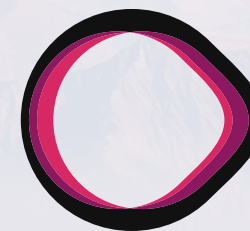




Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE



OST

Ostschweizer
Fachhochschule

Nutzung von LBG (Liquefied Biogas) für den Schweizer Schwerlasttransport

Projekt "HelloLBG"

Prof. Dr. Elimar Frank, Zoe Stadler (IET), Fabian Ruoss (IET)
FOGA Forschungstag, 02. September 2021



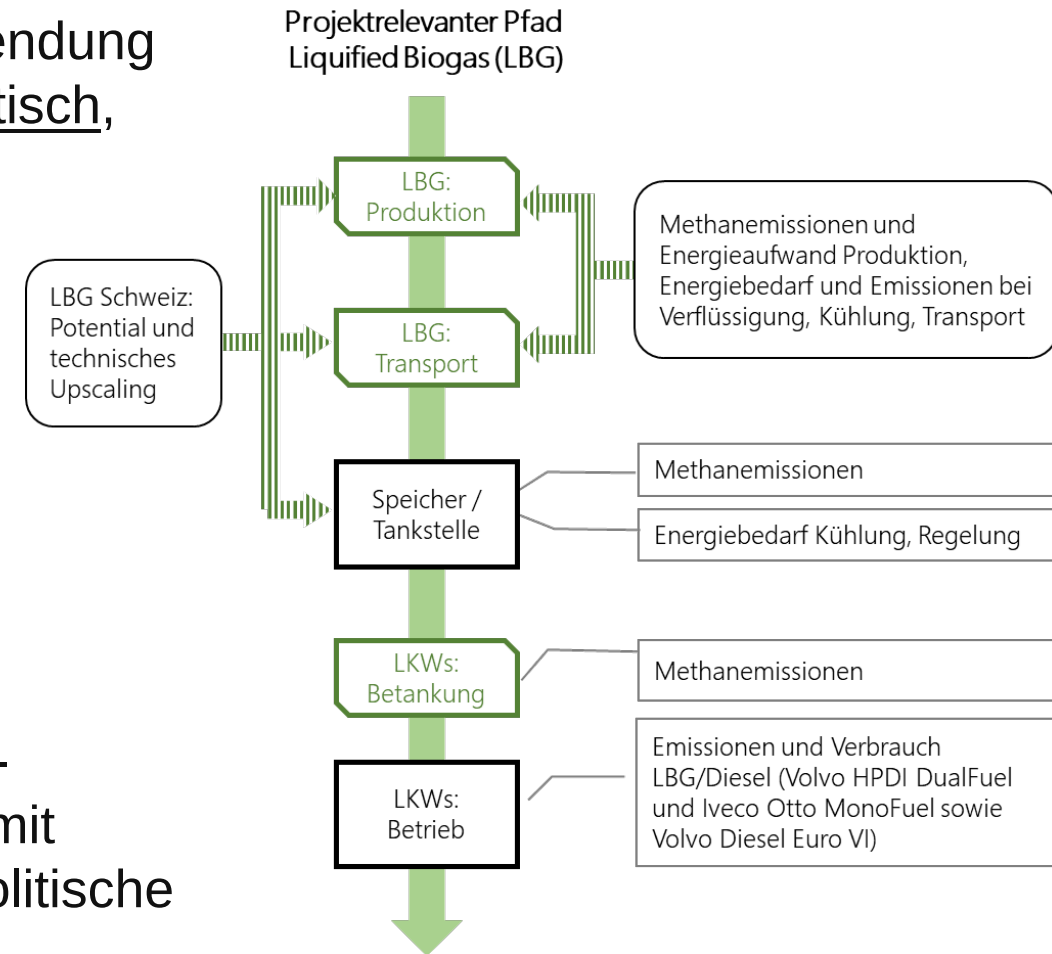
werz INSTITUT FÜR WISSEN
ENERGIE UND ROHSTOFFE ZUG

Einleitung

Das Projekt HelloLBG

Zentrale Frage: Unter welchen Bedingungen die Verwendung von LBG für den Schweizer Schwerlastverkehr energetisch, technisch und ökonomisch sinnvoll?

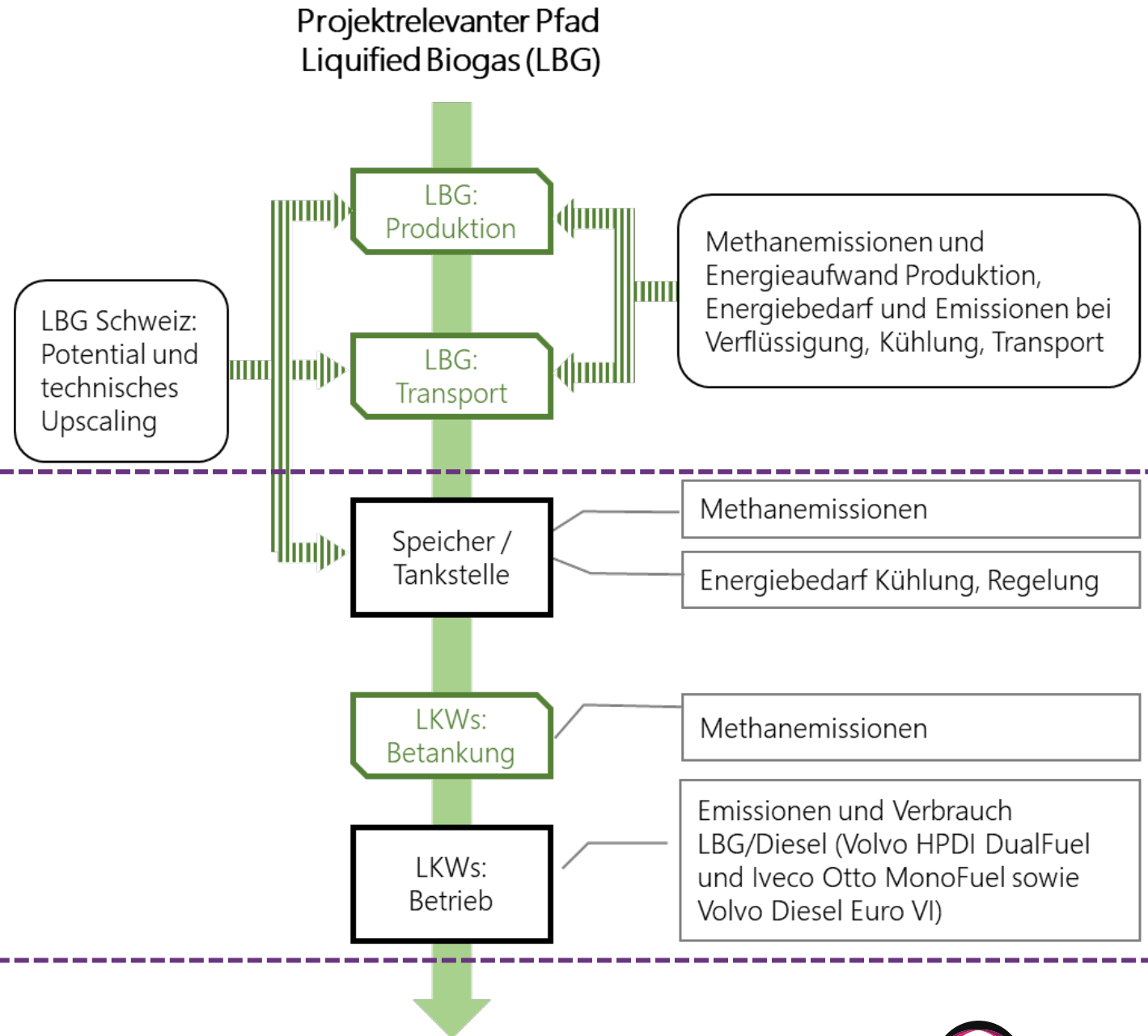
- Technisch: Pilotbetrieb Tankstellen/LKWs:
 - (a) Messungen Energie/ Emissionen
 - (b) Betrieb/Beschaffung
- Energetisch: WTW-Analyse LBG (g CO_{2,eq} pro MJ)
 - (a) WTT
 - (b) TTW
- Ökonomisch: LBG-Beschaffung, Szenarien zur LBG-Produktion CH, Kostenvergleich LBG mit LNG und Diesel, regulatorische und politische Rahmenbedingungen



