

# **Ökologische Folgen von Elektroautos - Wie sinnvoll ist die Förderung von Elektro- und Hybridautos?**

- 1. Ökobilanz von Elektro-PKW**
- 2. Elektro- und Hybrid-PKW und CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung**
- 3. Rebound-Effekte**
- 4. Unfallrisiko**
- 5. Bewertung des Münchner Modells zur Förderung der E-Mobilität**
- 6. Voraussetzungen für eine ökologische E-Mobilität**

**Dieter Teufel**

**UPI – Umwelt- und Prognose-Institut, Heidelberg**

**München 10.3.2016**

**UPI März 2016**



# Handlungsprogramm zur Förderung der Elektromobilität in München – 22 Millionen Euro

## Subventionierung ab 1. April 2016:

- 4 000 € je Anschaffung eines E-Fahrzeugs
- + 1 000 € pro E-Fahrzeug bei Ersetzen eines Fahrzeugs
- + 500 € bei Betankung mit Ökostrom
- **Kombinierte Förderung zulässig** (Förderrichtlinie Abs. 1.6)
- **Ladepunkte: 20 % der Gesamtkosten bis max. 1 500 €**

## Antragsberechtigt sind

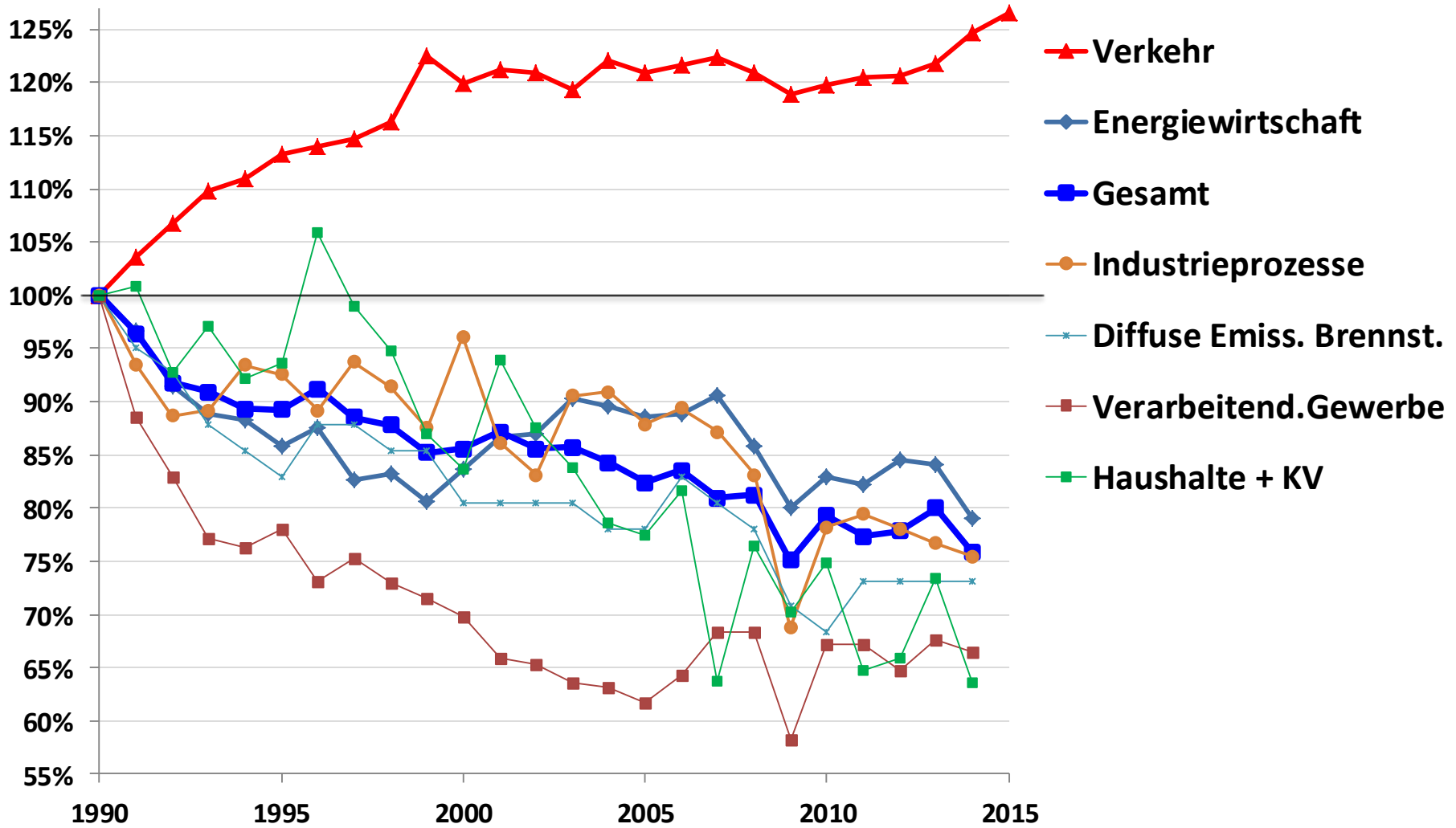
- **Gewerbebetriebe und Unternehmen**
- **Freiberuflich tätige Personen**
- **Gemeinnützig anerkannte Organisationen**

