

Mario Keller (INFRAS / MK Consulting)

# Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA – Stand, Ausblick

Statuskolloquium Luft 2014 - Dresden, 8. Dez. 2014

## **HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs – Überblick**

- 1 Was ist HBEFA? Und woher stammen die Daten?
- 2 HBEFA 3.2 (2014): Was hat geändert? Implikationen?
- 3 Ausblick

# HBEFA

- **HandBuch EmissionsFaktoren** des Strassenverkehrs (= **HBEFA**) ist eine Datenbank mit Emissionsfaktoren
- HBEFA stellt Emissionsfaktoren zur Verfügung
  - Für alle derzeit üblichen Fahrzeugkategorien (PKW, LNF, SNF, Busse, MR)
  - Für alle Europäischen Emissionsstufen (Euro-1, -2, ... -6)
  - Für eine Vielzahl von Verkehrssituationen (von freifliessendem bis zu Stop-and-Go-Verkehr)
- Emissionsfaktoren für alle reglementierten und relevante reglementierte **Schadstoffe** sowie für **Kraftstoffverbrauch** und **CO<sub>2</sub>**
- Emissionsarten: EF im betriebswarmen Zustand , Kaltstart (Zusatz) – Emissionen, Verdunstungsemissionen
- HBEFA stellt (gewichtete) Emissionsfaktoren auf aggregierter Stufe für die Jahre 1990-2030/35 **für 6 Länder** (D, A, CH, S, N, F) zur Verfügung, aber auch detaillierte Emissionsfaktoren, für verschiedene Verkehrssituationen, je Fahrzeugkonzept etc. z.B. für UVP, Szenarien etc.

# HBEFA

Wählen Sie die Parameter. Definieren Sie einen Namen fuer die Parameter-Auswahl (=Fall) und lassen Sie die E-Faktoren berechnen

**Wahl von Fahrzeugkategorien**

PKW  LNF  SNF  Linienbus  Reisebus  Motorraeder

**Wahl von Komponenten bzw. Schadstoffen:**

Regulierte  Kraftstoffverbrauch  CO<sub>2</sub>  andere

**Wahl von Bezugsjahren**

1995  2010  2020  
 2000  2015  2030

**Wahl Verkehrszusammensetzung**

Mit Flottenmix gewichtete E-Faktoren  E-Faktoren je Fahrzeugschicht (ungewicht.)

BAU D HB3.2

**Wahl von Verkehrssituationen [zur Bestimmung der "warmen" E-Faktoren]**

Einzelne Verkehrssituationen   
Laengsneigungen

Aggregierte Verkehrssituationen (inkl. Laengsneigungen)

**Wahl von Parametern zur Berechnung von KALTSTART-Zusatzemissionen**

**Wahl von Parametern zur Berechnung von VERDAMPFUNGS-Emissionen**

**Wahl des Aggregationsniveaus der Ergebnisse:**

pro Fz-Kategorie  
 pro Fz-Kat. und Kraftstoff-Typ  
 pro Fz-Kat. und Emissionskonzept  
 pro Fz-Schicht

**Name fuer Parameter-Auswahl (=Fall):**

Bitte Name eingeben (keine Leerzeichen, keine Sonderzeichen):

Kommentar eingeben (optional):

Daten nur in User-MDB schreiben (ohne automat. Anzeige)?

OPTION: PKW-KlimaAnlagen beruecksichtigen?   Wahl Umgebungsmuster (Klima-Anl.)  
ØDE

# HBEFA

## Motivation

- Bedarf für verlässliche, empirisch begründete, abgestimmte und regelmässig aktualisierte Emissionsfaktoren
- Bedarf in verschiedenen Anwendungsgebieten: Inventare / Prognosen / Szenarien; Wirkungsanalysen auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene

## Geschichte

- HBEFA 1.1 – 1995: Deutschland, Schweiz, Österreich
- HBEFA 1.2 – 1999: D, CH, A
- HBEFA 2.1 – 2004: D, CH, A
- HBEFA 3.1 – 2010: D, CH, A, Schweden, Norwegen
- HBEFA 3.2 – 2014: D, CH, A, S, N, Frankreich

## Zugang

- HBEFA ist öffentlich verfügbar auf [www.hbefa.net](http://www.hbefa.net)
- Aktuelle Version: 3. 2 (seit Juli 2014)

## Aktualisierungsbedarf von HBEFA ?

### Stimmen die Grundlagen noch?

- Gibt es neue (bessere) empirische Grundlagen?
- Sind Annahmen zu künftigen Technologien zu revidieren?
- Sind bisherige Methoden zu revidieren?

