

Temporeduktion auf Landstraßen

Aspekte der Umweltbelastung - Luftschadstoffe

Peter Sturm, Martin Rexeis, Stefan Hausberger

**Strategien für sicheren und umweltfreundlichen Verkehr:
Temporeduktion auf Landstraßen?**
Wien, 19. November 2015

Luftschadstoffe

- Verbrennung (Verkehr, Hausbrand, Industrie)
 - **Kohlendioxid (CO₂)**, ist in erster Linie ein Treibhausgas und für die Klimaerwärmung verantwortlich → **Verkehr global ca. 30-35%**
 - **Kohlenmonoxid (CO)**, entsteht bei schlechter Verbrennung, daher heute hauptsächlich aus dem Hausbrand → **Verkehr eher untergeordnet**
 - **Stickstoffoxide (NO_x)**, entstehen bei Verbrennungsprozessen mit sehr hoher Temperatur (sehr gute Verbrennung, hoher Wirkungsgrad). **Hauptsächlich aus dem Verkehr** und bei industriellen Anlagen
 - **Schwefeldioxid (SO₂)**, entsteht aus dem im Brennstoff enthaltenen Schwefel, in erster Linie Hausbrand (Kohle und Heizöl) → **Verkehr Österreich untergeordnet**

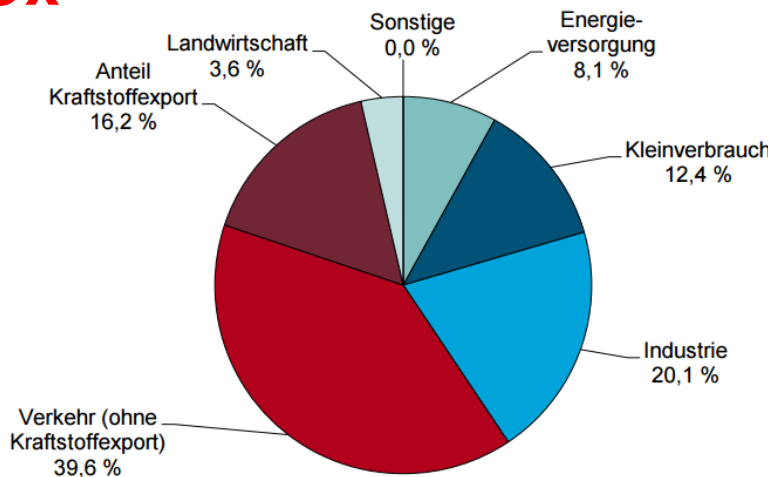
Luftschadstoffe

- **Verbrennung (Verkehr, Hausbrand, Industrie)**
 - **Kohlenwasserstoffe** aus unvollständiger Verbrennung fossiler flüssiger Brenn- bzw. Kraftstoffe
 - **Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)** mit B(a)P als Leitsubstanz, Hauptquelle bei Verbrennung von Holz
 - **Ruß** bei schlechter Verbrennung (D-Fahrzeuge und Hausbrand)
- **Staubemissionen (Produktion, Verkehr, Natur)**
 - Abrieb von Straßenbelag, Reifen, Bremsen und Aufwirbelung von Straßenstaub
 - Produktionsbedingte Staubemissionen (mineralischer Staub, Metalle usw.)

Emittentenzuordnung Österreich

NO_x

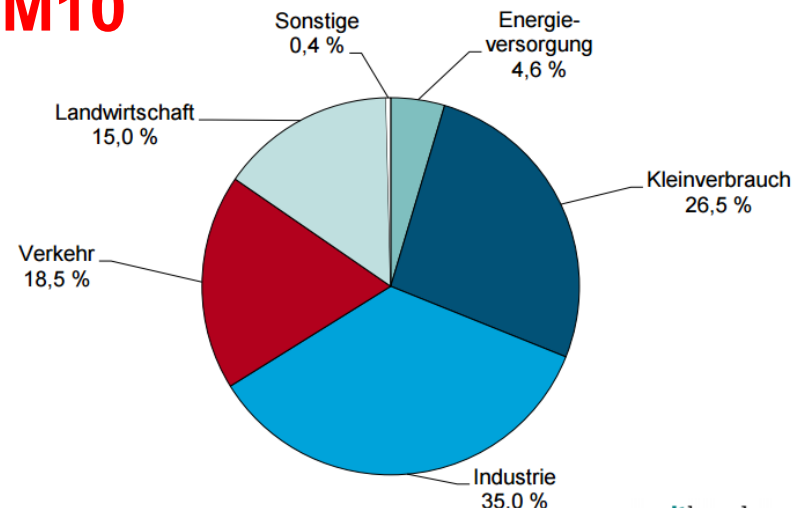
NO_x-Verursacher 2013



Quelle: UMWELTBUNDESAMT (2015c)

PM₁₀

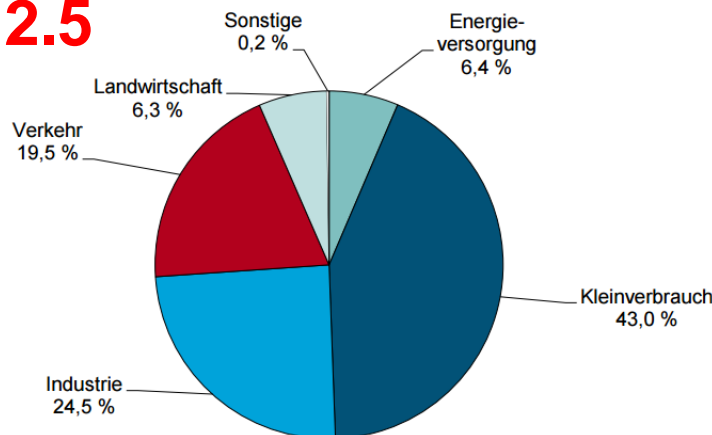
PM₁₀-Verursacher 2013



umweltbundesamt[®]