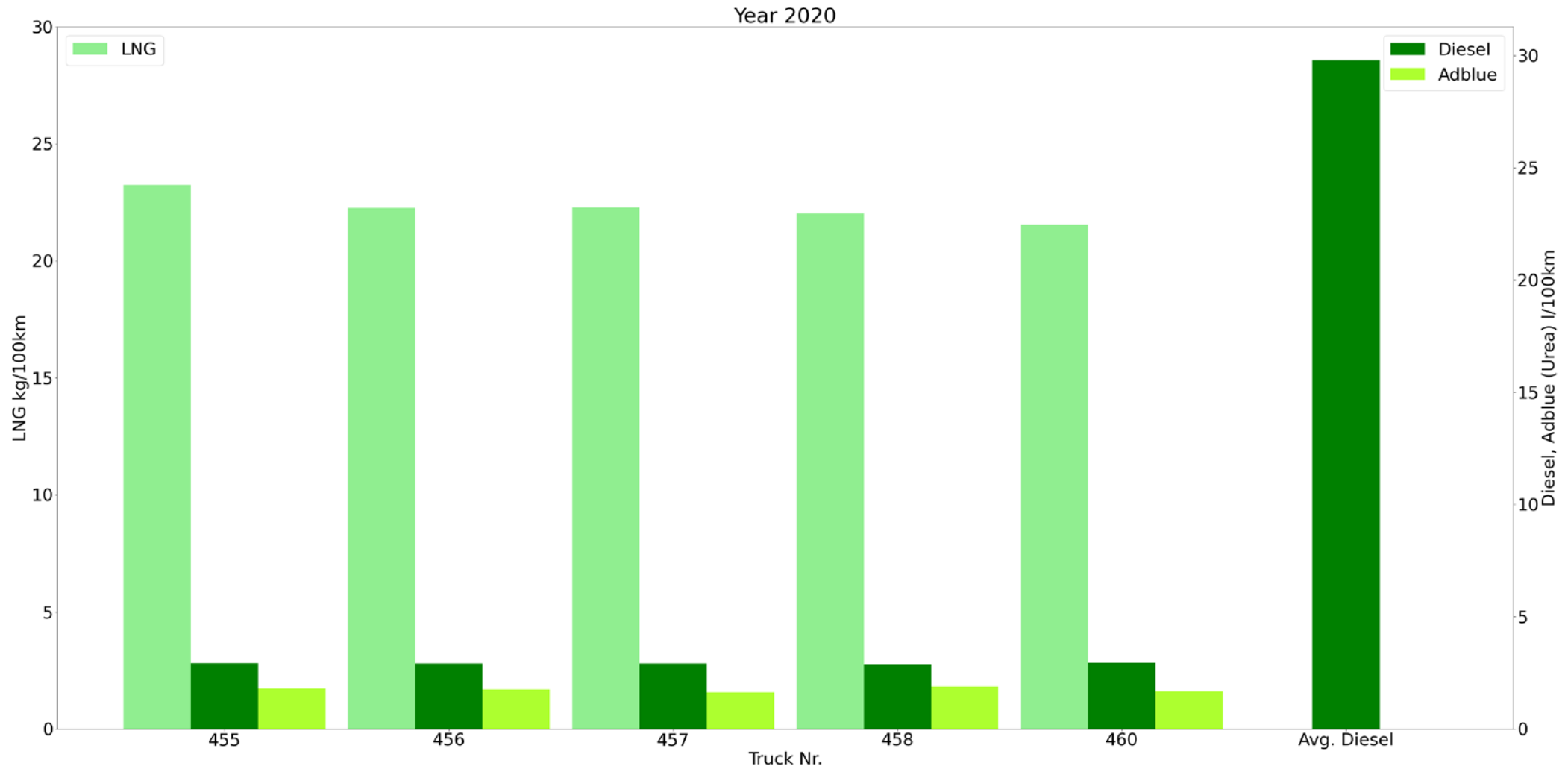
Messungen Tankstelle und LKW

Die Messungen an Tankstelle und LKW haben zwei Ziele:

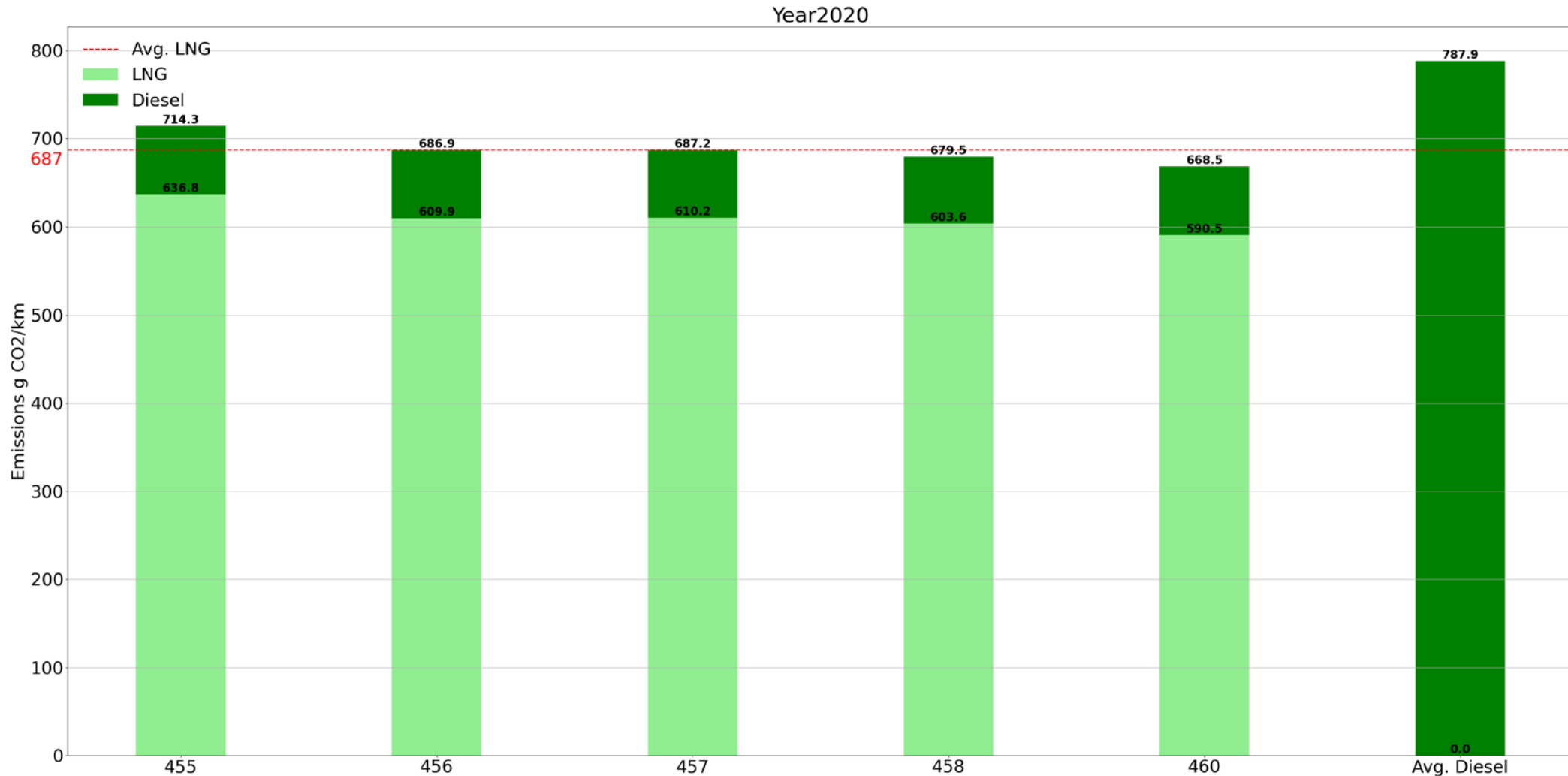
- Datengrundlage für TTW als Teil der WTW-Analyse
- Betriebserfahrungen LNG/LBG generell zwecks Betriebsoptimierung