### Hauptanlass für Überarbeitung HBEFA - Version 3.2

- Emissionsfaktoren der Fahrzeugkonzepte Euro-5/V, -6/VI
- EF einzelner Verkehrssituationen

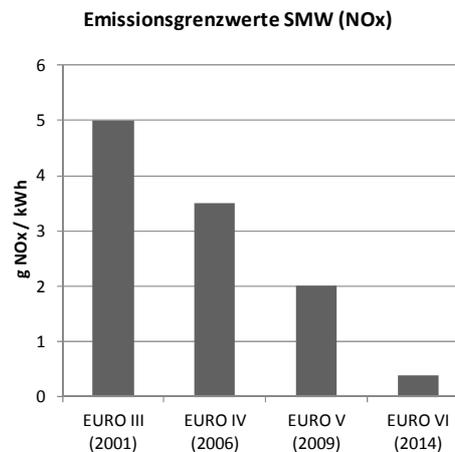
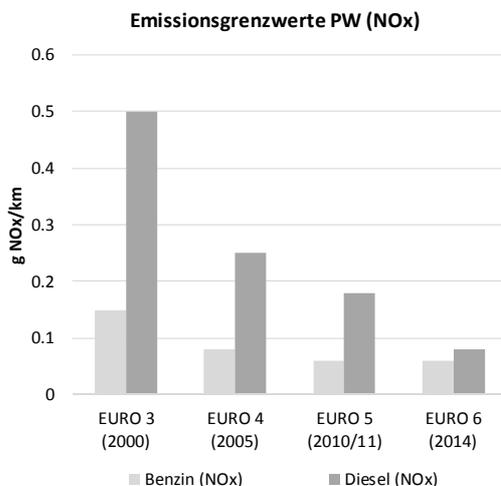
# HBEFA 3.2 =«kleine Aktualisierung»

## Änderungen

- Euro 5/V, Euro 6/VI
- Punktuelle Anpassungen bei Verkehrssituationen (v.a. HVS Tempolimit 50)
- Anpassung beim Kaltstart
- Kraftstoffverbrauchsentwicklung
- Weitere Anpassungen
  - Motorräder: Anpassung der Einführungszeitpunkte von Euro 4/5
  - Länderspezifische Anpassungen
    - Flottenmix
    - Energieverbrauch -> CO2-Emissionsfaktoren

## Aktualisierungsbedarf Euro 5/V, Euro 6/VI

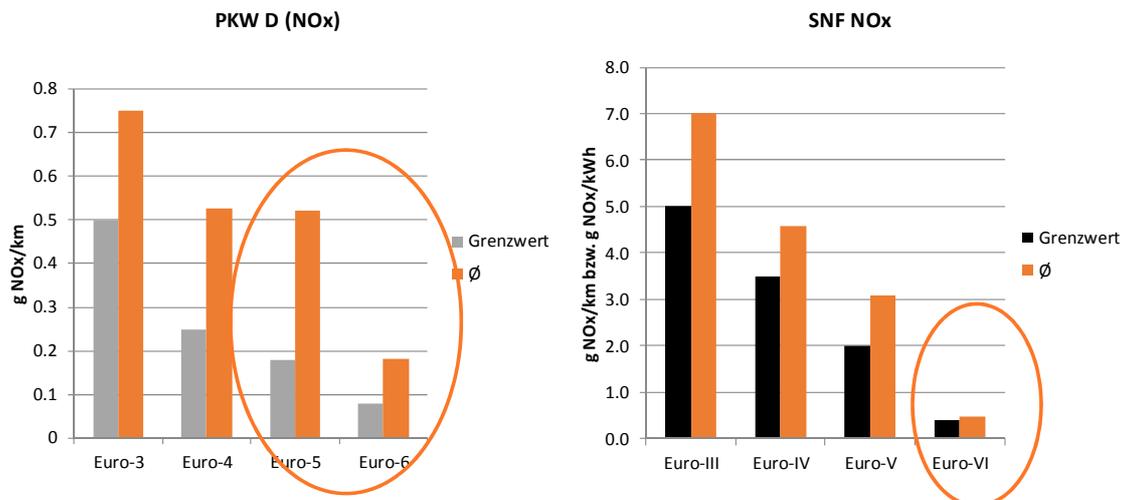
Im Fokus: Fahrzeuge der Stufen Euro-5/V und Euro-6/VI, NOx



### Empirische Basis HBEFA 3.1:

- > PKW (D): kaum Fahrzeuge Euro-5 („indikativ“), keine Fzg. Euro-6
- > SNF: einige Messungen zu Euro-V, kaum Messungen Euro-VI

# Annahmen HBEFA 3.1 vs. Grenzwerte



-> Wie sieht es aus heutiger Sicht aus ?

## Woher stammen die E-Faktoren ?

### Allgemeine Ansatz

- „Real world driving patterns“ – reales Fahrverhalten
- Messprogramm für Labormessungen auf der Basis realer Fahrzyklen

### Schritte zur Produktion von E-Faktoren für das HBEFA

- Schritt 1: Aufnahme des realen Fahrverhaltens (GPS)
- Schritt 2: Auswertung und Kategorisierung -> Identifikation typischer Verkehrssituationen
- Schritt 3: Emissionsmessungen im Labor („modal“, sekundenweise) und Herleitung von Motorenkennfeldern (engine maps)
- Schritt 4: Modellmässige Berechnung der Emissionen für alle Verkehrssituationen je Fahrzeugtyp (Mikrosimulationsmodell PHEM, TU Graz)
- Schritt 5: Integration ins HBEFA: Definition der ggf. neuen Fahrzeug-Konzepte, Verkehrssituationen/Fahrmuster und E-Faktoren

# Messprogramme

- Mess-Datenbank (heisst heute "ERMES"-DB \*)
- >3000 Fahrzeuge, aus nationalen Testprogrammen
- Mind. ein "Real World Test"