PM_{2,5}-Verursacher 2013

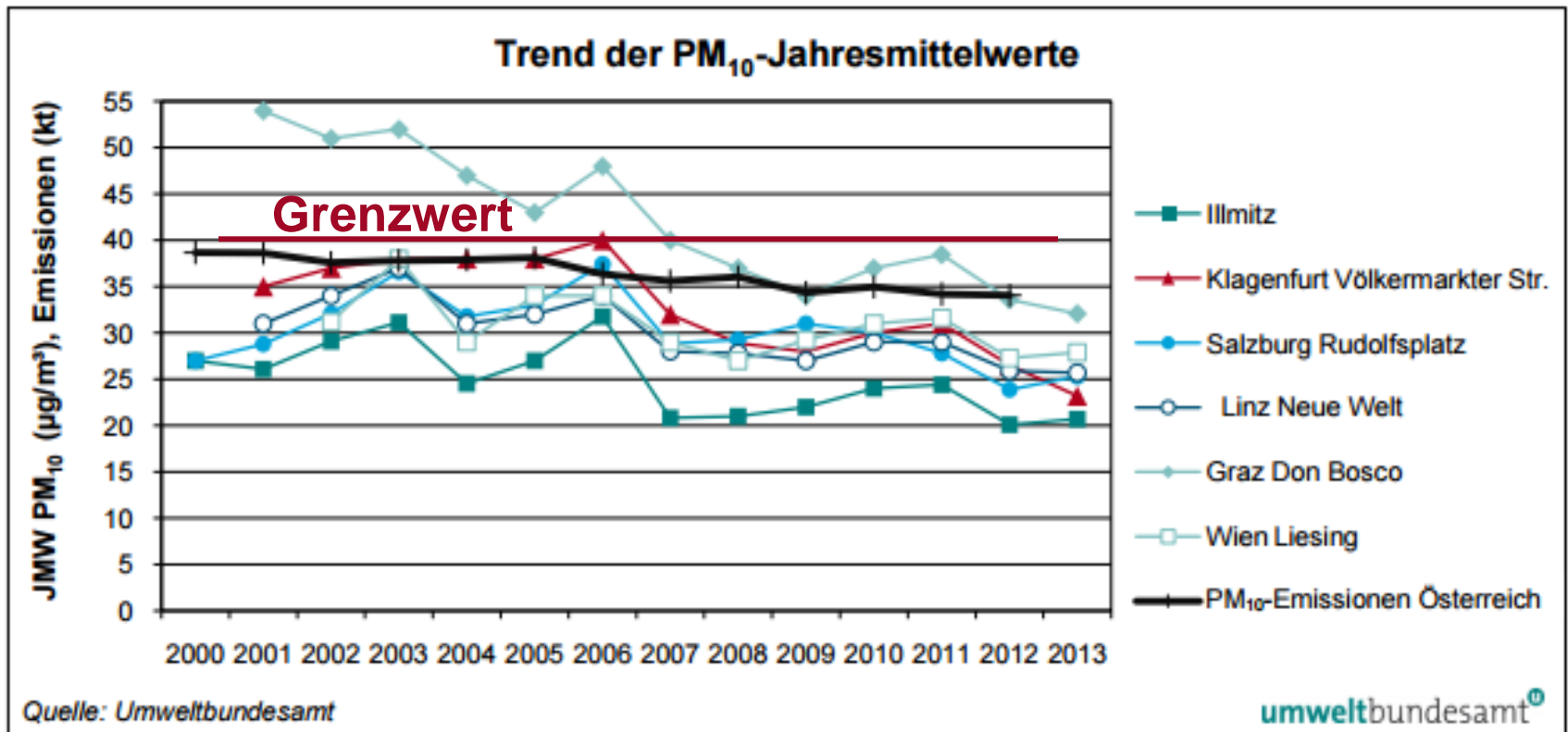
PM_{2.5}



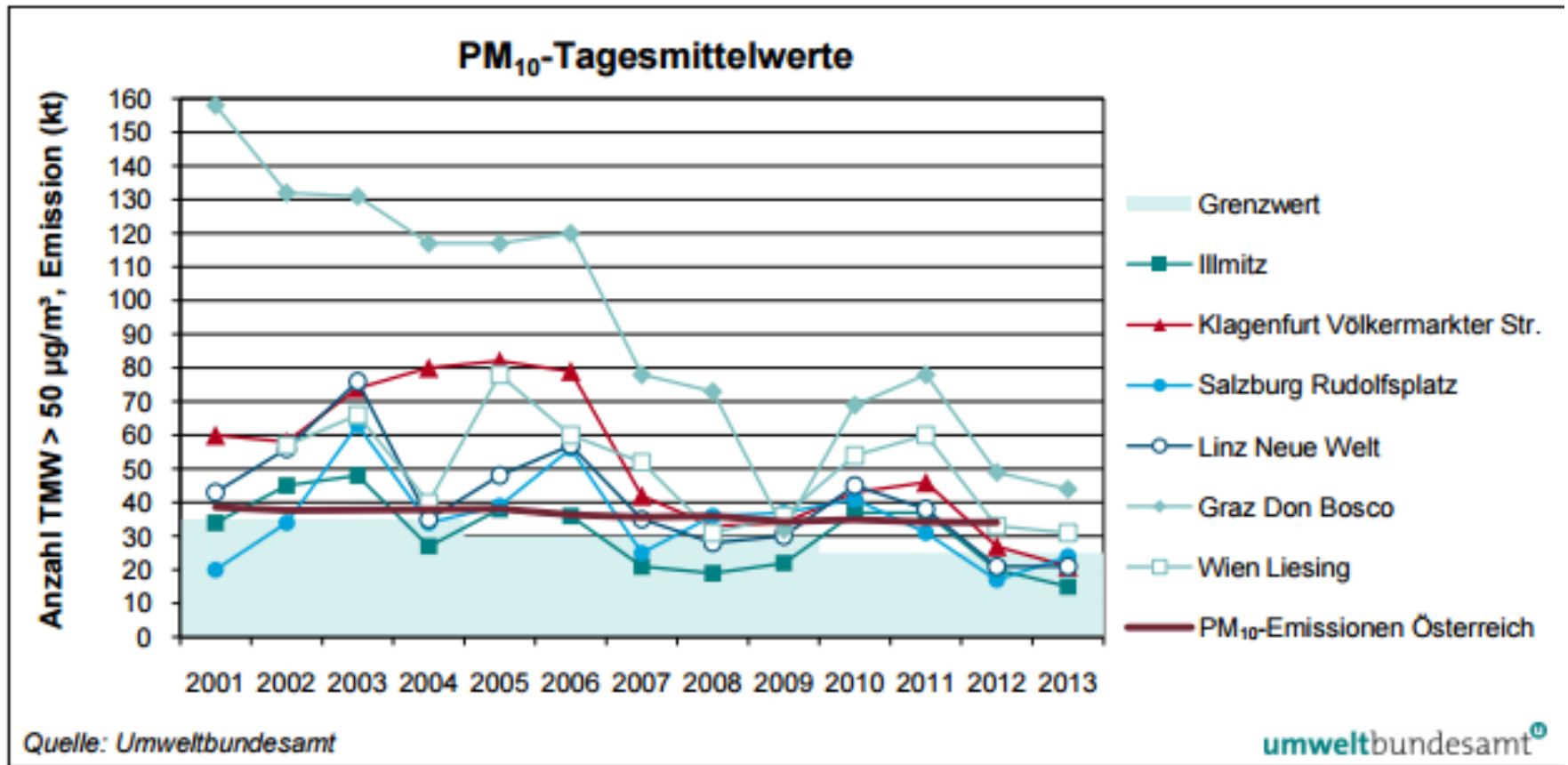
Quelle: UMWELTBUNDESAMT (2015c)

umweltbundesamt[®]