## Begründung:

1. **Klimaschutz**
2. **Immissionsschutz (NO<sub>x</sub>, Feinstäube)**
3. **flächendeckende Lärminderung**

# CO<sub>2</sub>-Emissionen Deutschland, Trend

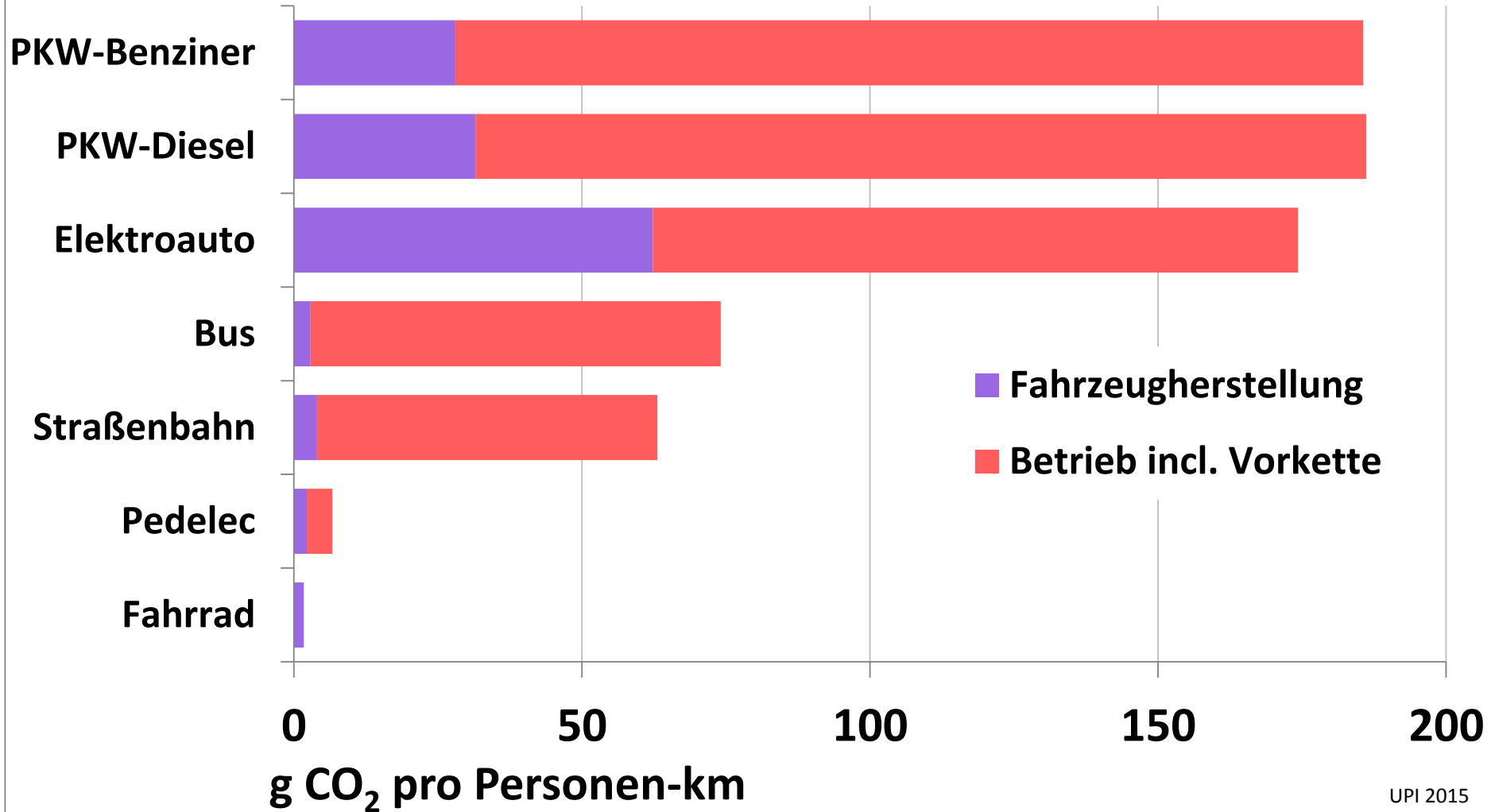
1990 = 100%



UPI 2015



# CO<sub>2</sub>-Emissionen Verkehrsmittel (Ø D)

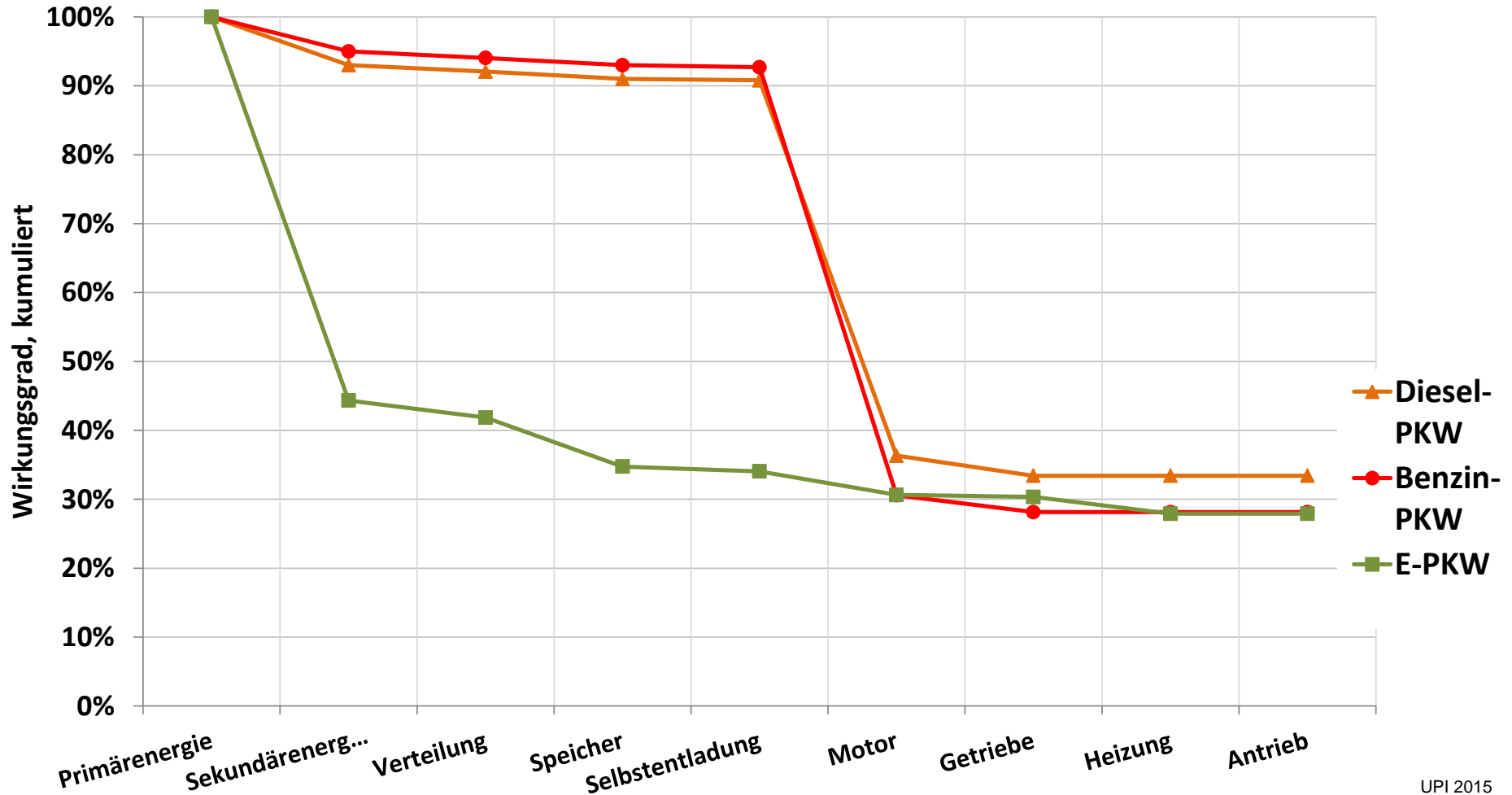