<	"ERMES DB" *) (INFRAS)				SMW DB (TUG)	
	PKW		LNF		SMW	
	SI	CI	SI	CI	SI	CI
<b>EURO 0</b>	878	207	19	7	1	40
<b>EURO 1</b>	1 191	48	14	7	-	13
<b>EURO 2</b>	164	54	5	9	-	22
<b>EURO 3</b>	156	135	-	2	-	27
<b>EURO 4</b>	208	99	-	13	-	7
<b>EURO 5</b>	31	50	-	4	-	11
<b>EURO 6(ab)</b>	1	19(*)	-		-	7
<b>EURO 6c</b>					-	
<b>Total</b>	<b>2631</b>	<b>612</b>				

\* Nur 9 Modelle

\*) ERMES: "European Research Group on Mobile Emission Sources"

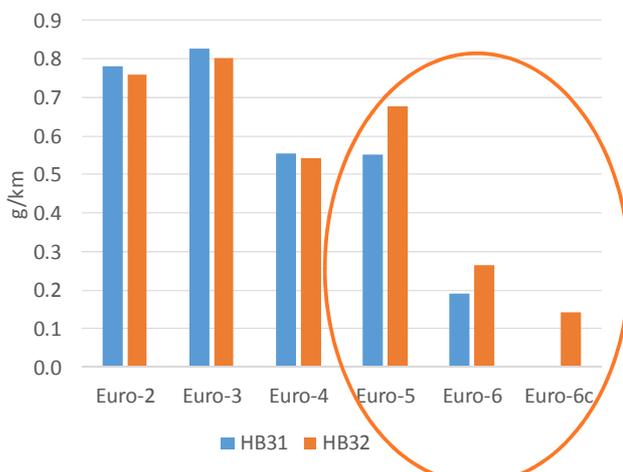
MKC / INFRAS | HBEFA | 8. Dez. 2014 | Mario Keller

## Ergebnisse für PKW Euro-5 / Euro-6

### PKW (Diesel)

- EF NO<sub>x</sub> PW D Euro-5 > Euro-4
- EF NO<sub>x</sub> PW D Euro-6 wird neu gesplittet in Euro-6(ab) und Euro-6c
- EF NO<sub>x</sub> PW D Euro-6(b) > Euro-6 (HB31), aber Euro-6c < Euro-6 (HB31)

EF NO<sub>x</sub> - PKW (D) - HBEFA 3.2 vs. HBEFA 3.1



Euro-5 →  
Euro-6 →

(Gewichtet über alle Verkehrssituationen D)

MKC / INFRAS | HBEFA | 8. Dez. 2014 | Mario Keller

# Einführung von Euro-6 PKW, LNF anpassen

## PKW (Diesel)

- Splitten von Euro-6 (2014) -> Euro-6c (2018)
- Staffelung bedeutet faktisch eine zeitliche Verzögerung der Absenkung