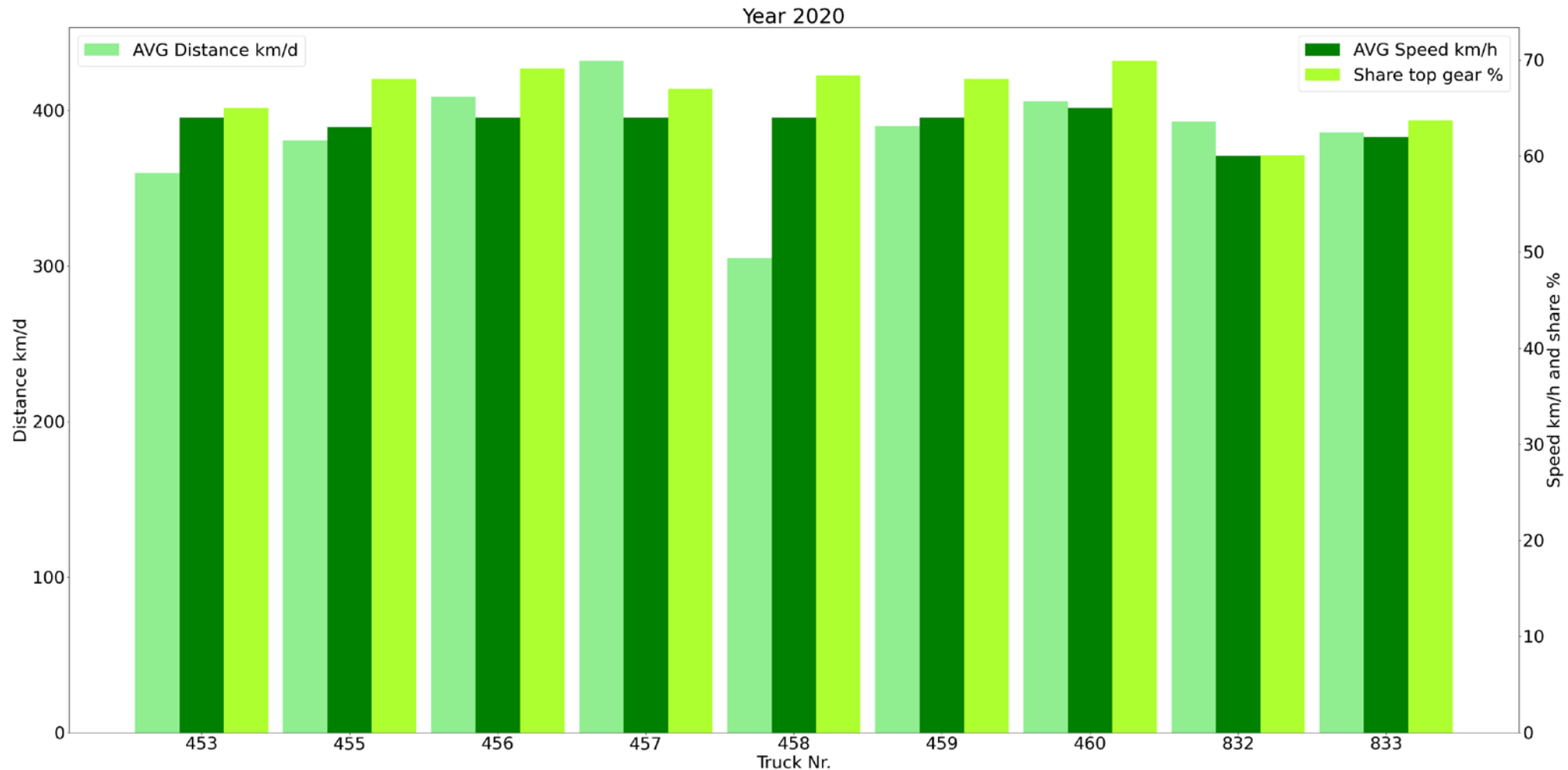
Messungen LKW-Flotte: Verbrauch gemäss FMS