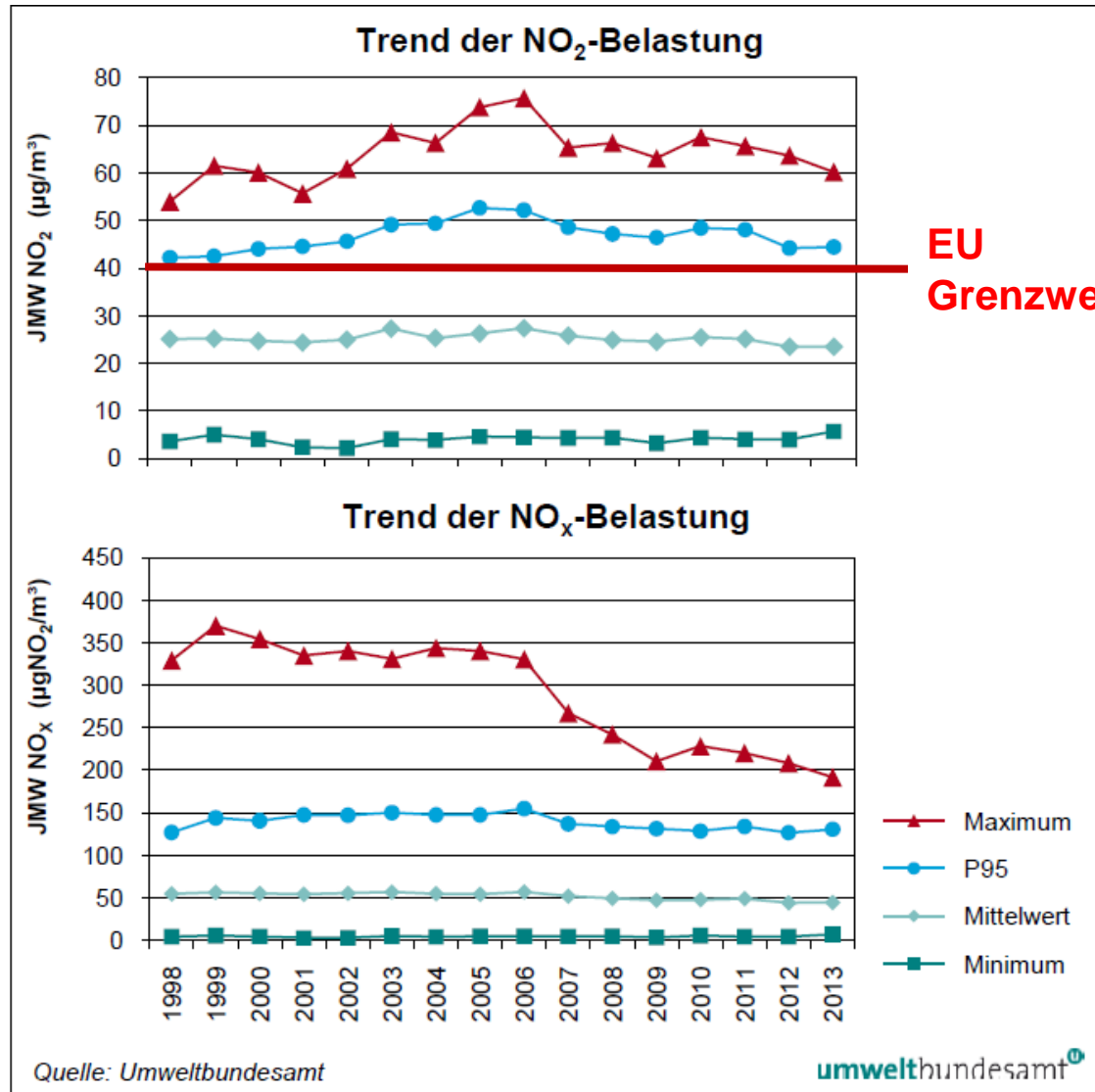
Luftgüte: Feinstaubbelastung PM10



Luftgüte: Feinstaubbelastung PM10



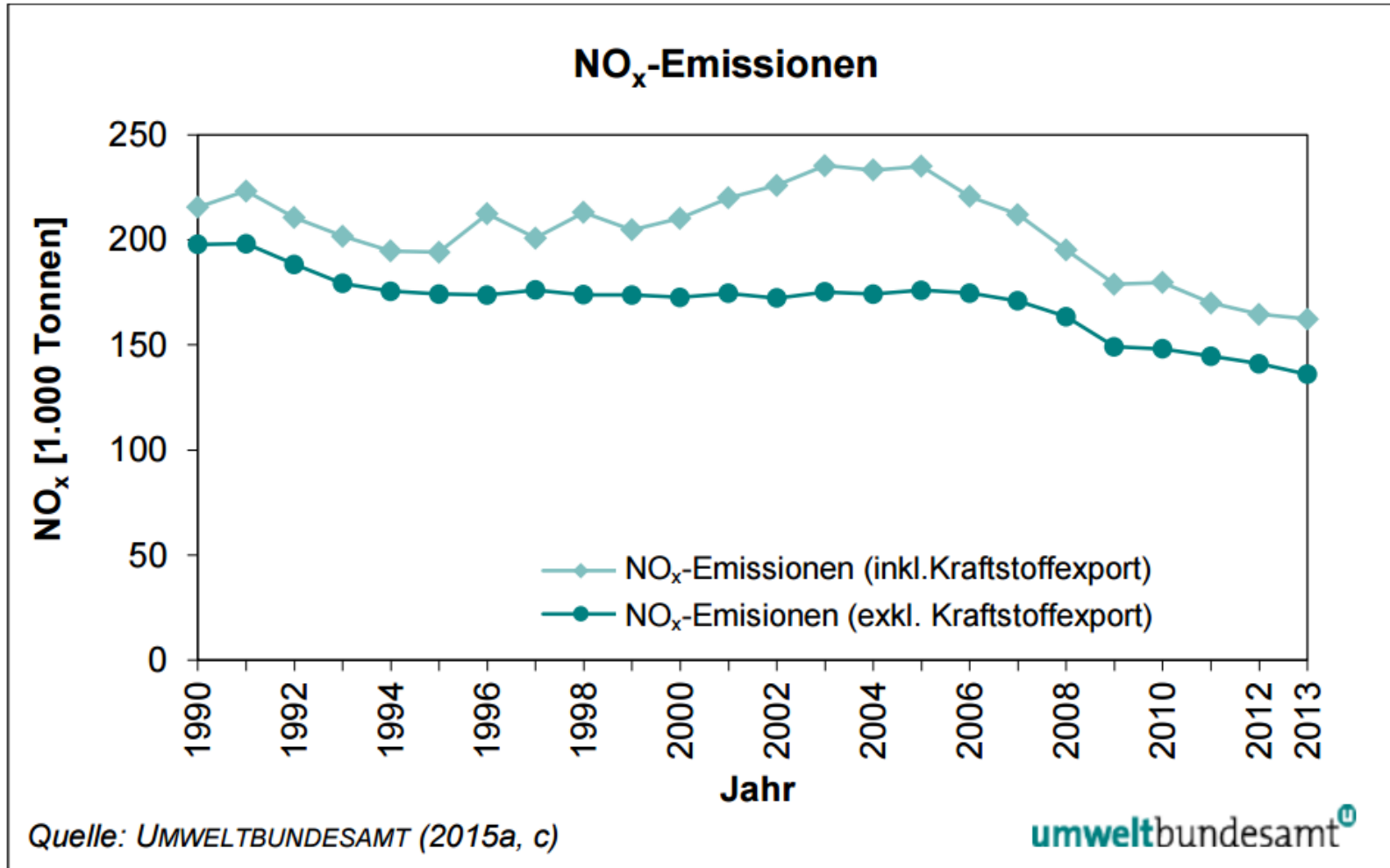
Luftgüte: Stickstoffdioxid NO₂



EU
Grenzwert

78
Messstellen

Zeitliche Entwicklung NO_x



Entwicklung Emissionsstandards PKW

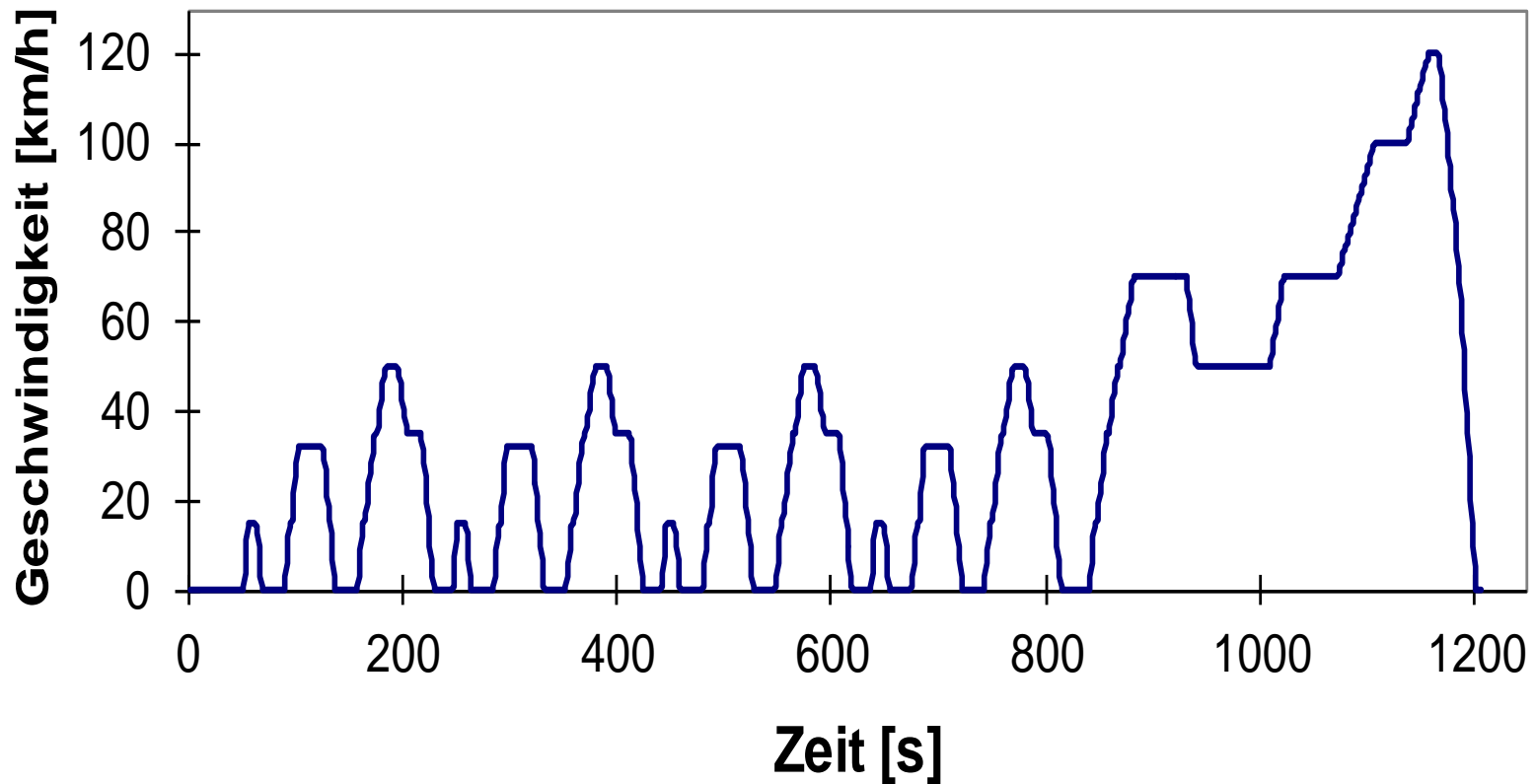
	Gültig ab	CO-B	CO-D	HC+NOx		NOx-		Partikel-		HC-B	HC-D
				-B	-D	B	NOx-D	B	D&B-DI		
ECE 15/00	1972	33.1	33.1			3	3			2.30	2.30
ECE 15/01	1975	26.4	26.4	6.25		3	3		1.6	2.00	2.00
ECE 15/02	1977	26.4	26.4	5.00		3	3			2.00	2.00
ECE 15/03	1979	21.5	21.5	4.30		2.5	2.5			1.80	1.80
ECE 15/04	1982	16.5	16.5	3.56	5.10						
EURO 1	1992	3.2	3.2	1.13	1.13				0.140		
EURO 2	1996	2.2	1.0	0.50	0.70				0.080		
EURO 3	2000	2.3	0.6	0.35	0.56	0.15	0.5		0.050	0.20	
EURO 4	2005	1.0	0.5	0.18	0.30	0.08	0.25		0.025	0.10	
EURO 5	2009	1.0	0.5	0.16	0.23	0.06	0.18	0.005	0.005	0.10	
EURO 6	2014	1.0	0.5	0.16	0.17	0.06	0.08	0.005	0.005	0.10	
SULEV (California)		1.0	1.0		0.03	0.02	0.02	0.010	0.010	0.01	