PKW LNF

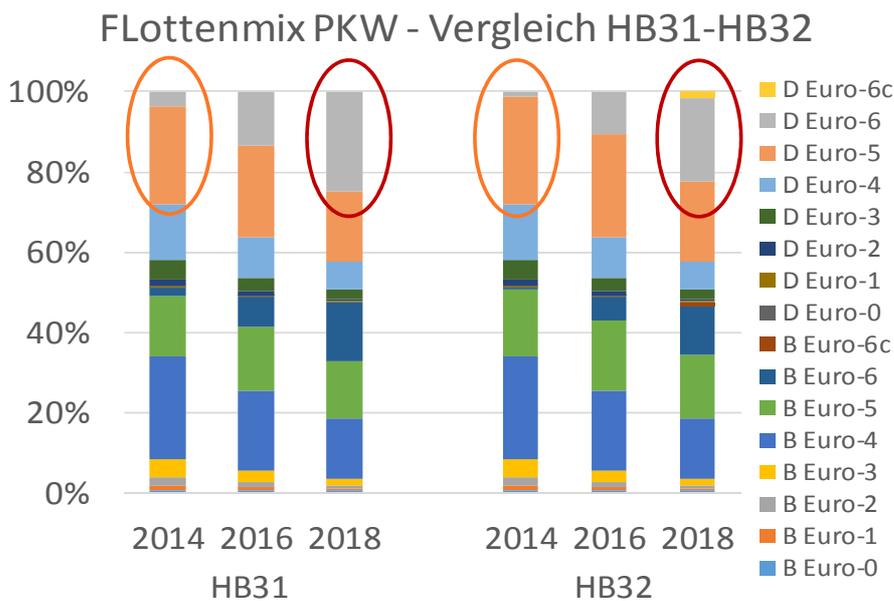
**EUROPEAN UNION**

**EURO 5 & 6 IMPLEMENTATION ROADMAP**

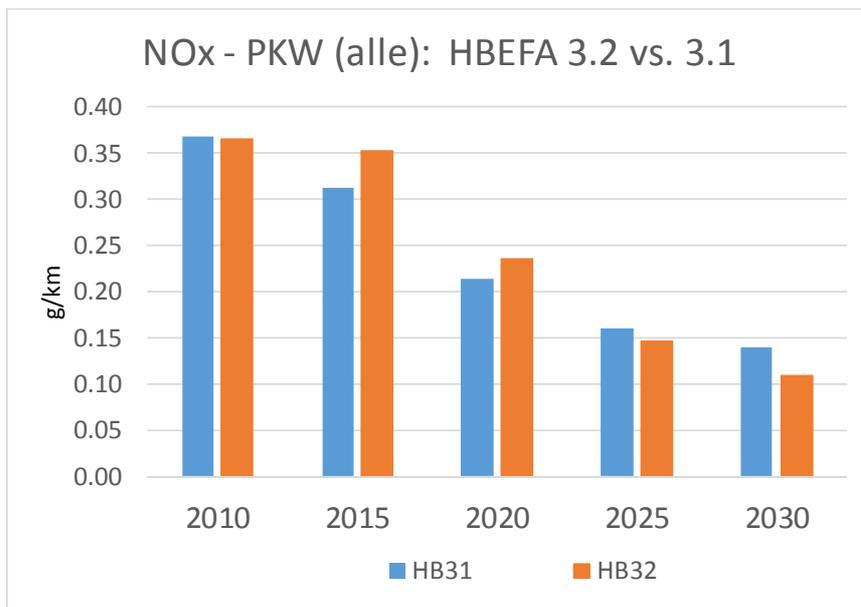
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Spark Ignition Vehicles</b>										
M, N1 Cl I	TA	Euro 5b OR Euro 5b+ 01Sep13	Euro 5b+ 01Sep13	Euro 5b+ 01Sep13	Euro 6b 01Sep14	Euro 6b 01Sep14	Euro 6c 01Sep17	Euro 6c 01Sep17	Euro 6c 01Sep18	Euro 6c 01Sep18
	FR	Euro 5a	Euro 5b	Euro 5b+	Euro 6b 01Sep15	Euro 6b 01Sep15	Euro 6c 01Sep17	Euro 6c 01Sep18	Euro 6c 01Sep18	Euro 6c 01Sep18
N1 Cl II, III, N2	TA	Euro 5b OR Euro 5b+ 01Sep13	Euro 5b+ 01Sep13	Euro 5b+ 01Sep13	Euro 6b 01Sep15	Euro 6b 01Sep15	Euro 6c 01Sep17	Euro 6c 01Sep18	Euro 6c 01Sep18	Euro 6c 01Sep18
	FR	Euro 5a	Euro 5b	Euro 5b+	Euro 6b 01Sep16	Euro 6b 01Sep16	Euro 6c 01Sep17	Euro 6c 01Sep18	Euro 6c 01Sep19	Euro 6c 01Sep19
<b>Compression Ignition Vehicles</b>										
M, N1 Cl I	TA	Euro 5b OR Euro 5b+ 01Sep13	Euro 5b+ 01Sep13	Euro 5b+ 01Sep13	Euro 6b 01Sep14	Euro 6b 01Sep14	Euro 6c 01Sep17	Euro 6c 01Sep17	Euro 6c 01Sep18	Euro 6c 01Sep18
	FR	Euro 5a	Euro 5b	Euro 5b+	Euro 6b 01Sep15	Euro 6b 01Sep15	Euro 6c 01Sep17	Euro 6c 01Sep18	Euro 6c 01Sep18	Euro 6c 01Sep18
Exempted M1 off-road	TA	Euro 5b OR Euro 5b+ 01Sep13	Euro 5b+ 01Sep13	Euro 5b+ 01Sep13	No exemption					
	FR	Euro 5a N1 Euro 5b as M	Euro 5b as M	Euro 5b+	No exemption					
Exempted non off-road	TA	Euro 5b OR Euro 5b+ 01Sep13	Euro 5b+ 01Sep13	Euro 5b+ 01Sep13	No exemption					
	FR	Euro 5a	Euro 5b	Euro 5b+	No exemption					
N1 Cl II, III, N2	TA	Euro 5b OR Euro 5b+ 01Sep13	Euro 5b+ 01Sep13	Euro 5b+ 01Sep13	Euro 6b 01Sep15	Euro 6b 01Sep15	Euro 6c 01Sep17	Euro 6c 01Sep18	Euro 6c 01Sep18	Euro 6c 01Sep18
	FR	Euro 5a	Euro 5b	Euro 5b+	Euro 6b 01Sep16	Euro 6b 01Sep16	Euro 6c 01Sep17	Euro 6c 01Sep18	Euro 6c 01Sep19	Euro 6c 01Sep19

Quelle: Worldwide emission standards, Passenger Cars & Light Duty Vehicles, [www.delphi.com](http://www.delphi.com)