UPI 2015



# Energieausnutzung PKW

Benzin, Diesel, Elektrizität

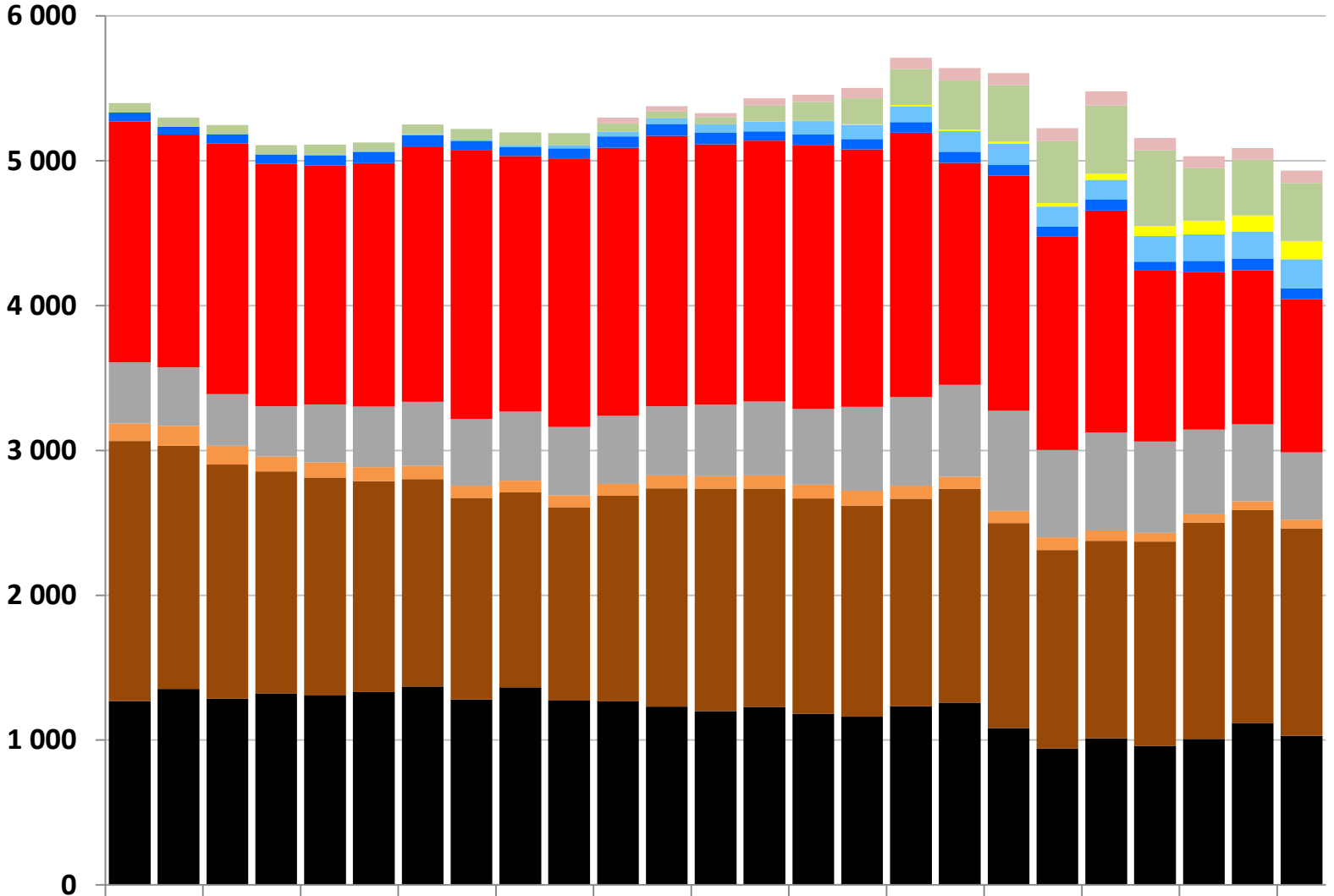


UPI 2015



Primärenergie-Einsatz, PJ/a

