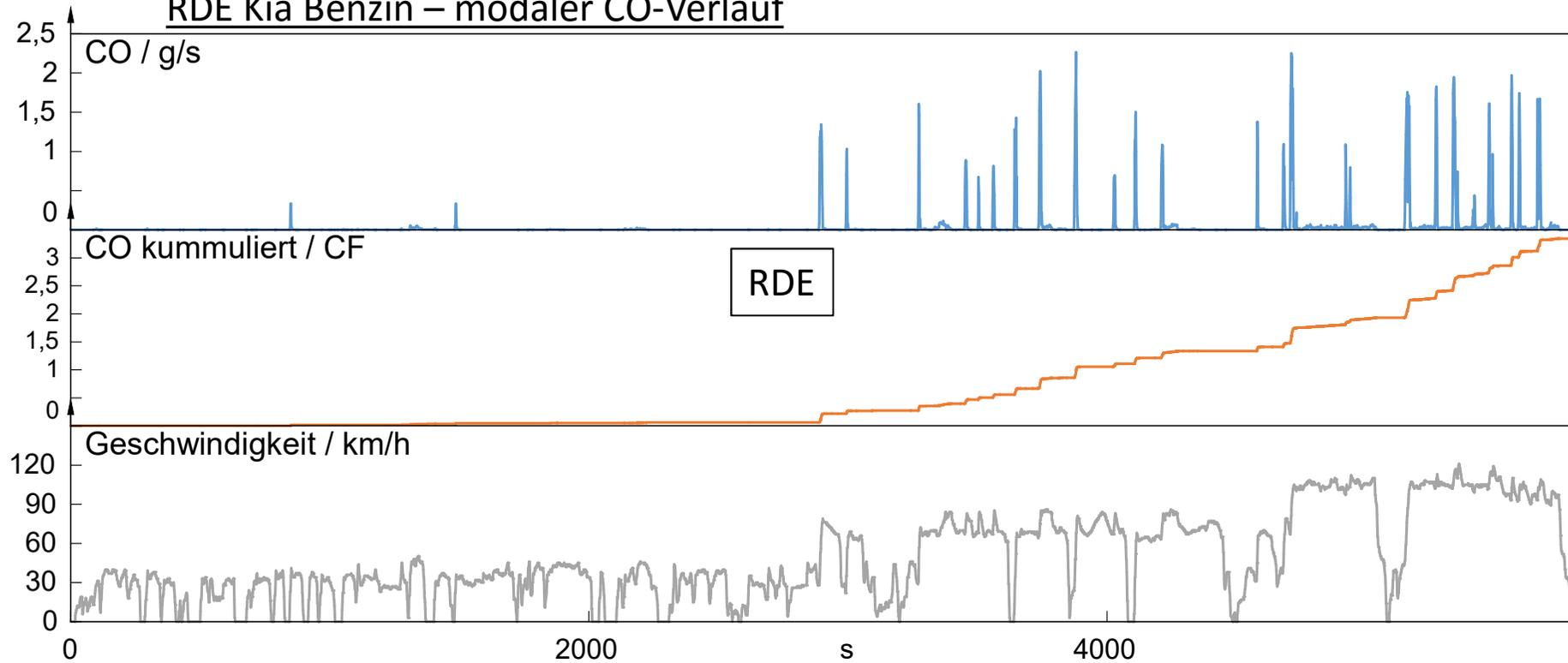


WLTC Kia Benzin – modaler CO-Verlauf



- Deutlich stärkere Anfettung im WLTC als im NEFZ

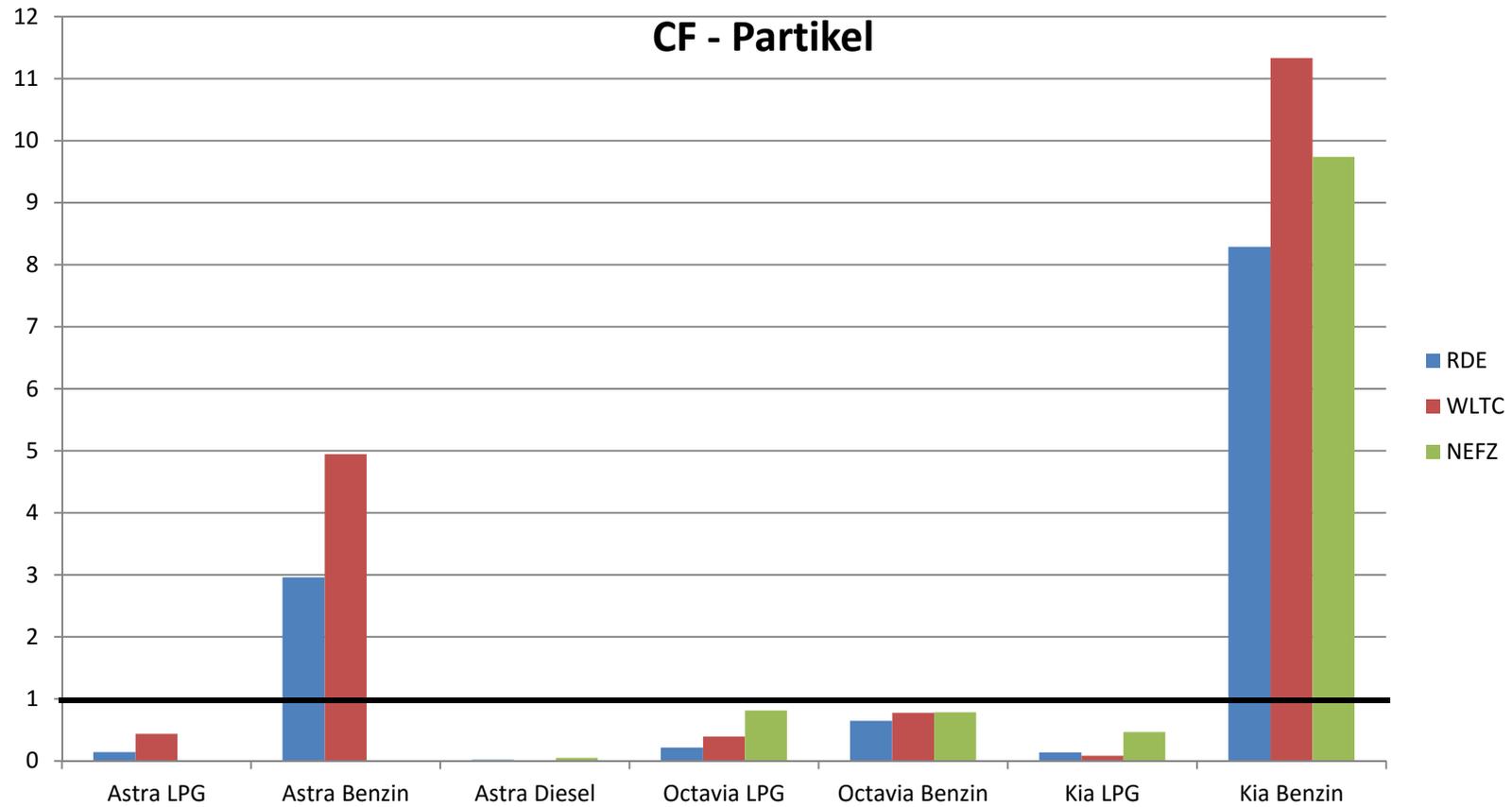
RDE Kia Benzin – modaler CO-Verlauf



- Deutlich stärkere Anfettung im RDE als im NEFZ



Auffälligkeiten bei den Partikelemissionen



Vergleich der Partikelemissionen aller Fahrzeuge in RDE, WLTC und NEFZ im Verhältnis zum Grenzwert EU6c