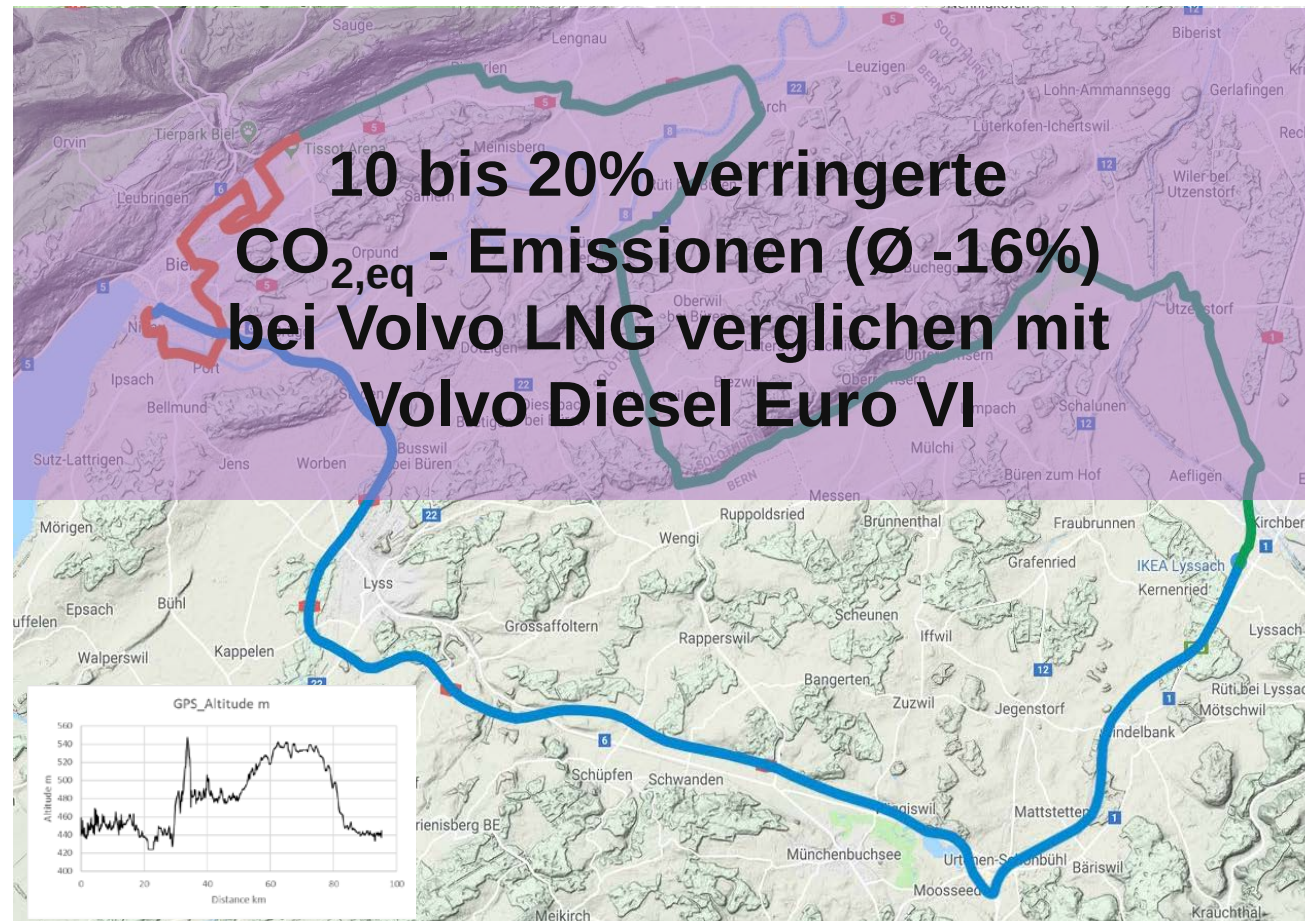
Messungen LKW-Flotte: CO₂-Emissionen



Messungen LKW-Flotte: Fahrverhalten



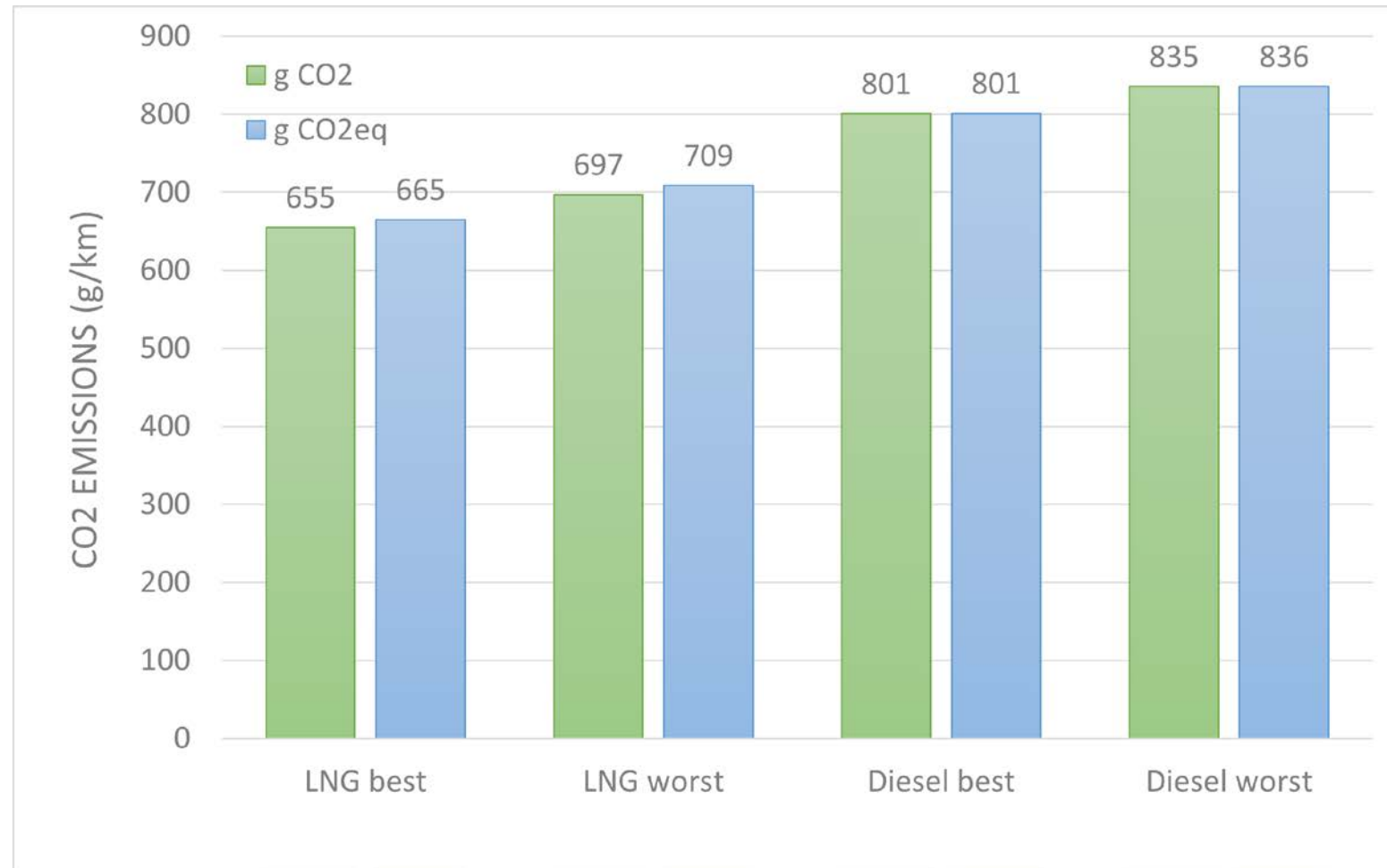
Messungen LKW: Detailliert



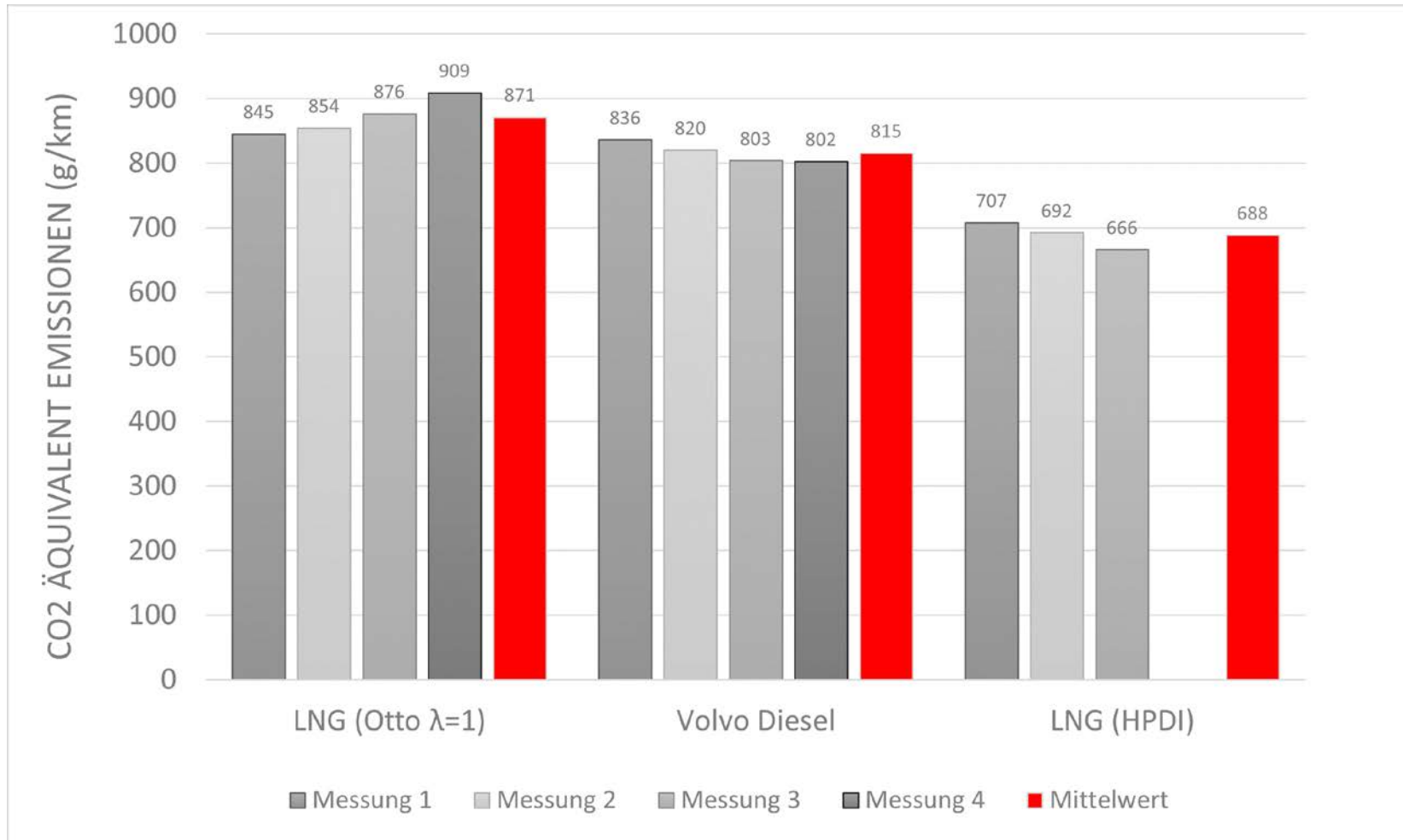
- PEMS-Messgerät: CO₂, CO, THC, CH₄, NO_x, NO₂ und PN
- Logging von GPS-Daten, OBD-Daten und Abgasvolumenstrom
- LKW inkl. Auflieger 22.5 t (Beladung 15 t)
- RDE-Strecke (EU-Richtlinie 1151/2017): 95 km, ca. 2h15. Autobahnanteil < gesetzl. LKW-Abgasmessungen, aber gleichwertige Stadt- Überland- und Autobahn-Anteile.
- Total 12 Messungen zwischen 17.06.20 und 02.07.20 mit gleichem Fahrer
- Zusätzlich zwei Warmstart-Abgasmessungen mit beiden LNG-LKW (Motor warm gestartet, anschl. ca. 15 Minuten im Leerlauf)

Messungen LKW: Detailliert (vorläufige Ergebnisse)

- Volvo LNG hat die niedrigsten CO_{2,eq} - Emissionen bei allen Streckenabschnitten
- Volvo LNG zeigt 10 bis 20% niedrigere CO_{2,eq} - Emissionen (Schnitt: minus 16%)
- Vergleich NO_x: Volvo LNG höher als Diesel, aber vor allem bei Kaltstart und ebenfalls noch Euro VI-konform