## Auswirkungen auf den Flottenmix



## Implikationen für mittleren EF (PKW NOx)

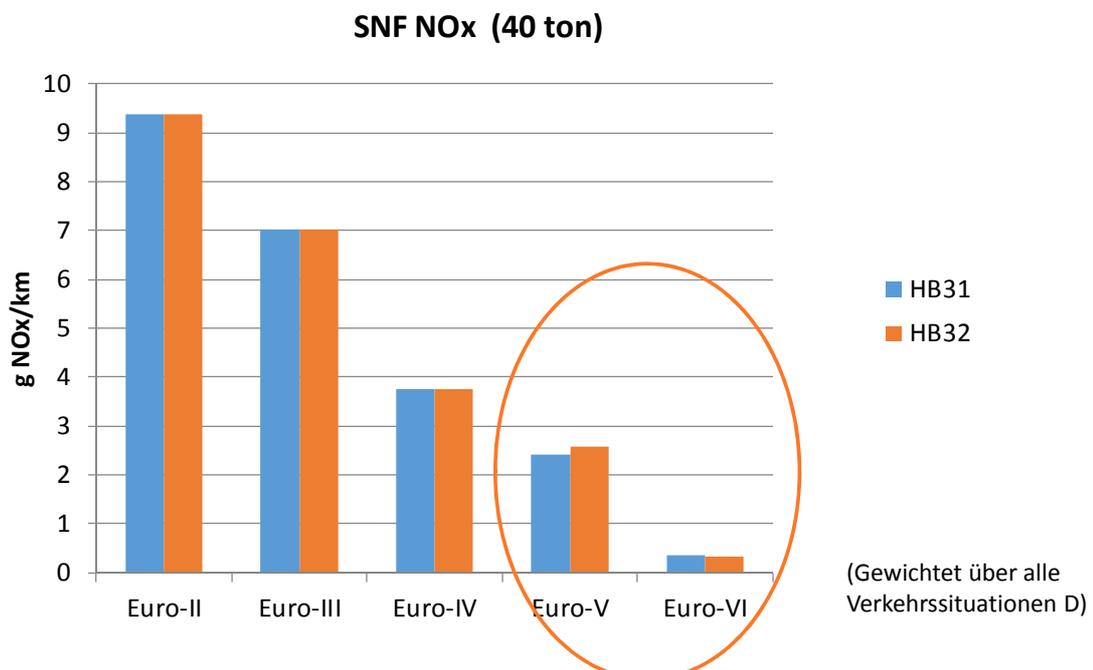


(Gewichtet über alle Verkehrssituationen D)

MKC / INFRAS | HBEFA | 8. Dez. 2014 | Mario Keller

## Ergebnisse für SMW - Euro-V / -VI

Schwere Motorwagen: Bestätigung der bisherigen Werte (Bp. 40-ton SNF)



(Gewichtet über alle Verkehrssituationen D)

MKC / INFRAS | HBEFA | 8. Dez. 2014 | Mario Keller

# Auswirkungen auf das NOx-Niveau

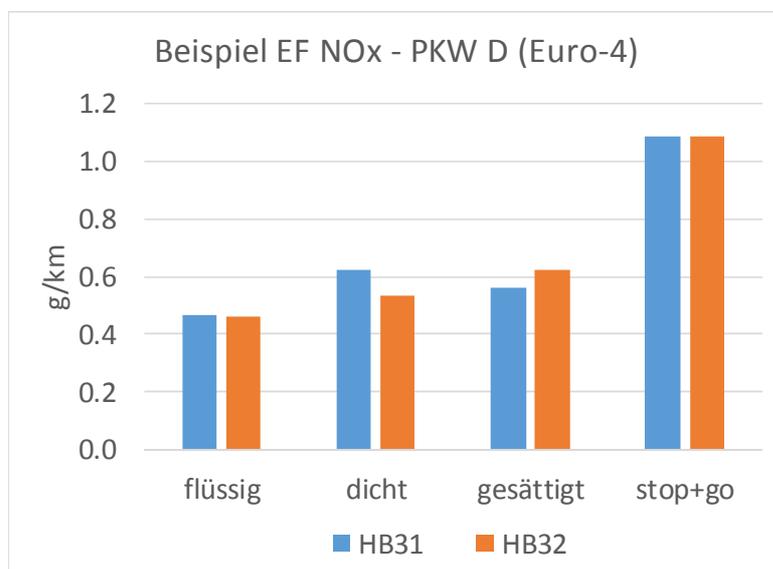
## Fazit

- 2015/20 höhere NOx (PKW) als bisher erwartet
- Ca 2023/25 gleiches Niveau, längerfristig leicht tiefer
- Schwere Nutzfahrzeuge wie bisher
- Vorbehalte:
  - Euro-6c (PKW) wie auch Euro-VI (SNF) basieren auf optimistischen Erwartungen bzgl. RDE (Real Driving Emissions)
  - EF des HBEFA sind faktisch Potenzial-Aussagen
  - Bedingt weiteres Monitoring (v.a. Einfluss der Temperatur)