Emissionen in g/km

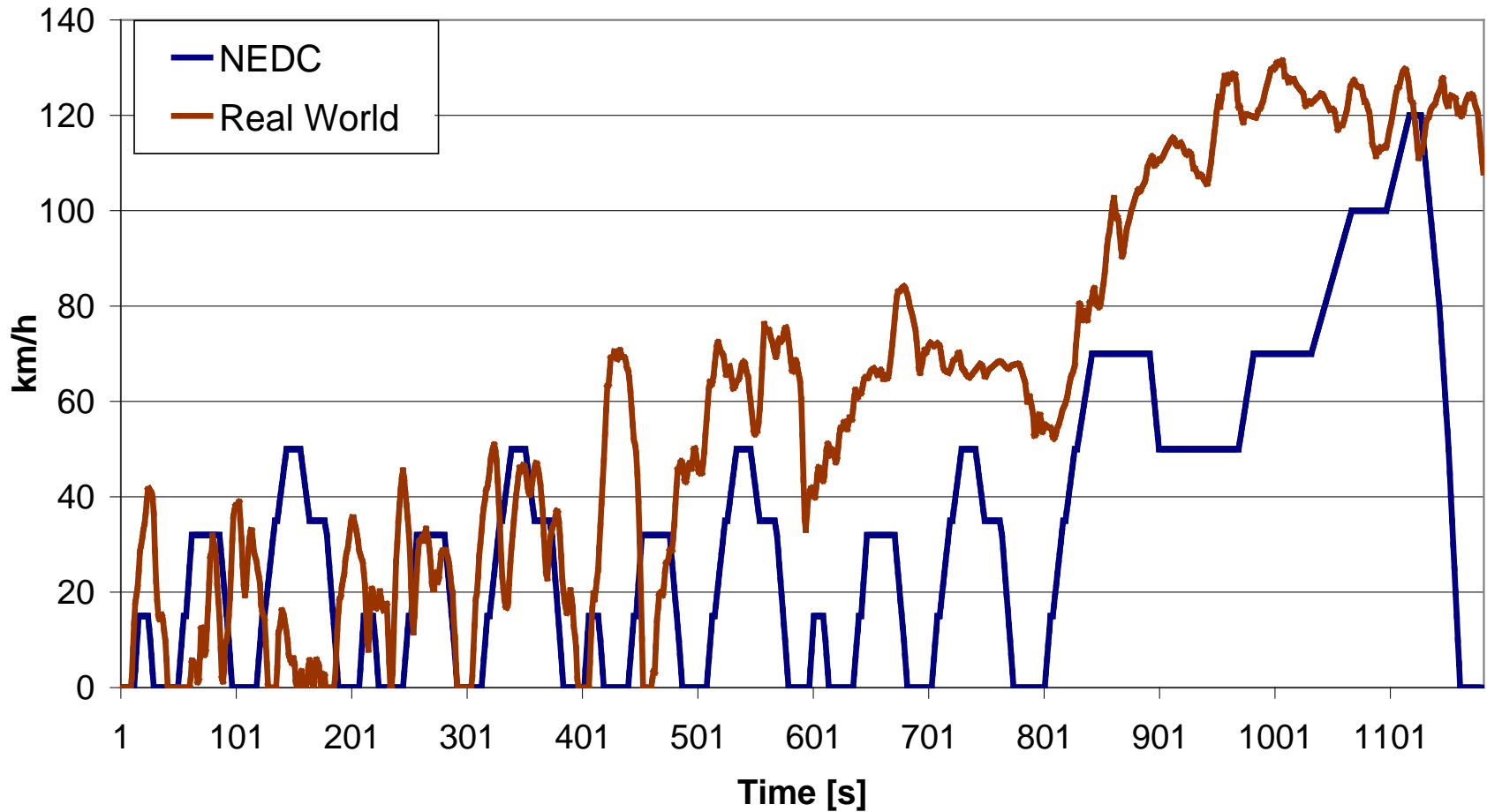
Entwicklung Emissionsstandards PKW

	Gültig ab	CO-B	CO-D	HC+NO x-B	HC+NOx -D	NOx-B	NOx-D	Partikel- D&B-DI	HC-B	HC-D
ECE 15/00	1972	125.4%	125.4%			100.0%	100.0%		115.0%	115.0%
ECE 15/01	1975	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
ECE 15/02	1977	100.0%	100.0%	80.0%		100.0%	100.0%		100.0%	100.0%
ECE 15/03	1979	81.4%	81.4%	68.8%		83.3%	83.3%		90.0%	90.0%
ECE 15/04	1982	62.5%	62.5%	57.0%	102.0%					
EURO 1	1992	12.0%	12.0%	18.1%	22.6%			8.8%		
EURO 2	1996	8.3%	3.8%	8.0%	14.0%			5.0%		
EURO 3	2000	8.7%	2.4%	5.6%	11.2%	5.0%	16.7%	3.1%	10.0%	
EURO 4	2005	3.8%	1.9%	2.9%	6.0%	2.7%	8.3%	1.6%	5.0%	
EURO 5	2009	3.8%	1.9%	2.6%	4.6%	2.0%	6.0%	0.3%	5.0%	
EURO 6	2014	3.8%	1.9%	2.6%	3.4%	2.0%	2.7%	0.3%	5.0%	
SULEV (California)	SULEV (California)	3.8%	3.8%	0.0%	0.6%	0.7%	0.7%	0.6%	0.5%	