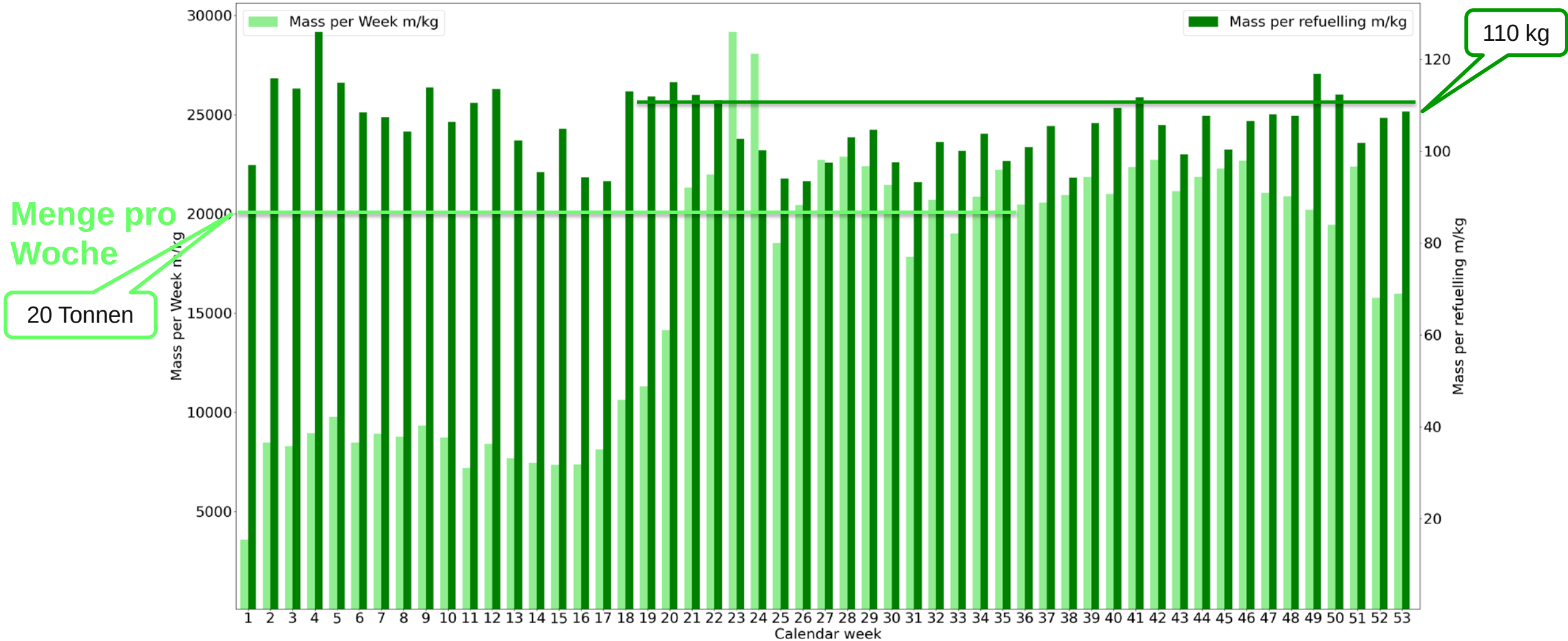


Vergleich Ottomotor und HPDI (Tank-to-Wheel)



Messungen Tankstelle

Menge pro Tankvorgang



Messungen Tankstelle



Betrieb

Pilotbetrieb: Ausgewählte Lessons Learnt

Tankstelle:

- Möglichst weit entleeren und regelmässig befüllen
- Vermeidung Venting: Hohe und gleichmässige Auslastung entscheidend

LKW

- Keine Probleme spezifisch bzgl. LNG/LBG
- Verbrauch/Emissionen: Effiziente Technologie, minus 10 bis 20% CO_{2,eq} ggü. Diesel Euro VI

Methanemissionen (ausser Ventings):

- Keine Gasaustritte an LKW und Tankstelle (inkl. Tankstellenbefüllung)
- Keine signifikanten Gasaustritte an den Kupplungen bei Tankvorgängen

Erweiterung des Tools "Biograce"

BIOGRACE I

Harmonised Calculations of
Biofuel Greenhouse Gas Emissions in Europe

www.biograce.net

Intelligent Energy Europe

About

Directory

Production of LBG from paper mill and fish farm waste [adapted from production of Biogas from municipal organic waste as CNG]

Version 4d for Testing

Overview Results

All results in g CO _{2,eq} / MJ _{LBG}	Non- allocated results	Allocation factor	Allocated results	Total	Actual/ Default
Cultivation e_{co}				0.0	A
1 Supply of substrates	0.00	100.0%	0.00		
Processing e_p	8.0			8.0	A
2 Biogas generation	5.68	100.0%	5.68		
3 CH ₄ extraction	0.81	100.0%	0.81		
4 CH ₄ liquefaction	0.87	100.0%	0.87		
Transport e_{tr}	8.8			8.8	A
5a Filling Tank Truck	0.65	100.0%	0.65		
5b Transport of LBG	4.43	100.0%	4.43		
6a Filling of Station	0.10	100.0%	0.10		
6b Storing LBG (incl. Venting)	4.17	100.0%	4.17		
7 Filling of LBG Truck	0.10	100.0%	0.10		
Use e_u	0.0			0.0	A
8 Use (TTW)					
e_{oor} + e_{ops}	0.0	100.0%	0.0	0.0	
Totals	16.8			16.8	

Default values
RED Annex V.D

0

LBG aus Norwegen

All results in g CO _{2,eq} / MJ _{LBG}	Non- allocated results
Cultivation e_{ec}	
1 Supply of substrates	0.00
Processing e_p	8.0
2 Biogas generation	5.68
3 CH ₄ extraction	0.81
4 CH ₄ liquefaction	0.87
Transport e_{td}	8.8
5a Filling Tank Truck	0.65
5b Transport of LBG	4.43
6a Filling of Station	0.10
6b Storing LBG (incl. Venting)	4.17
7 Filling of LBG Truck	0.10
Use e_u	0.0
8 Use (TTW)	
e_{ccr} + e_{ccs}	0.0
Totals	16.8

- Anlage für ca. 20 tpd
- -82% verglichen mit fossilem Diesel (RED II: 95.1)
- Energieherkunft Processing entscheidend (nicht erneuerbar: -46%)
- Processing und Transport in dieser Abschätzung mit etwa gleich hohen Beiträgen
- Beitrag "Transport & Storing" kann erheblich tiefer ausfallen:
 - Kürzere Distanzen und/oder LBG
 - Venting kann reduziert bzw. vermieden werden

Beispiel: Verflüssigung (mit $1.4 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{kg}_{\text{LBG}}$)

4 CH ₄ liquefaction		via Mixed-Refrigerant Liquefaction	Quantity of product	Calculated emissions			
		Yield		Emissions per MJ LBG			
		CH ₄	0.999 MJ_LBG / MJ_CH ₄	0.620 MJ_LBG/MJorganic waste, input	g CO ₂	g CH ₄	g N ₂ O
		Factor from typical to default	1.0	1.027 MJ_LBG/MJCNG	g CO _{2,eq}		
=B61 if same for all		Energy consumption					
		ElecMixNorwayProduction	0.101 MJ / MJ _{CH₄(f)}		0.52	0.00	0.00
		Direct emissions					
		Methane	0.001 MJ / MJ _{CH₄}			0.02	
				Result	g CO _{2,eq} / MJ_LBG		1.03

- Grosser Unterschied von large scale zu small (und nano) scale
 - Literaturangaben oft in CO_{2,eq}/kg
 - Angaben in kWh/kg wäre besser, denn: Stromherkunft kann einen Unterschied machen
- Nano-scale (< 20 tpd): Hersteller-Angaben variieren von 0.7 bis 1.8 kWh_{el}/kg
 - Achtung: Teils inklusive, teils exklusive Aufbereitung