MKC / INFRAS | HBEFA | 8. Dez. 2014 | Mario Keller

# Änderungen bei einzelnen Verkehrs-Situationen

## HVS Tempo 50: Plausibilität der Zyklen

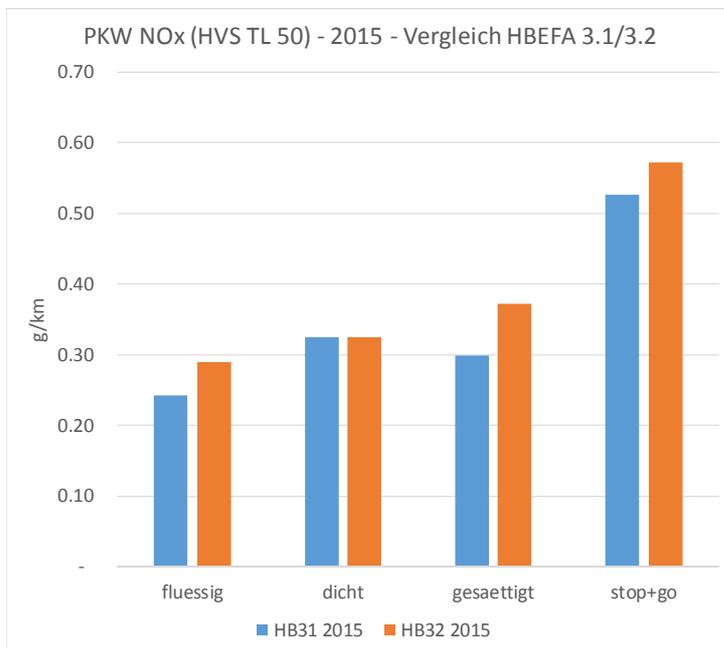


MKC / INFRAS | HBEFA | 8. Dez. 2014 | Mario Keller

# Effekt auf Flotten-EF

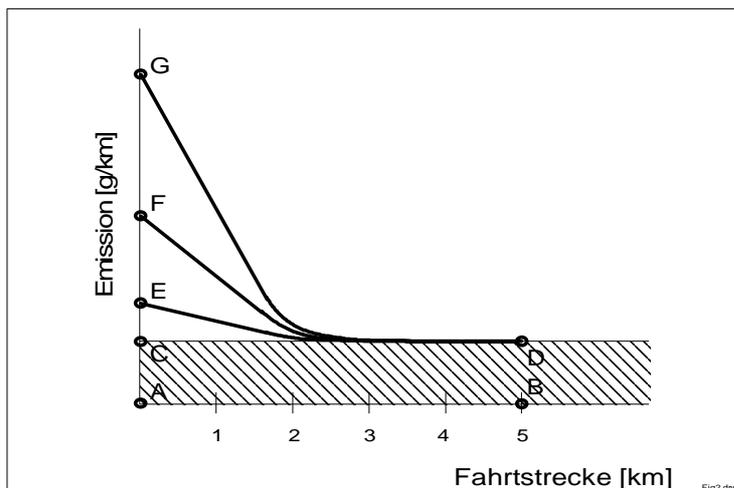
## HVS Tempo 50: Flotten-EF für 2015

- Überlagerte Effekte: Zyklus-Anpassung und EF-Niveau PKW Di E5 & E6



MKC / INFRAS | HBEFA | 8. Dez. 2014 | Mario Keller

## Kaltstart (als Zusatzemission)



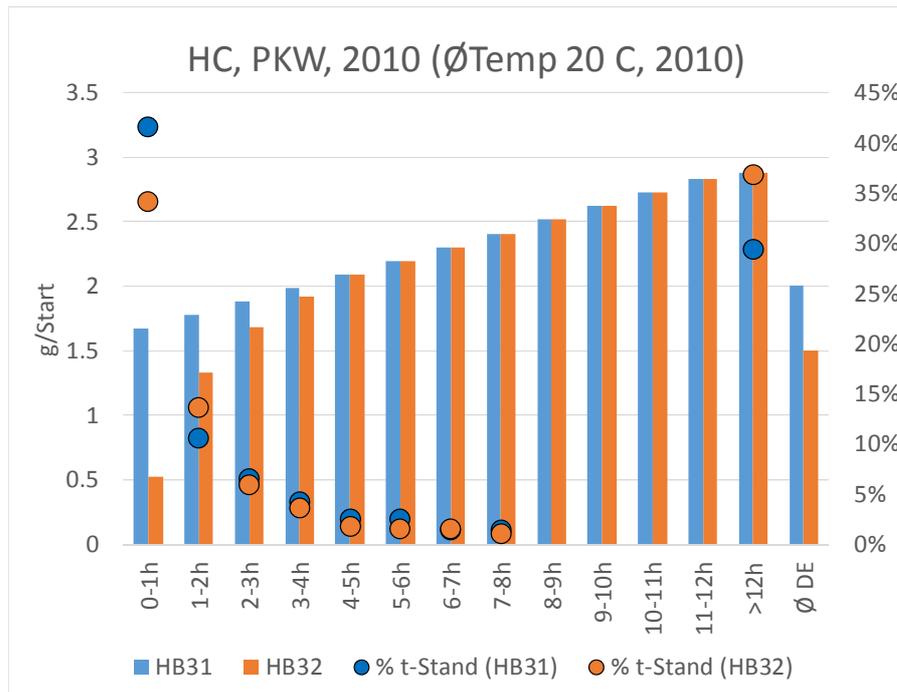
### EMPA Model:

$$EE_{\text{cold}}(T, V, \delta, t) = EE_0 e(T) f(V) h(\delta) g(t)$$

- Temperatur (Standard: 20 C)
- Kaltstart-Distanz
- Standzeit (Motor-Temp. beim Start, 12 h)