Fahrzeugemissionen – Emissionsgesetzgebung

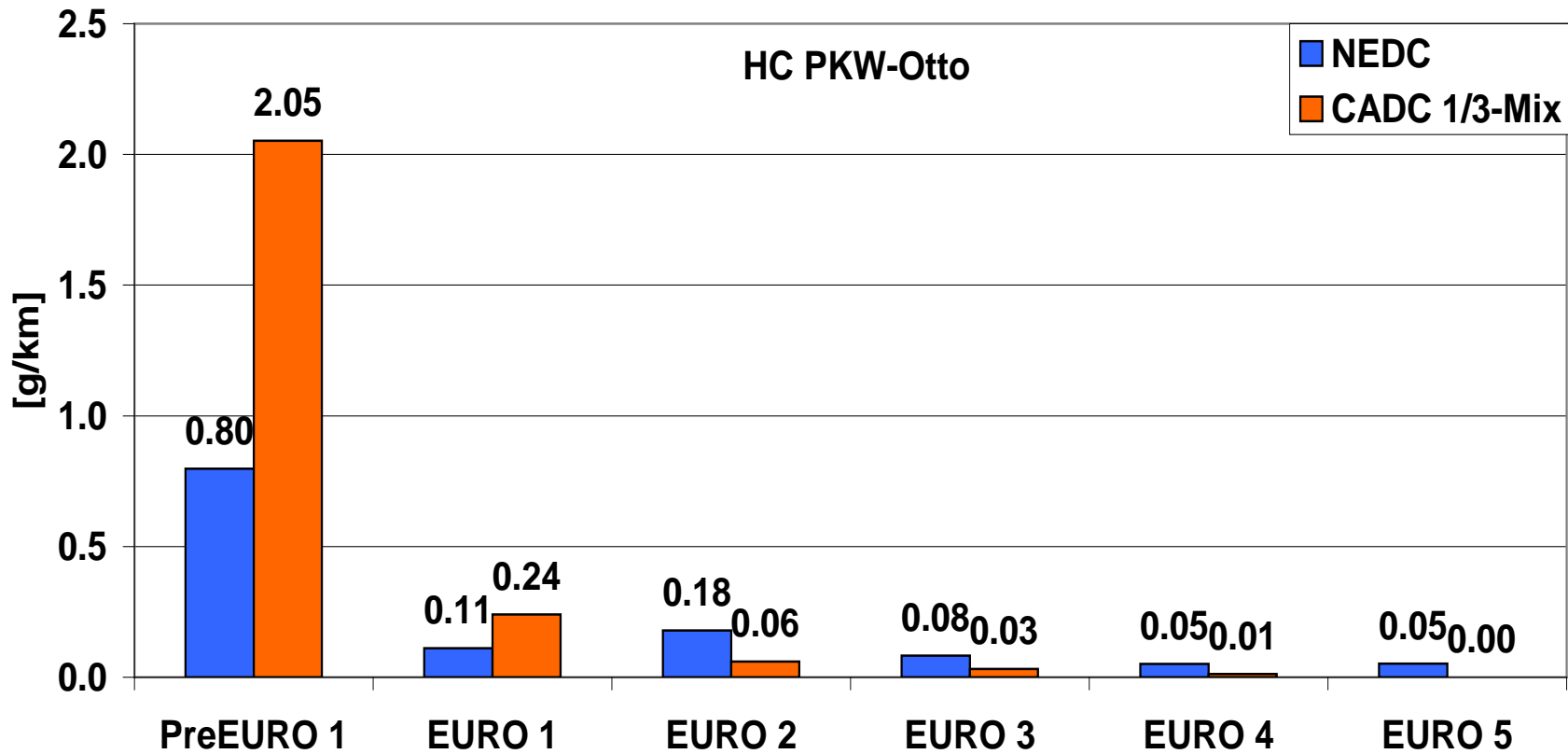


Emissionsgesetzgebung - Prüfzyklus

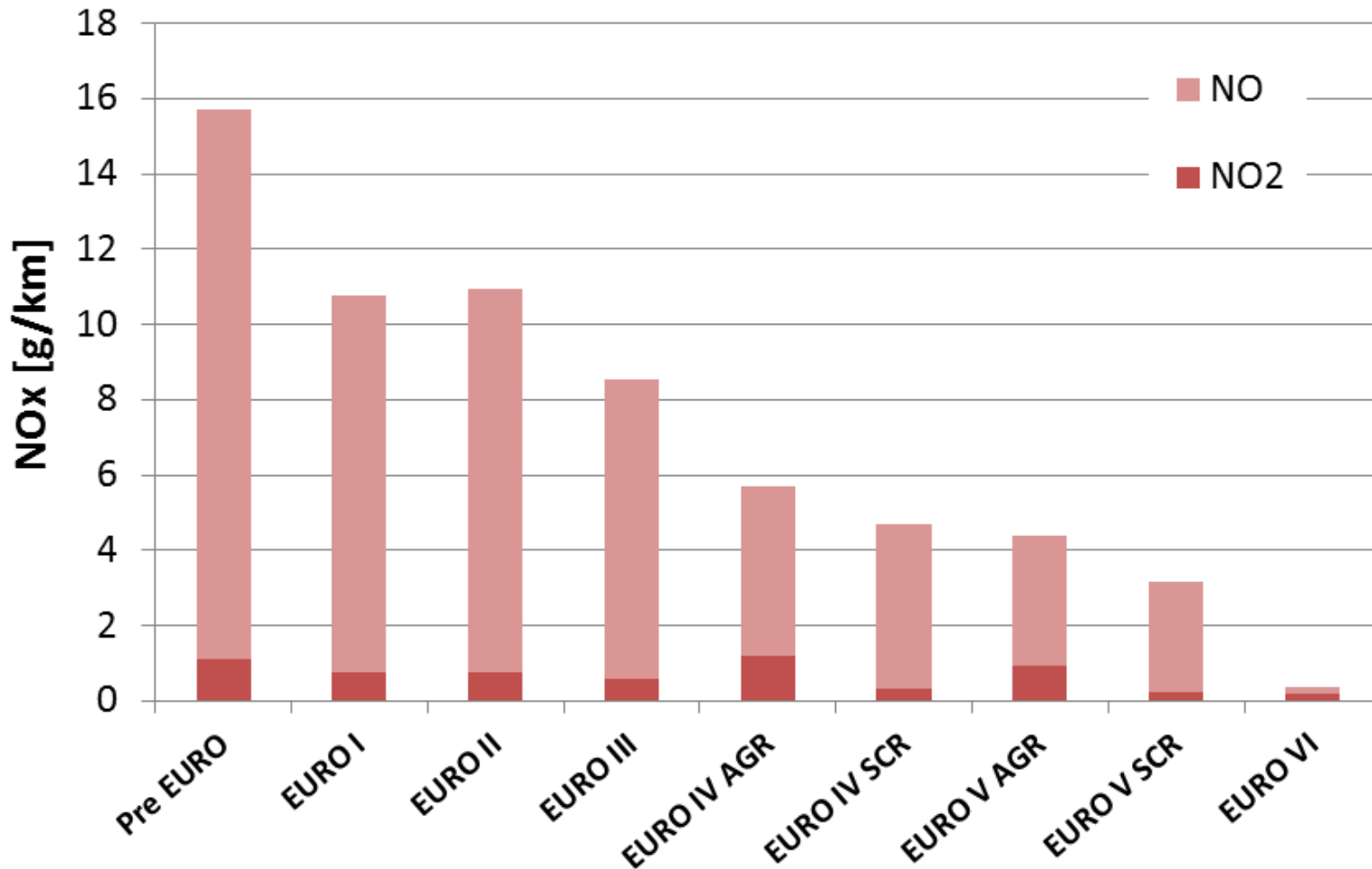


Real World = CADC (Common ARTEMIS Driving Cycle)

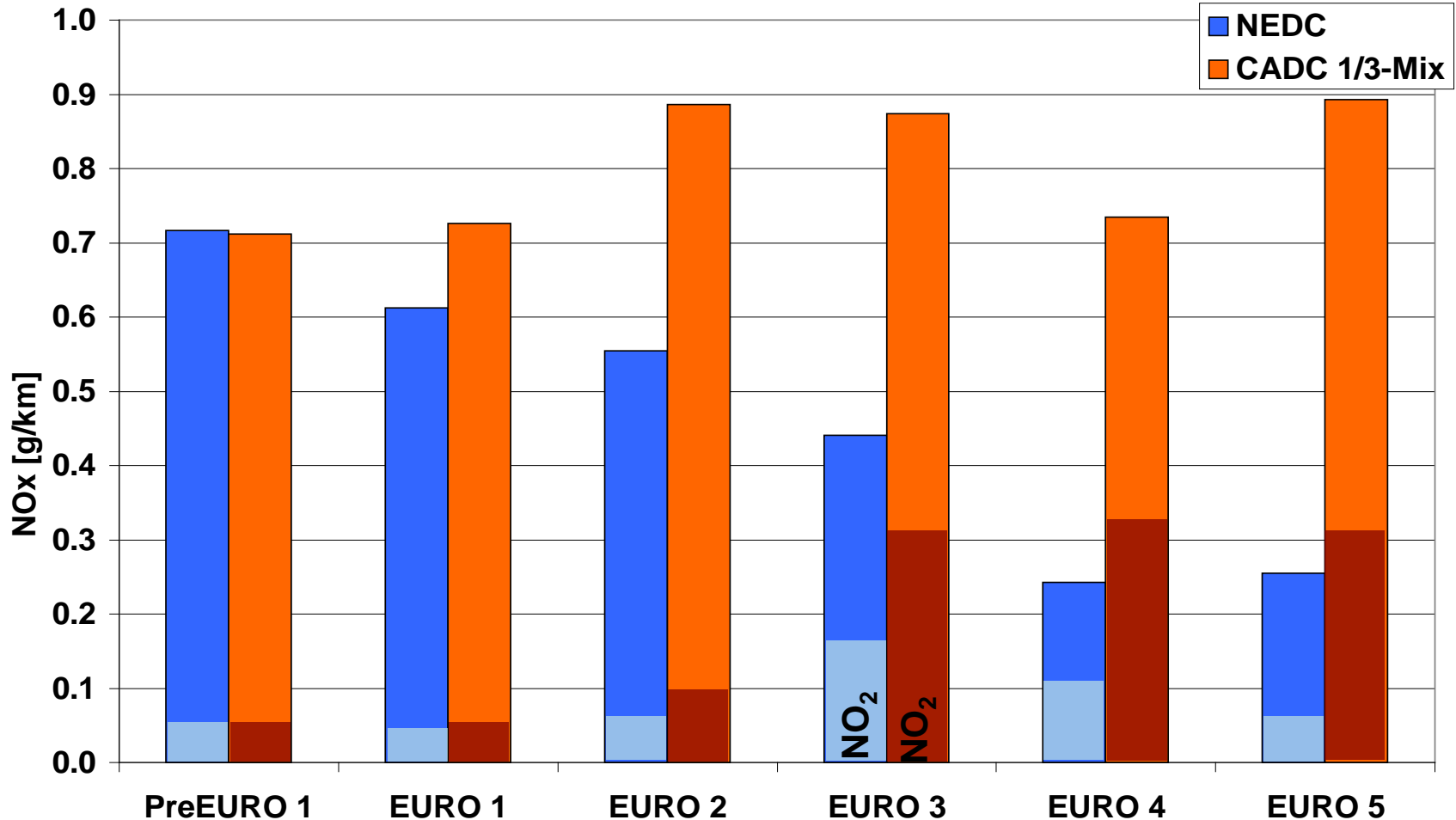
HC Emissionen im NEDC und im Realfahrzyklus CADAC



NOx Emissionen SNF im realen Betrieb (Bsp. 40t Lastzug, 50% beladen)