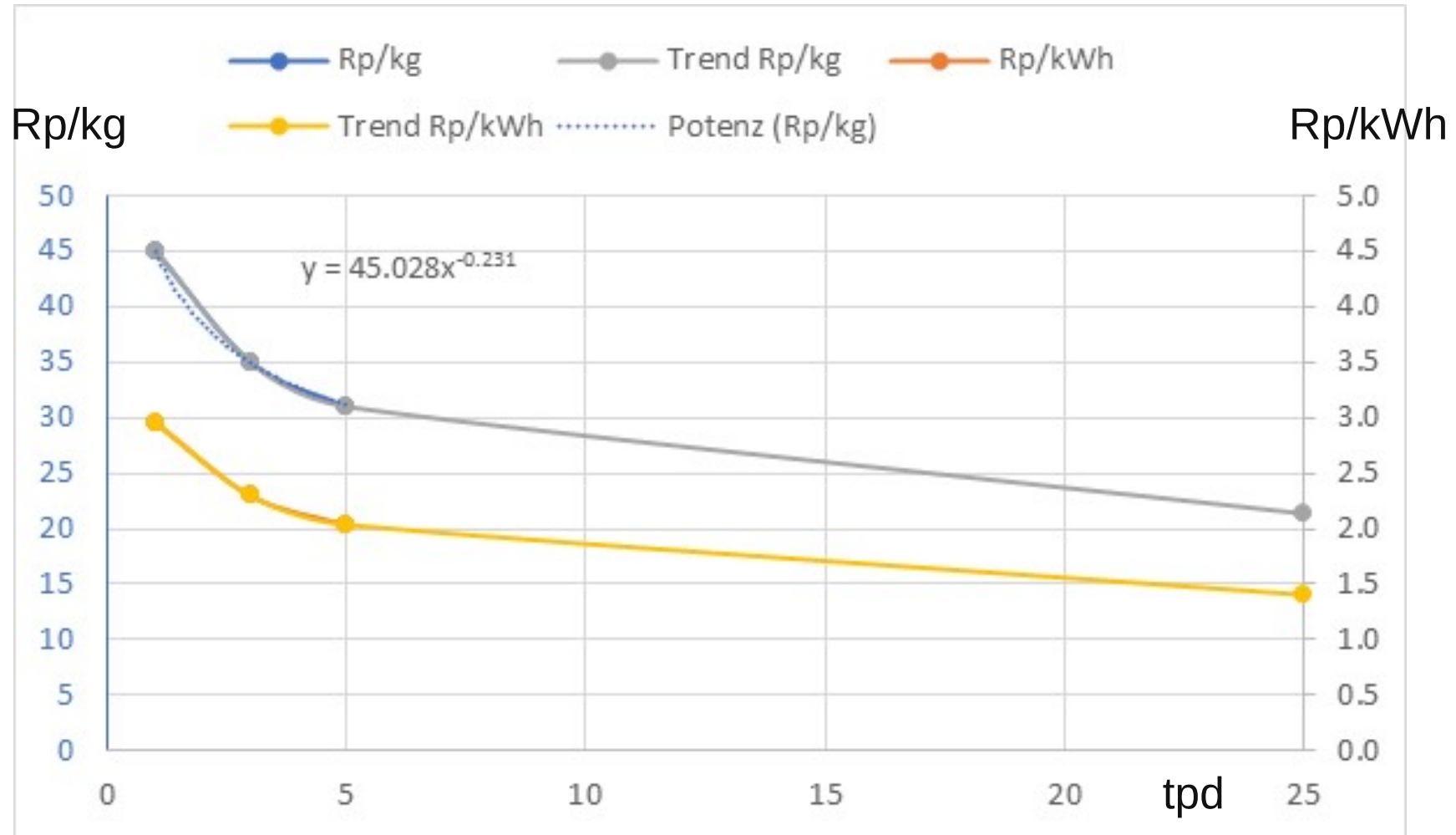
Beispiel: Transport

5b Transport of LBG (Road to Switzerland, empty return)		Quantity of product		Calculated emissions				
Yield					Emissions per MJ CNG			
LBG	0.999 MJ_LBG-out / MJ_LBG-i		0.354 MJ_LBG/MJorganic waste, input 1.009		g CO ₂	g CH ₄	g N ₂ O	g CO _{2,eq}
Transport per								
Truck for liquids (Diesel)	2500 km				2.11	0.00	0.00	2.11
Fuel	Diesel							
Fuel consumption	29 l/100km							
Direct emissions								
Methane	0.001 MJ_LBG / MJ_LBG					0.02		0.50
Empty return								
Truck for liquids (Diesel)	2500 km				1.82	0.00	0.00	1.82
Fuel	Diesel							
Fuel consumption	25 l/100km							
Result					g CO _{2,eq} / MJ _{LBG}			
					4.43			

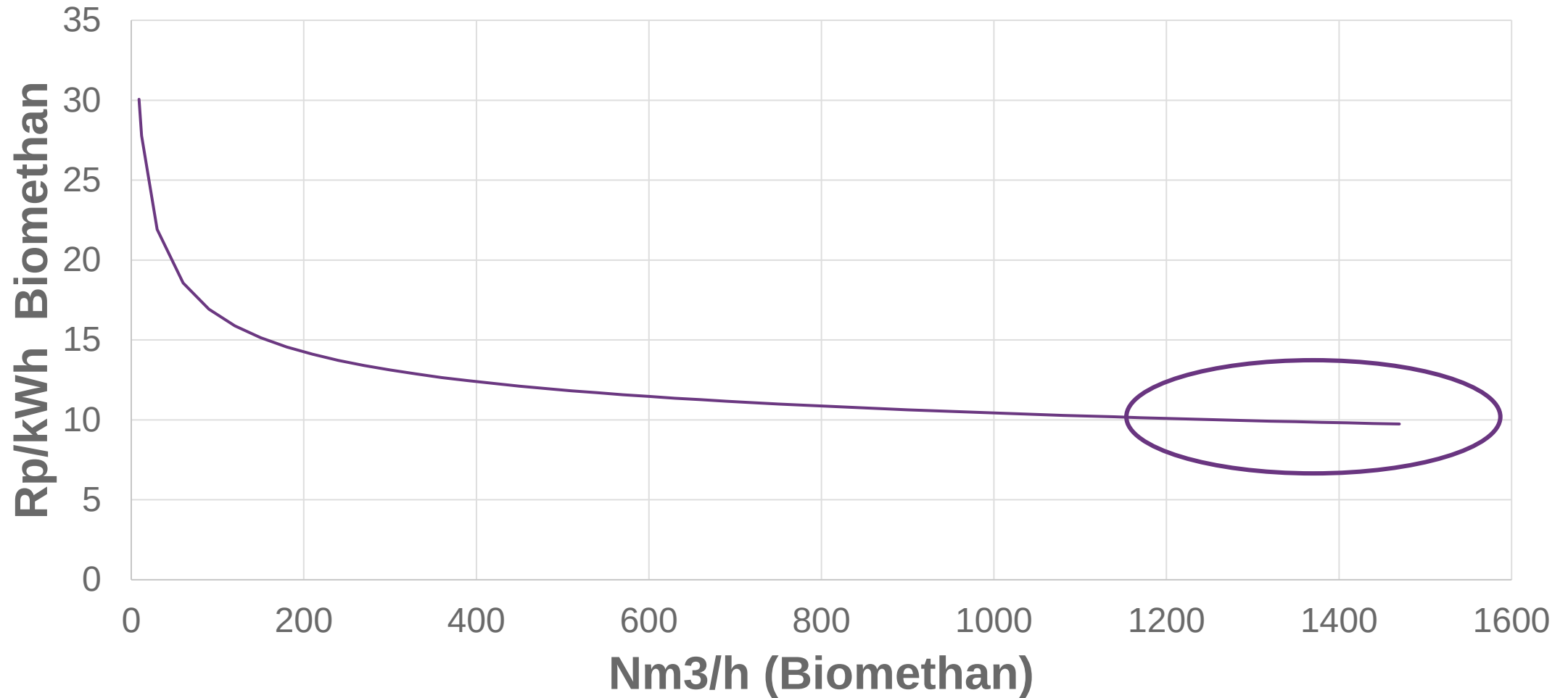
Biograce empfiehlt 0.1%
(Hersteller 0.0%)
(unabh. von Distanz)

- **Weitere Option** (LBG aus Norditalien, Distanz 400km, keine "direct emissions"):
Reduktion Transport auf **0.63 gCO_{2,eq}/MJ**