# Stromerzeugung Deutschland

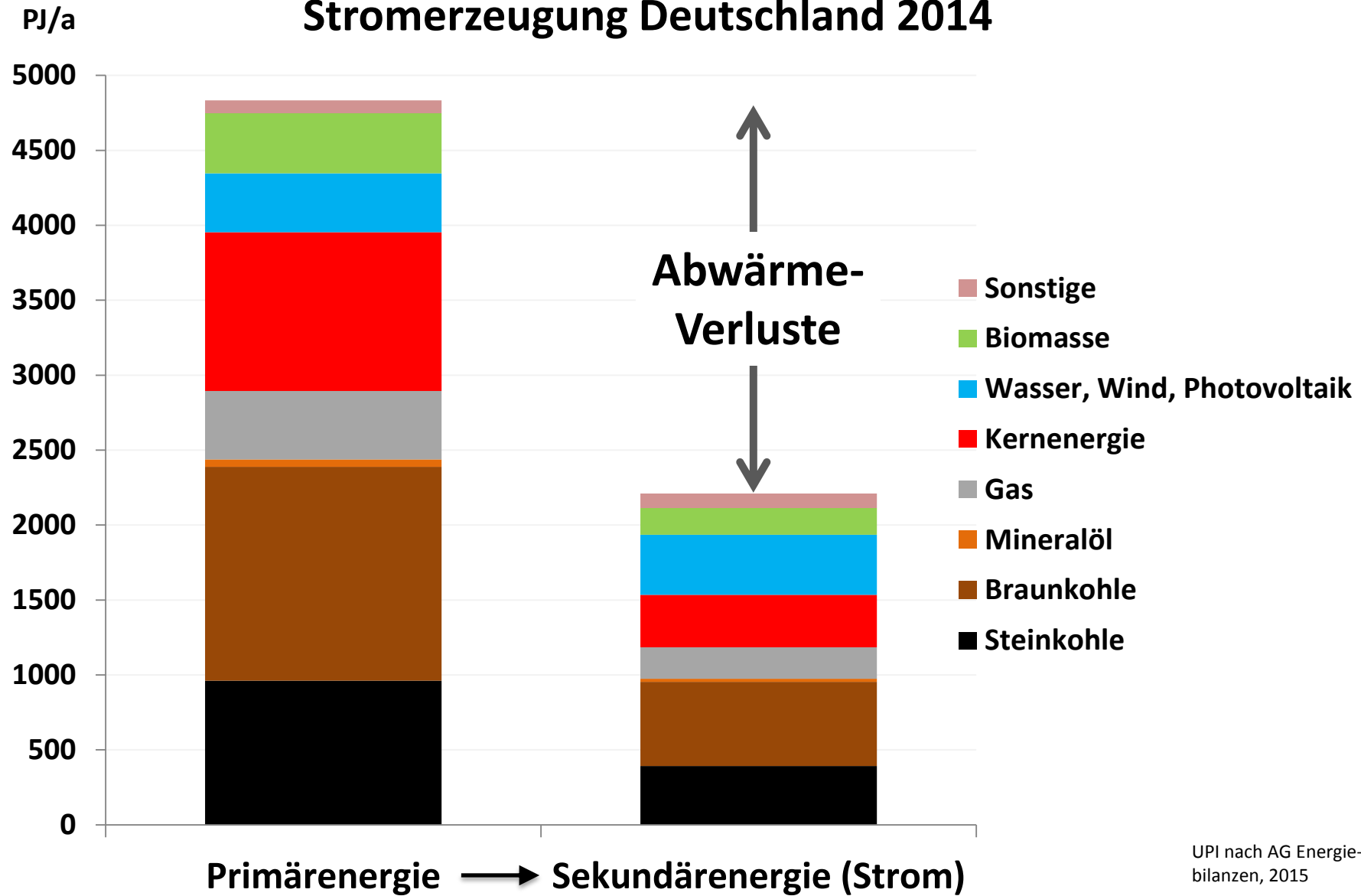


- Sonstige
- Biomasse
- Photovoltaik
- Wind
- Wasser
- Kernenergie
- Gas
- Mineralöl
- Braunkohle
- Steinkohle