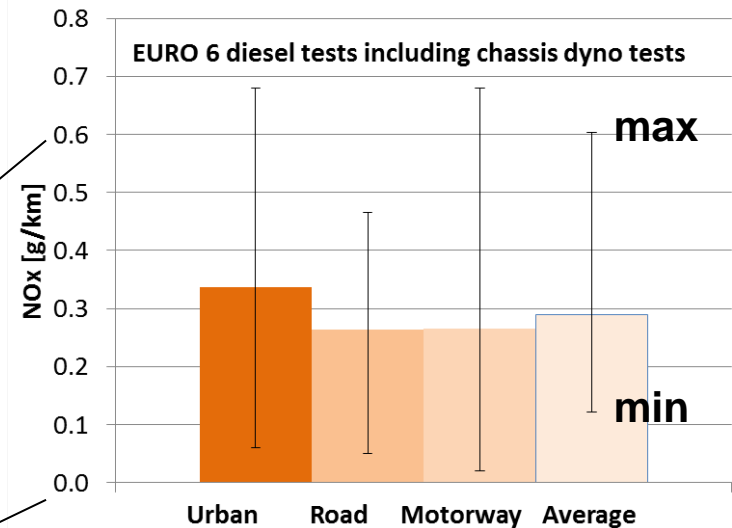
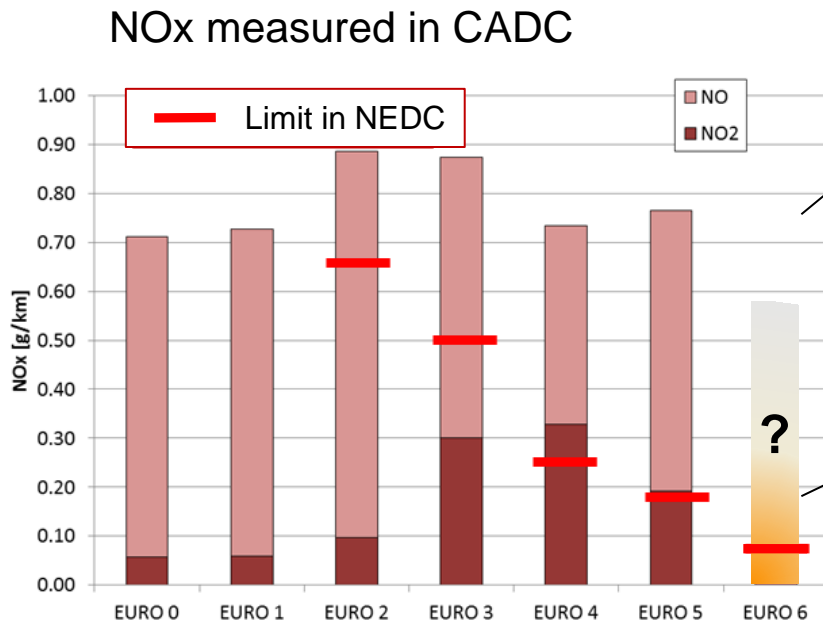


NO_x von D-PKW im NEDC und im CADC real world Zyklus



NOx- Diesel PKW

NOx Emissionen bei Realfahrzyklen zeigen nicht den erwartenden abnehmenden Trend. Aktuelle EURO 6 Modelle zeigen sehr unterschiedliche NOx Emissionswerte

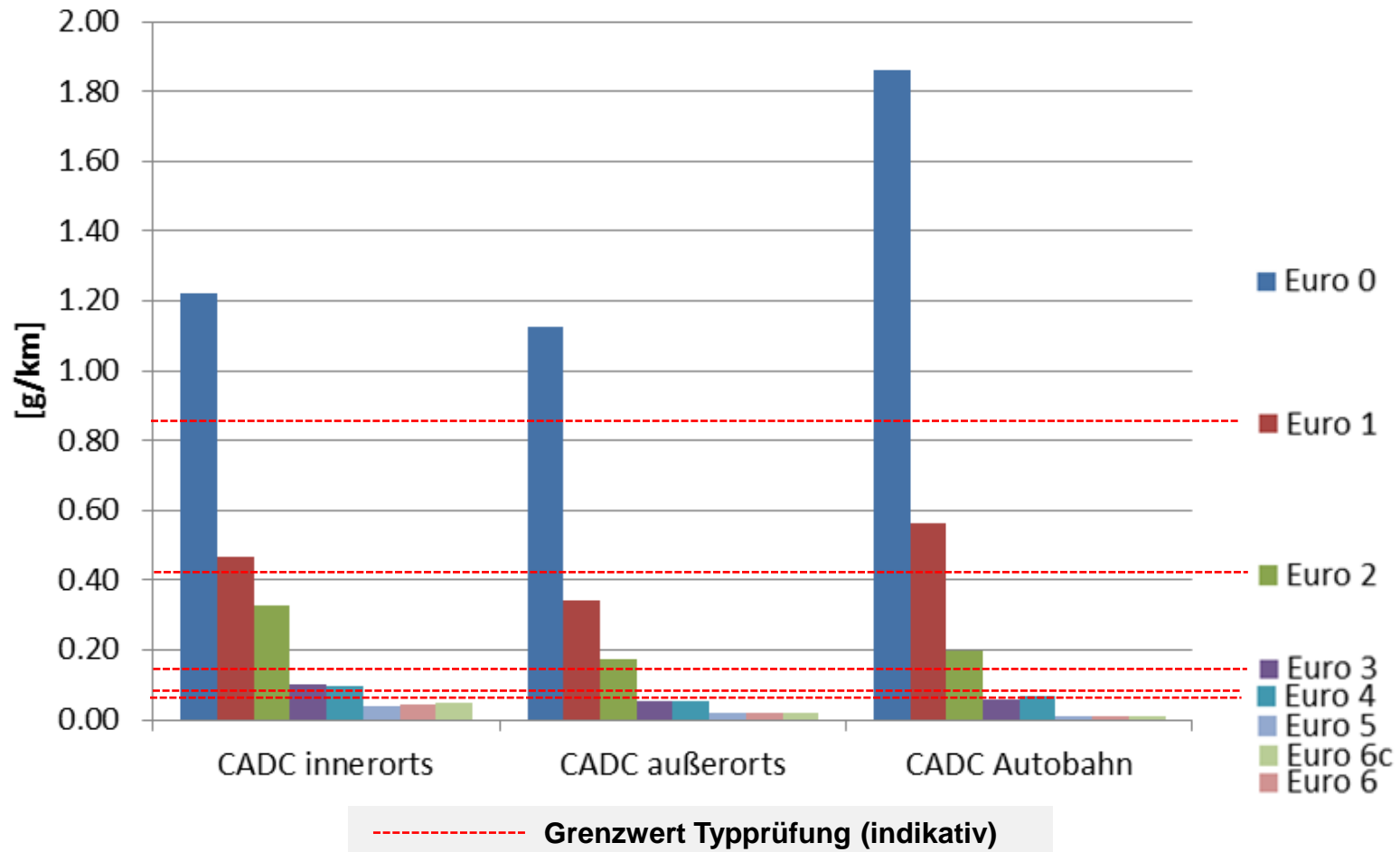


➔ **Forderung seit >10 Jahren: Messungen von Realfahrzyklen während der Zulassungstests sind unbedingt notwendig, um niedrige NOx Emissionen auch im Realbetrieb zu erhalten**

Daten von 54 EU 6 Diesel:
 PEMS ~ 25% über den Rollenprüfstandswerten, wobei niedrige Außentemperaturen bei den PMS Messungen und aggressiveres Fahrverhalten wahrscheinlich die Gründe dafür sind.