Kosten Aufbereitung / Verflüssigung



Kosten Biogasproduktion

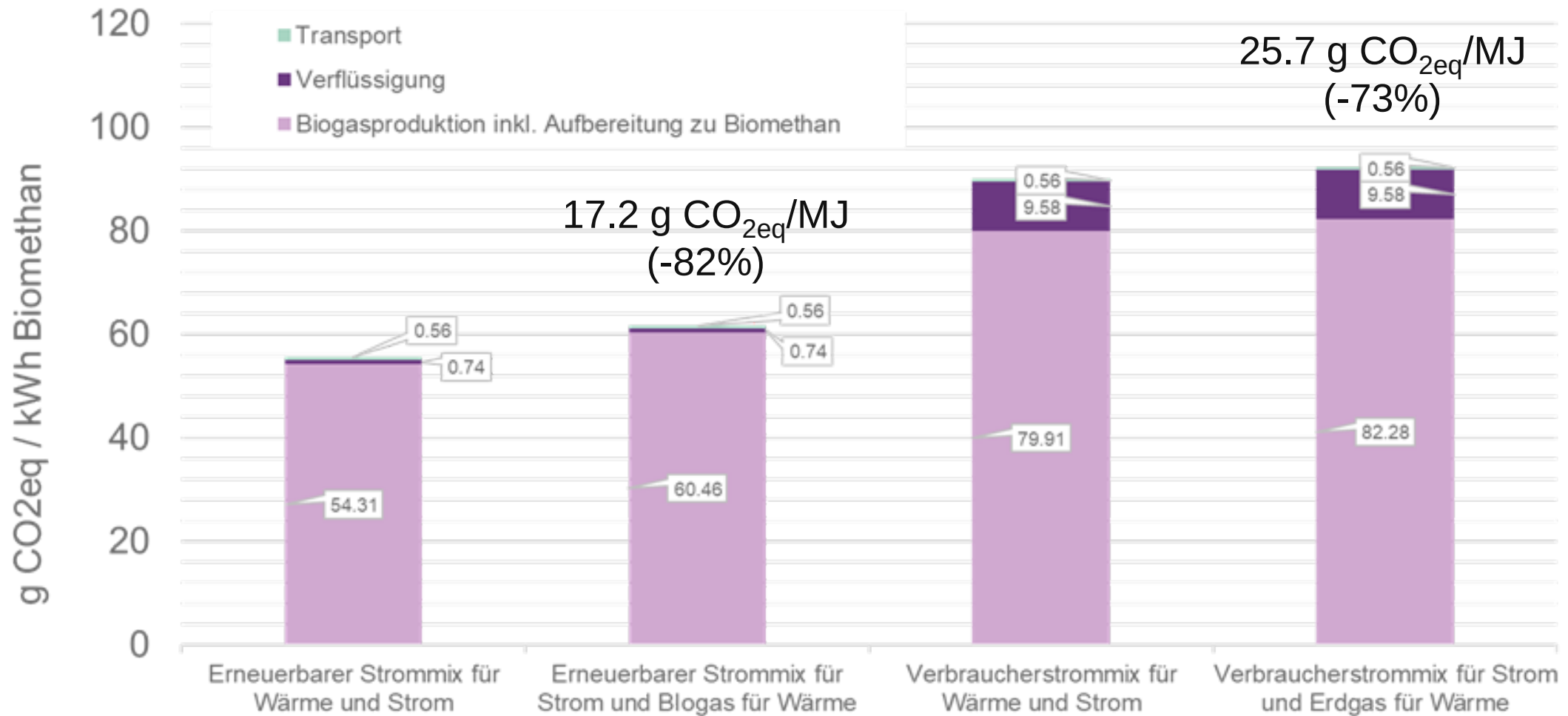


Erste Abschätzungen für Anlagen > 5 tpd

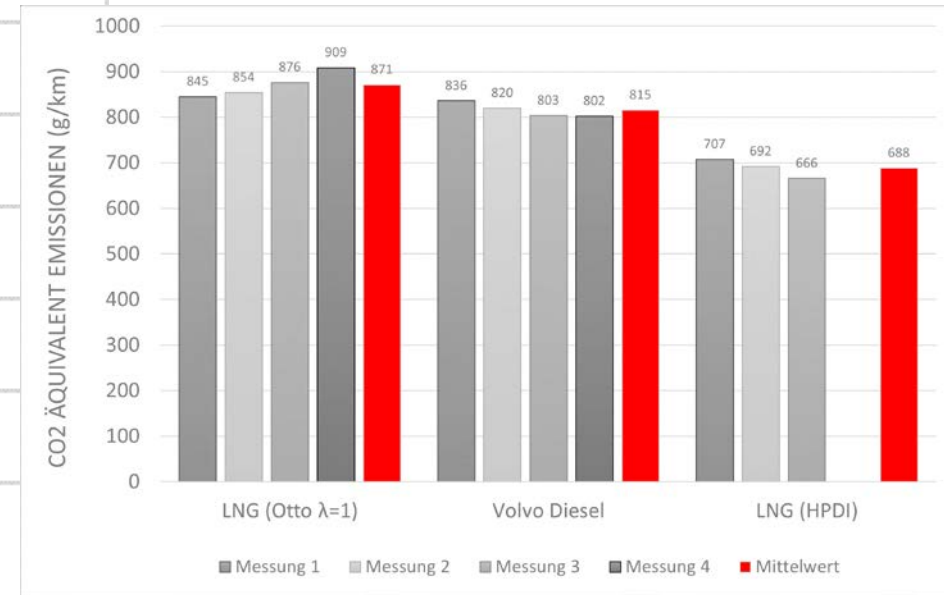
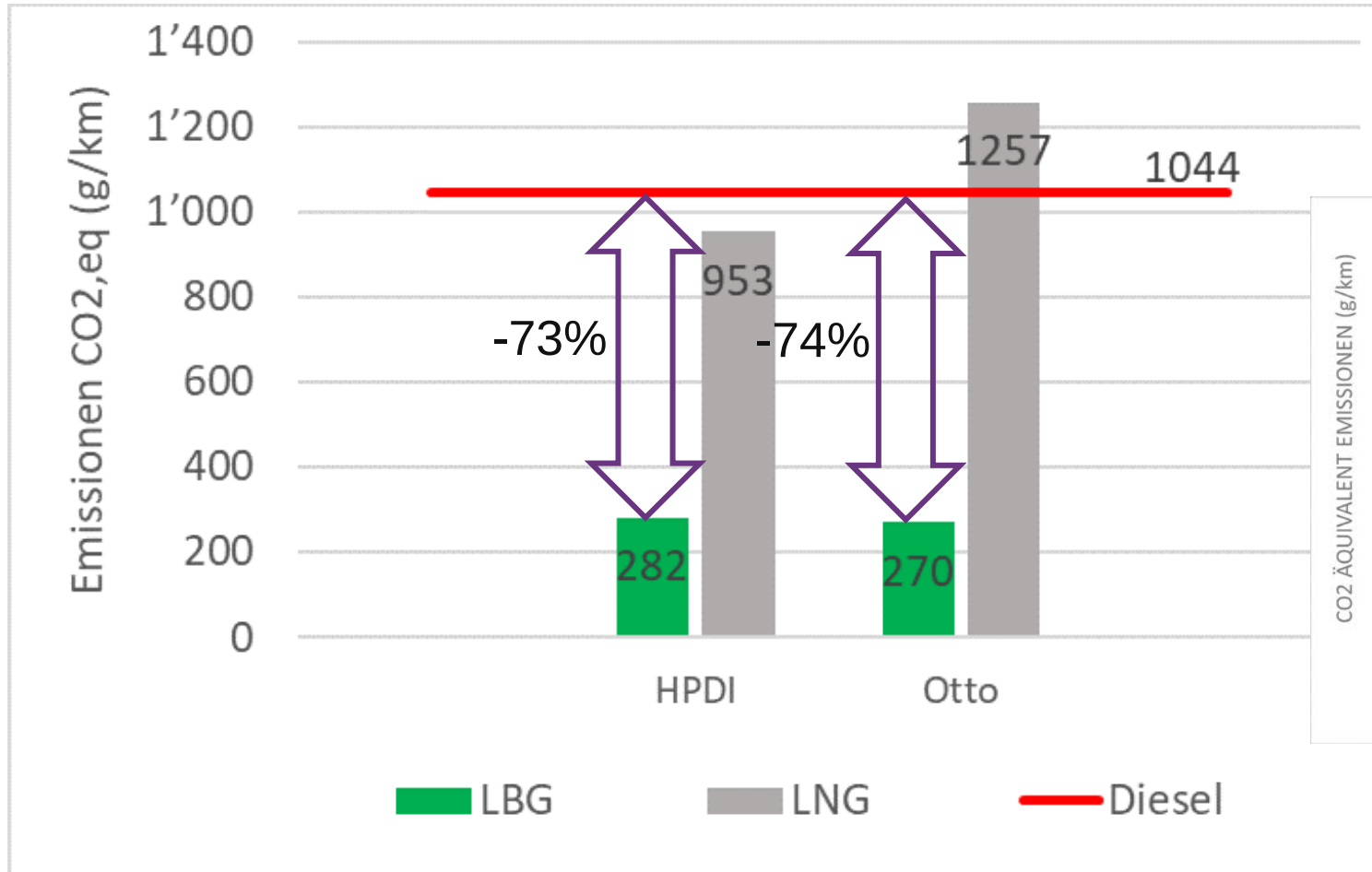
	Rappen pro kWh	CHF pro kg
Biogas-Gestehungskosten	10.0	1.39
Aufbereitung und Verflüssigung	2.0	0.28
Transport zur Tankstelle	0.4	0.06
TOTAL	12.4	1.73
Vergleich LNG	8.0	1.15

- **Entscheidend sind die Biogas-Kosten, nicht Aufbereitung/Verflüssigung**
- Lernkurve Aufbereitung/Verflüssigung (noch) nicht berücksichtigt!

Gesamtemissionen (720 Nm³/h Biomethan)



Vergleich Ottomotor und HPDI (Well-to-Wheel)





Danke für die Aufmerksamkeit.
elimar.frank@ost.ch

Wir bedanken uns für
die Finanzierung des
Projektes durch:

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE



werz INSTITUT FÜR WISSEN
ENERGIE UND ROHSTOFFE ZUG



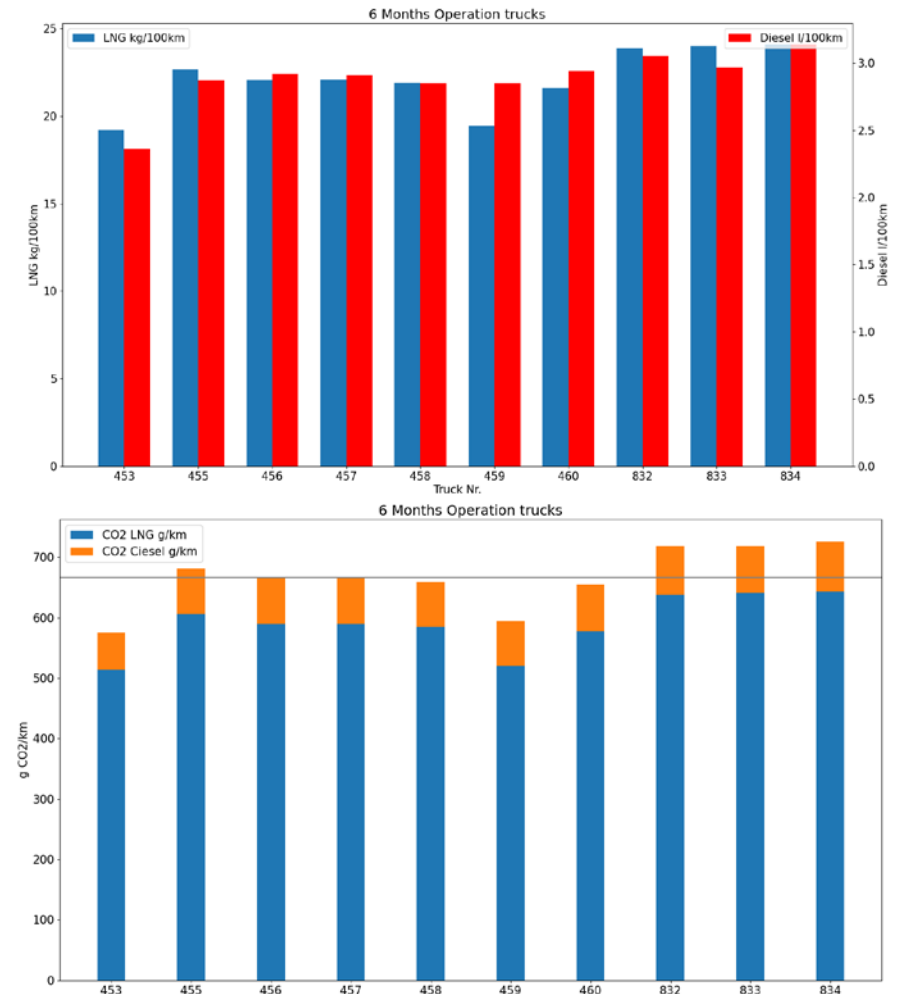
Messungen LKW-Flotte: Zusammenfassung

Volvo LNG (Daten aus FMS)

- LNG: etwa 19 - 24 kg/100km
- Diesel: etwa 2.4 - 3.2 l/100km
- CO₂: etwa 575 - 725 gCO₂/km

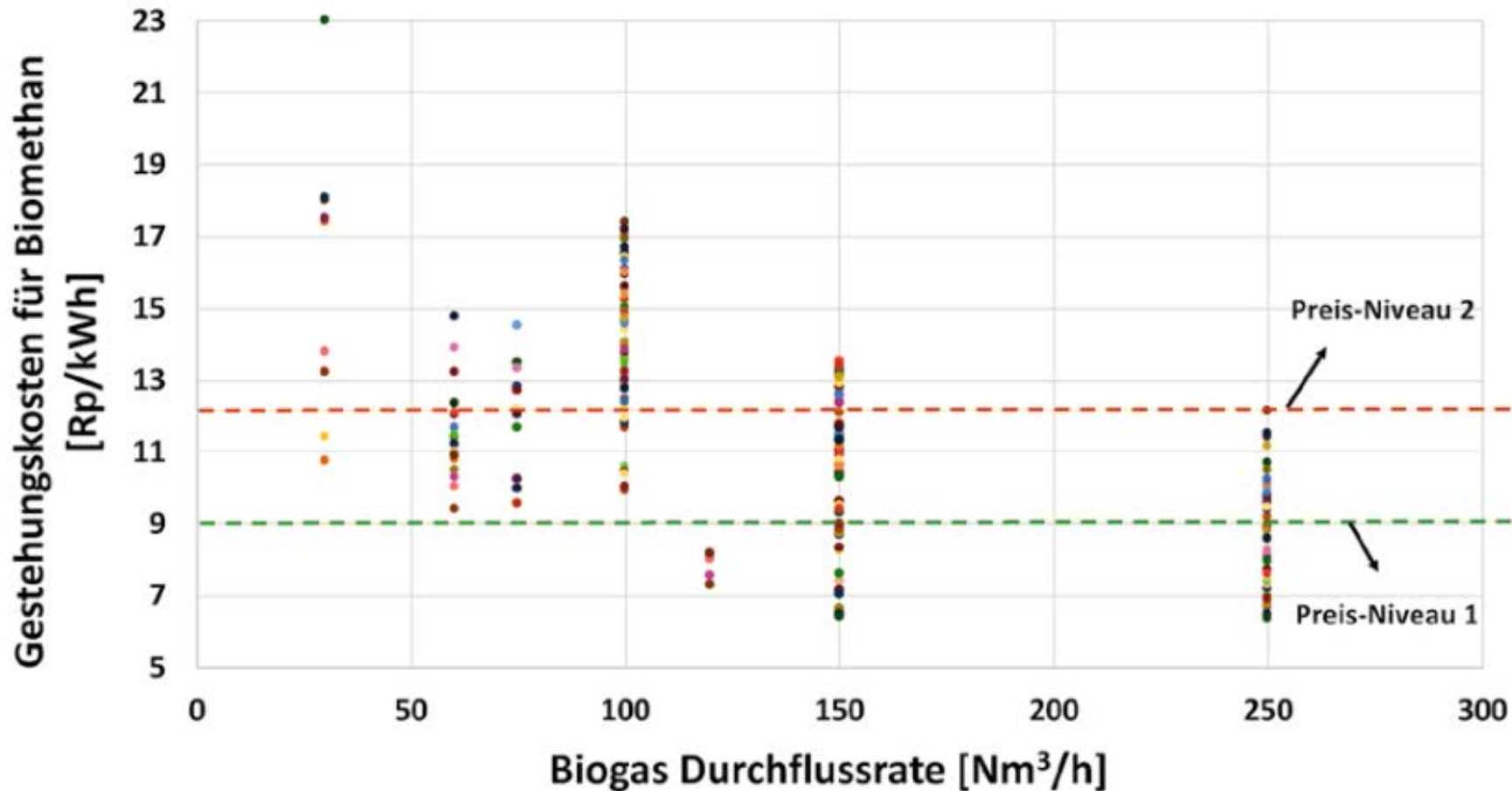
Iveco

- LNG: 26.6 kg/100km
- CO₂ 715 gCO₂/km



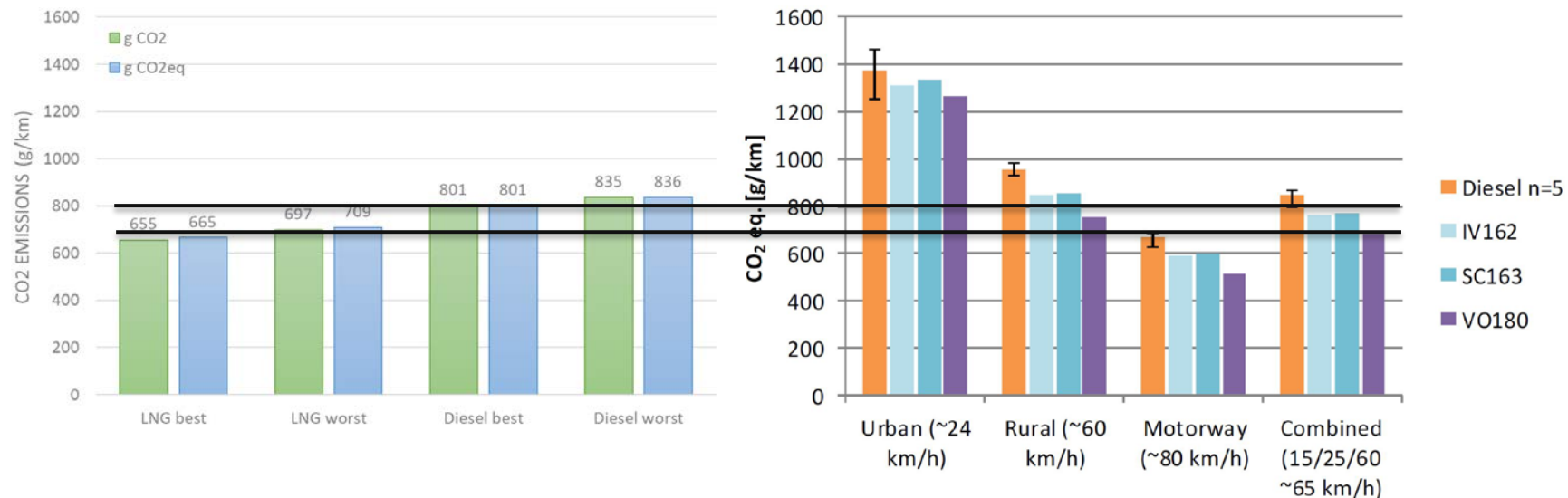
Quelle: PSI, AQUA & GAS No 7/8 (2019)

Erreichbare Biomethanpreise mit Rindergülle-Biomethan-Systemen in der Schweiz



Comparison Emissions with TNO study

- TNO study shows CO_{2eq} emissions for
 - Volvo LNG trucks of about 700 g/km and
 - Volvo diesel trucks of about 850 g/km
- Our measurements show about the same emissions. However, not the same test cycle was used.



Messungen LKW-Flotte: Verbrauch gemäss FMS