1990 1992 1994 1996 1998 2000 2002 2004 2006 2008 2010 2012 2014

UPI, 2015

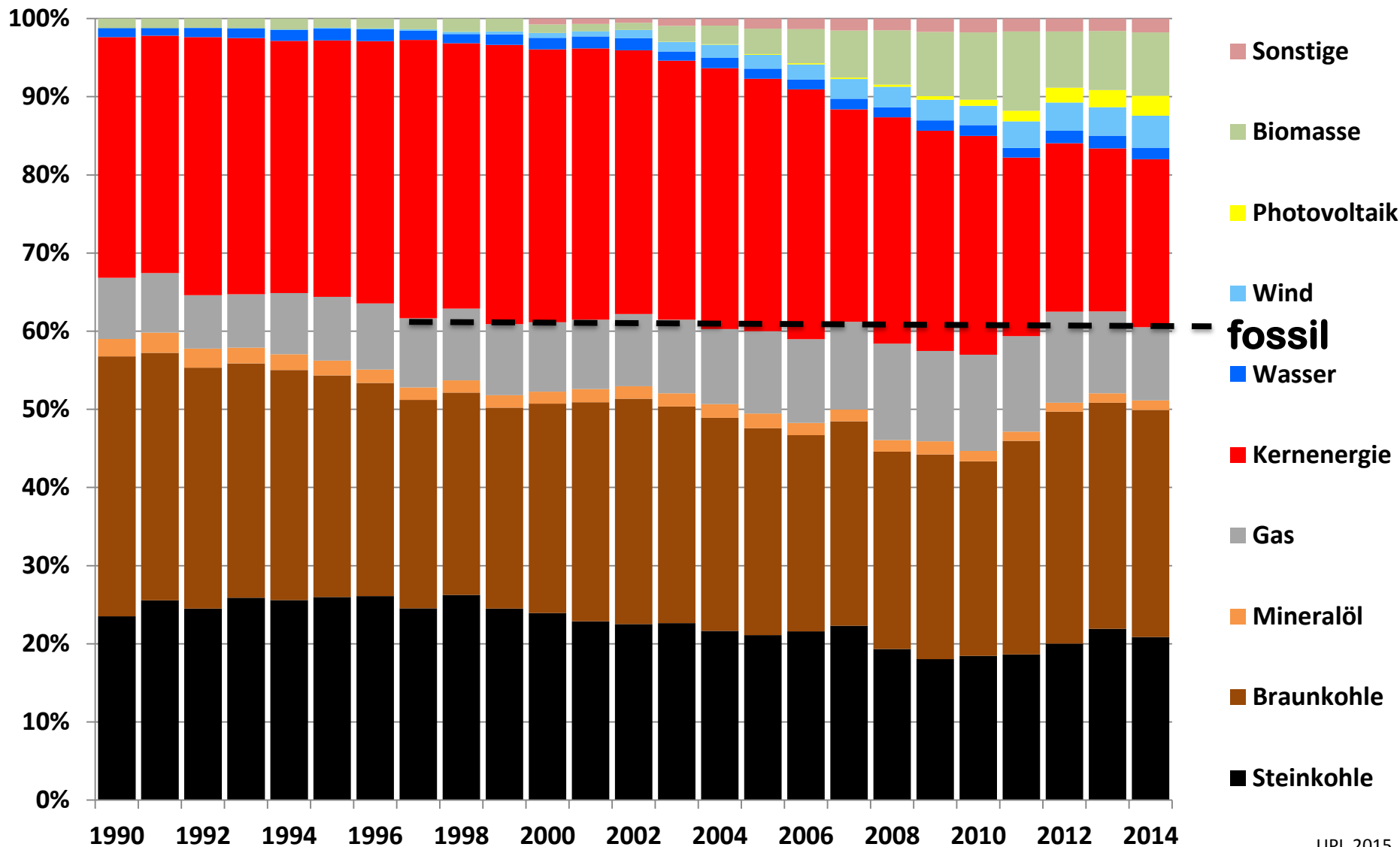
# Stromerzeugung Deutschland 2014



UPI nach AG Energiebilanzen, 2015



# Stromerzeugung Deutschland

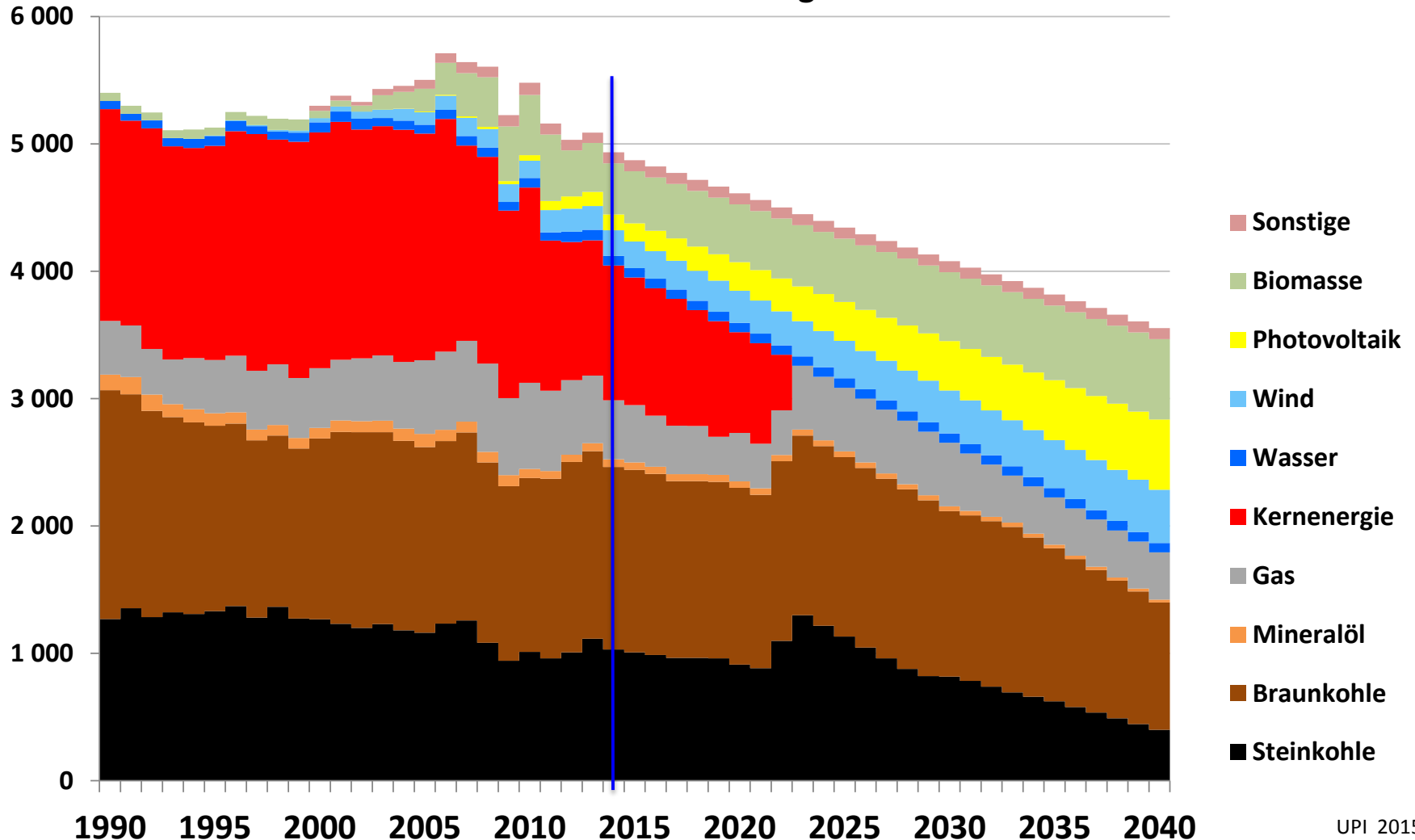




# Primärenergieeinsatz Stromerzeugung D

ab 2015 Prognose

Primärenergie, PJ/Jahr



UPI 2015

## Prognose-Annahmen:

- Der Zuwachs von Wasser-, Wind-, Photovoltaik- und Biomassestrom erfolgt in der Zukunft in derselben Geschwindigkeit wie im Durchschnitt der letzten 7 Jahre (optimistische Annahme wegen Änderung EEG)
- Der Stromverbrauch entwickelt sich wie im Durchschnitt der letzten 10 Jahre
- Die Kohleabgabe wird nicht eingeführt
- Die Kraftwerke werden nach betriebswirtschaftlichen Kriterien betrieben