Ergebnisse Emissionsniveaus nach EURO-Klasse

PKW Benzin NO_x



Einfluss auf Emissionsmenge und Kraftstoffverbrauch

Zentrale Einflussfaktoren:

- Fahrdynamik
- Wirkungsgrad Motor, Antriebsstrang sowie Abgasnachbehandlung (Betriebstemperatur)

Strategien:

- gleichmäßige Fahrweise
- optimale Geschwindigkeiten im Bereich 40 bis 80 km/h
- über 80 km/h stark zunehmender Anteil des Fahrwiderstandes
- unter 40 km/h stark abnehmende Wirkungsgrade

Quantitative Aussagen zu Tempolimits

„Verkehrssituationen“ im HBEFA

- Emissionsfaktoren werden nach „Verkehrssituationen“ (VS) angegeben.
- 1 Fahrzyklus je VS
- Fahrzyklen aus Fahrverhaltensdaten aus Mitteleuropa (nicht Ö spezifisch)

Durchschnittsgeschwindigkeit [km/h]

Verkehrszustand: "flüssig"

Gebietstyp	Straßentyp	Tempolimit [km/h]										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Land	Autobahn						82.8	92.8	102.0	112.0	122.0	132.6
	Fern-,Bundesstraße				62.1	71.1	80.0	88.8	97.8	107.8		
	Hauptverkehrsstraße			48.9	57.9	66.9	76.1	85.1	94.0			
	Hauptverkehrsstraße, kurvig			35.0	44.0	52.7	62.2	71.1	80.0			
	Sammelstraße			46.5	55.1	63.7	72.2					
	Sammelstraße, kurvig			38.3	46.2	52.0	60.1					
Stadt	Autobahn						79.0	88.4	96.9	106.4	115.9	126.0
	Stadt-Autobahn				62.7	69.4	79.0	88.4	96.9	106.4		
	Fern-,Bundesstraße					65.8	74.4	86.3	95.1	103.0		
	Städtische Magistrale / Ringstraße			48.9	57.3	65.8	74.4	86.3				
	Hauptverkehrsstraße			45.1	52.0	66.3	70.1					
	Sammelstraße			46.6	51.2							
	Erschliessungsstraße	31.0	36.9	45.7								

Insgesamt 4 Verkehrszustände: flüssig, dicht, gesättigt, stop+go

Quantitative Aussagen zu Tempolimits

CO₂: PKW im Flottenmix 2015

CO₂ [g/km]

Verkehrszustand: "flüssig"

Gebietstyp	Straßentyp	Tempolimit [km/h]										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Land	Autobahn						120	120	124	138	151	164
	Fern-, Bundesstraße				113	116	118	118	123	134		
	Hauptverkehrsstraße			124	120	114	122	126	131			
	Hauptverkehrsstraße, kurvig			168	144	140	120	126	128			
	Sammelstraße			139	122	122	123					
	Sammelstraße, kurvig			151	152	146	121					
Stadt	Autobahn						115	125	122	138	151	163
	Stadt-Autobahn				116	108	115	125	122	138		
	Fern-, Bundesstraße					124	120	122	121	129		
	Städtische Magistrale / Ringstraße			132	129	124	120	122				
	Hauptverkehrsstraße			146	133	124	116					
	Sammelstraße			139	134							
	Erschliessungsstraße	196	153	140								

Abschätzung von Wirkung Tempolimits (Österreich):

- **AB T130 vs T100:** 151 vs 123 [g/km] → -19% (flüssig) bzw. -13% (dicht) → **ca. -16%**
- **AO BStr T100 vs T80:** Abhängig vom Straßentyp, in der Regel einige wenige Prozent **Abnahme** (Achtung bei Interpretation HVS, bei unterschiedlichen TL andere Anlageverhältnisse)
- Aussagen beziehen sich nur auf PKW (und LNF), je nach SV-Anteil und Überholmöglichkeit ändert sich das Reduktionspotenzial

Quantitative Aussagen zu Tempolimits

NOx: PKW im Flottenmix 2015

NOx [g/km]

Verkehrszustand: "flüssig"

Gebietstyp	Straßentyp	Tempolimit [km/h]										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Land	Autobahn						0.26	0.30	0.32	0.37	0.45	0.60
	Fern-,Bundesstraße				0.27	0.29	0.26	0.29	0.32	0.37		
	Hauptverkehrsstraße			0.27	0.26	0.27	0.29	0.32	0.36			
	Hauptverkehrsstraße, kurvig			0.44	0.35	0.35	0.28	0.29	0.32			
	Sammelstraße			0.36	0.29	0.29	0.31					
	Sammelstraße, kurvig			0.37	0.39	0.40	0.30					
Stadt	Autobahn						0.28	0.30	0.33	0.42	0.49	0.59
	Stadt-Autobahn				0.24	0.25	0.28	0.30	0.33	0.42		
	Fern-,Bundesstraße					0.31	0.27	0.31	0.31	0.35		
	Städtische Magistrale / Ringstraße			0.32	0.34	0.31	0.27	0.31				
	Hauptverkehrsstraße			0.33	0.32	0.31	0.28					
	Sammelstraße			0.34	0.32							
	Erschliessungsstraße	0.48	0.35	0.33								

Abschätzung von Wirkung TL (Österreich):

- **AB T130 vs T100: 0,47 vs 0,33 [g/km] → -31% (flüssig) bzw. -22% (dicht) → ca. -25%**
- **AO BStr T100 vs T80: Abhängig vom Straßentyp, um 10 bis 20% Reduktion möglich (Achtung bei Interpretation HVS, bei unterschiedlichen TL andere Anlageverhältnisse)**
- **Aussagen beziehen sich nur auf PKW (und LNF), je nach SV-Anteil und Überholmöglichkeit ändert sich das Reduktionspotenzial**

Zusammenfassung

- **Diesel-PKW und LNF stellen emissionsseitig derzeit das größte Problem hinsichtlich nicht eintretender NO₂ Verbesserungen der Luftgüte dar (zusätzlich zum steigenden Verkehrsaufkommen)**
- **Größenordnungen der wichtigsten Effekte von Tempolimits (PKW, 2015) anhand HBEFA3.2:**

z.B. T100 → T80	NO _x	CO ₂	PM ₁₀ mot.
Fern-, Bundesstraße	-20%	-4%	-15%
Hauptverkehrsstraße	-20%	-7%	-8%
Hauptverkehrsstraße kurvig	-10%	-6%	-6%

- **Bei Freilandstraßen spielen die Anlagenverhältnisse (Kurvigkeit , Steigungen, Überholmöglichkeiten, udgl.) eine sehr große Rolle, sodass die o.a. Veränderungen nur indikativ sind. Streckenbezogene Untersuchungen sind notwendig**
- **Bei SNF haben strengere Tempolimits emissionsseitig keine Vorteile**

Kontakt & Information

Ao.Univ.-Prof. Dr. Peter Sturm

Tel: +43 316 873 30201

Email: sturm@ivt.tugraz.at

Dr. Martin Rexeis

Tel: +43 316 873 30270

Email: rexeis@ivt.tugraz.at

Technische Universität Graz

Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik

<http://www.ivt.tugraz.at/>