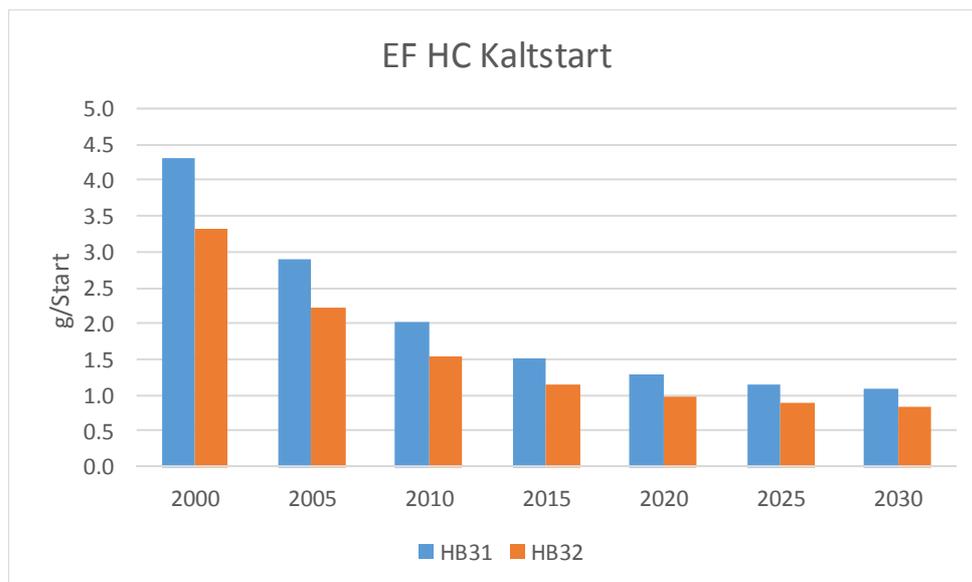
MKC / INFRAS | HBEFA | 8. Dez. 2014 | Mario Keller

## Einfluss der Standzeit auf den Kaltstart



MKC/ INFRAS | HBEFA | 8. Dez. 2014 | Mario Keller

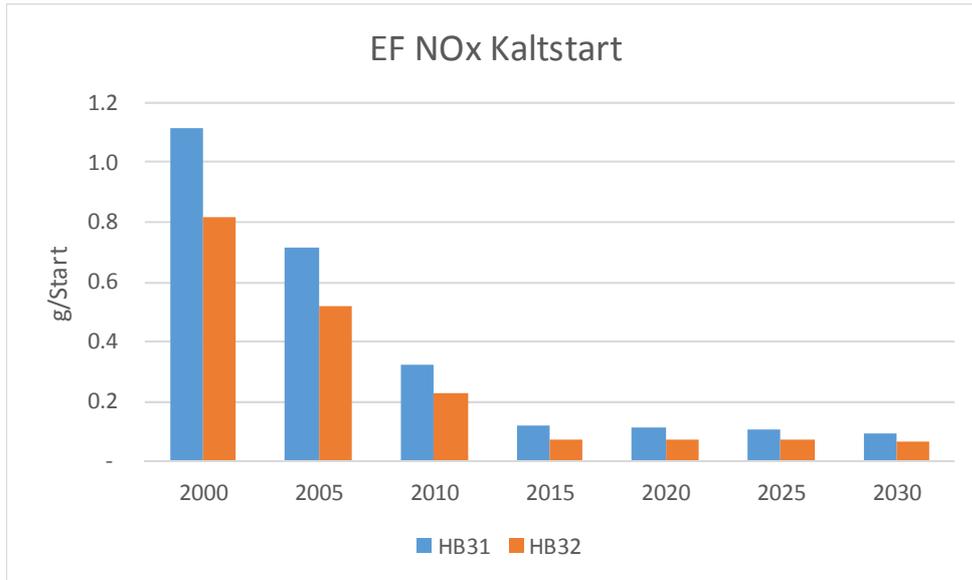
## Implikationen HC (PKW)



- HB32 reduziert die EF in nennenswertem Umfang, aber sie bleiben – bei HC – von hoher Relevanz
- z.B. 2015 entspricht die Emission eines Kaltstarts (Zusatz-Emission) einer Fahrt von rund 70 km !

MKC/ INFRAS | HBEFA | 8. Dez. 2014 | Mario Keller

## Implikationen NOx (PKW)

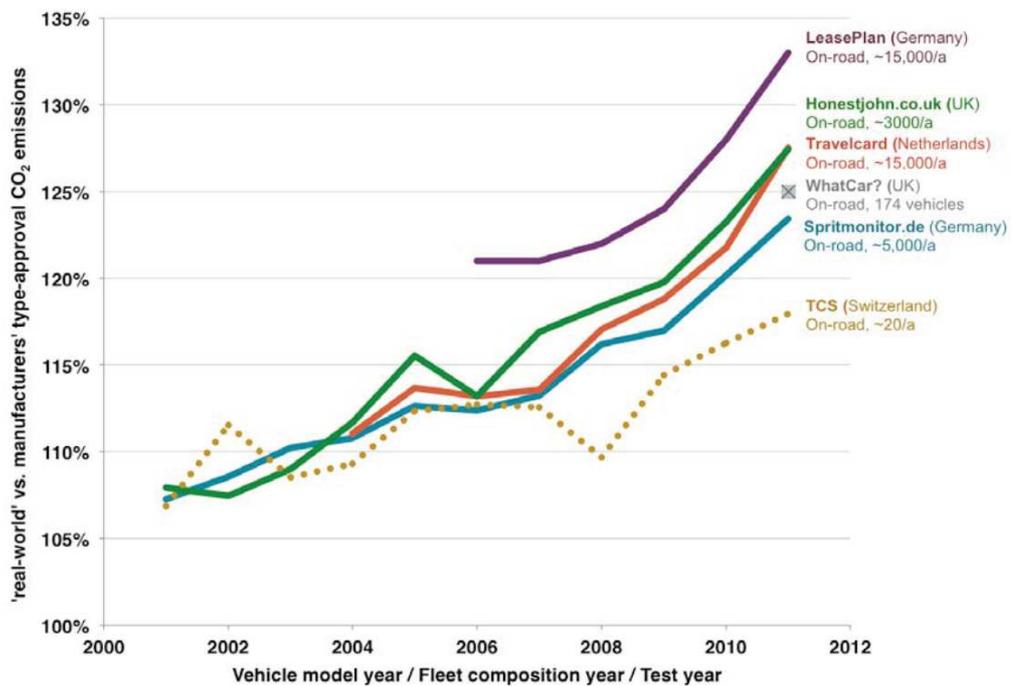


- Im Vergleich zu HC sind die NOx-Kaltstart-Emissionen unbedeutend.
- Ein Startzuschlag entspricht einer Fahrt von <0.3 km

## Energieverbrauch, Effizienzentwicklung

- Bedeutung der Thematik nimmt zu (Klima-Problematik)
- Neue Regulierungen
  - Flottengrenzwerte (Neuwagenflotte)  
130 g CO<sub>2</sub>/km 2015 bzw. 95 g CO<sub>2</sub>/km 2020
- Feststellungen (z.B. lt. JRC Studie 2013):
  - Differenz NEDC vs. Real World ca 20-30%
  - Je tiefer der spezifische Verbrauch, desto grösser die Differenz
  - Differenz nimmt tendenziell zu

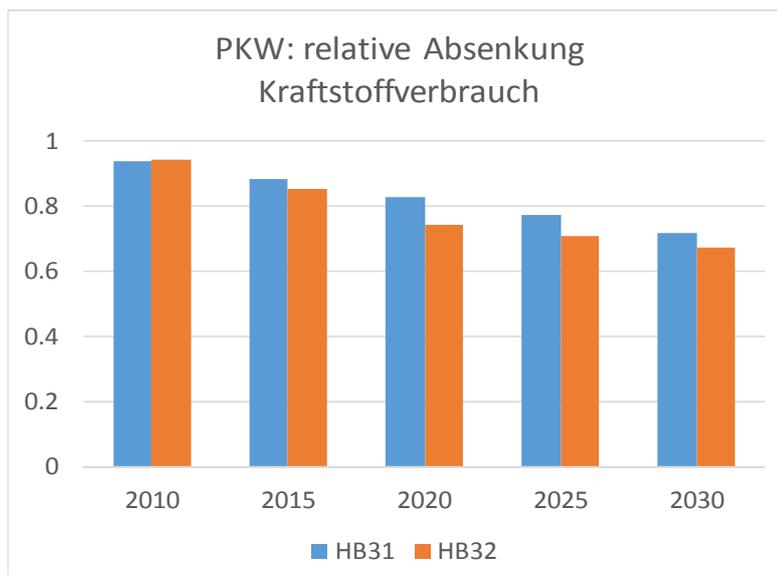
# Diskrepanz zw. NEFZ und Realverbrauch



Quelle: ICCT 2013

MKC / INFRAS | HBEFA | 8. Dez. 2014 | Mario Keller

# Relativer Absenkpfad in HBEFA 3.2



Entspricht in etwa einer 50% reduzierten Absenkung gegenüber dem NEFZ-Zielpfad

MKC / INFRAS | HBEFA | 8. Dez. 2014 | Mario Keller

# Ausblick (“Version 4 ”) I/II

## Hauptthemen (“Prio 1”)

- Verifizieren der EF Euro 6 / VI -> update EF PKW, SMW (Standard program)
  - Verdichten der empirischen Basis -> Messprogramme
  - Verifizieren des Einflusses von RDE (Real World Driving)
- Methodische Fragen: neue Datenquellen
  - PEMS (Portable Emission measurement systems)
  - RSD (remote sensing data)
    - Für Validierung der EF
    - Für besondere Einflussfaktoren (z.B. Verschlechterungseinfluss)
- Neue Technologien
  - Elektrofahrzeuge (Hybrids, BEV, PHEV)
    - Messprogramme
    - Methodische Fragen (“utility factors”, Fahrverhalten)
  - [“Upstream emissions”]

# Ausblick (“Version 4 ”) II/II

## Zudem

- EF anderer Fahrzeug-Kategorien (Leichte Nutzfahrzeuge, Motorräder)
- Spezielle E-Faktoren (PM Non-exhaust, NH<sub>3</sub>, Benzol u.a.)
- Spezielle Einflussfaktoren (z.B. Temperatur-Einfluss SCR)
- Verkehrsmengengerüste
  - Harmonisierter Ansatz für Herleitung von Flottenzusammensetzungen
  - Neue Datenquellen für das Fahrverhalten (Verkehrslagedaten, big data)
- Operationelles: Integration eines Emissionsmodells in HBEFA
  - Emissionsberechnungen: Aggregiert (z.B. für eine Stadt), für Strassennetze
  - Bilanzen für Unternehmen

Danke für Ihre Aufmerksamkeit !

**Mario Keller**

**MK Consulting GmbH**

Distelweg 5  
CH-3012 Bern  
Switzerland  
Tel +41 31 301 73 88  
[mario.keller@mkconsulting.ch](mailto:mario.keller@mkconsulting.ch)

**INFRAS**

Mühlemattstr. 45  
CH-3007 Bern  
Switzerland  
Tel +41 31 370 19 19  
[mario.keller@infrass.ch](mailto:mario.keller@infrass.ch)