UPI März 2016

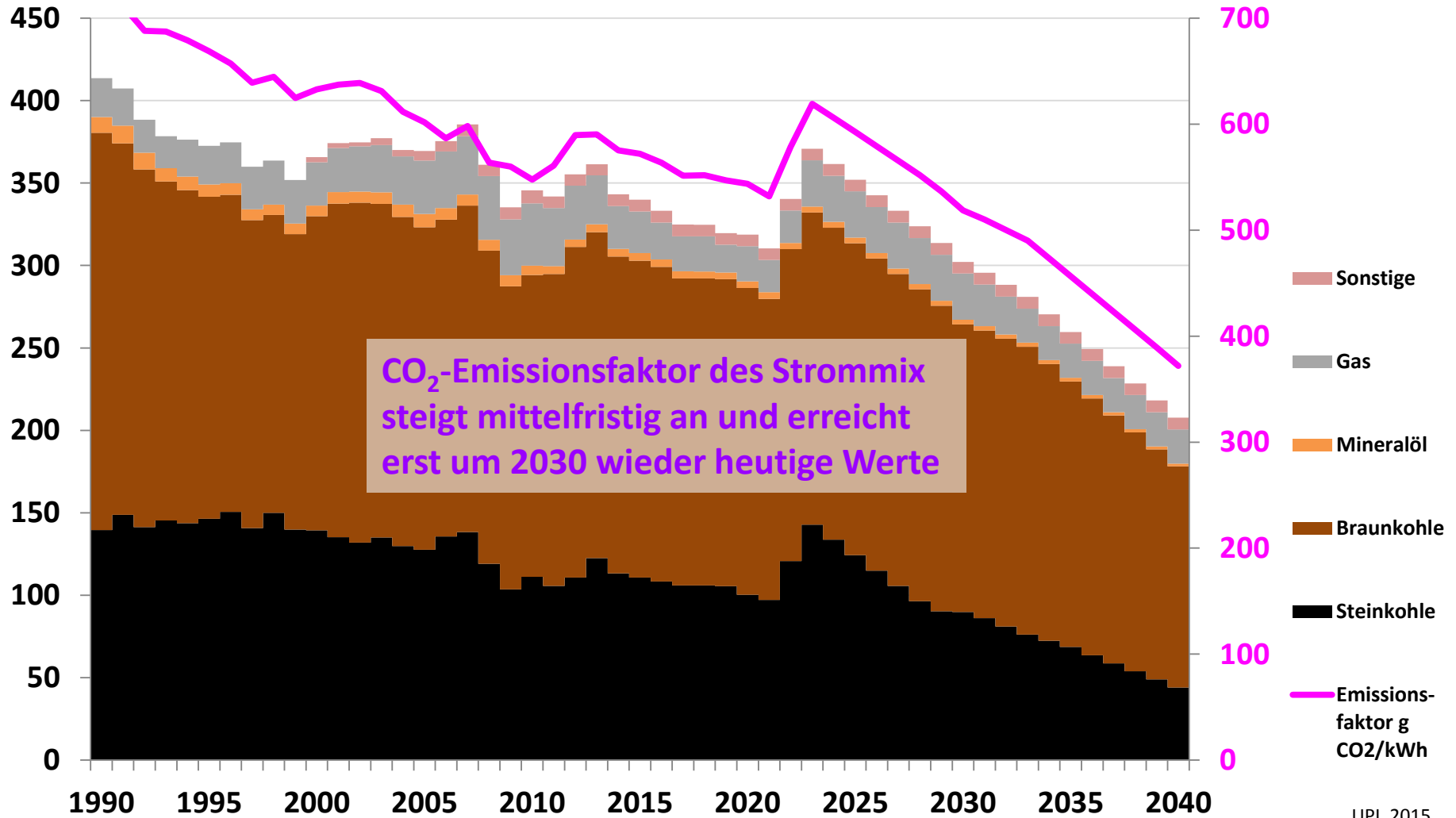


# CO<sub>2</sub>-Emissionen Stromerzeugung Deutschland

ab 2015 Prognose

Mio t CO<sub>2</sub>/Jahr

Emissionsfaktor g CO<sub>2</sub>/kWh



UPI 2015

Optimistische Prognoseannahmen !

UPI März 2016



# Öko-zertifizierter Strom

Z.B. Renewable Energy Certificate System (RECS)

Wasserkraftwerke in Skandinavien und der Schweiz verkaufen für jede erzeugte MWh Strom ein RECS-Zertifikat. Jeder Stromanbieter kann das Zertifikat aufkaufen und dadurch einen Ökostromtarif anbieten. Physikalisch liefert er aber weiterhin z.B. Atom- oder Kohlestrom, nur auf dem Papier liefert er Ökostrom. An der Stromzusammensetzung ändert sich nichts.

Allein in Skandinavien wird so viel Wasserkraft-Strom gewonnen, **dass mit den zugehörigen Zertifikaten der gesamte deutsche Atom- und Kohlestrom für Haushaltskunden zu Ökostrom umdeklariert werden kann.**

Stiftung Warentest <https://www.test.de/Strom-Der-Wechsel-lohnt-1132700-1132740/>



# Öko-Strom ?

Anteil Öko-Strom an Endenergie: 30%

Gedankenexperiment:

30% der Bevölkerung haben Öko-Strom-Tarif

70% der Bevölkerung haben keinen Öko-Strom

**Ändert sich dadurch die CO<sub>2</sub>-Emission ?**

**Nein. Der Emissionsfaktor des Stromverbrauchs bleibt gleich.**

## 2. Elektroautos und Gesetzgebung PKW-CO<sub>2</sub>-Emissionen - Flottenemissionsgrenzwerte

**VERORDNUNG (EG) Nr. 443/2009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES**  
vom 23. April 2009

zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen  
in Verbindung mit

**VERORDNUNG (EG) Nr. 715/2007 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES**  
vom 20. Juni 2007

über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6)

**VERORDNUNG (EU) Nr. 333/2014 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES**  
vom 11. März 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 443/2009 hinsichtlich der Festlegung der Modalitäten für das Erreichen des Ziels für 2020 zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen neuer Personenkraftwagen

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=OJ:L:2014:103:TOC>



## 2. Elektro- und Hybrid-PKW innerhalb der CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung

Verordnungen (EG) 443/2009, 715/2007 und 333/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates  
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=OJ:L:2014:103:TOC>

Jeder Autohersteller muss im Durchschnitt seiner verkauften PKW-Flotte folgende Grenzwerte einhalten:

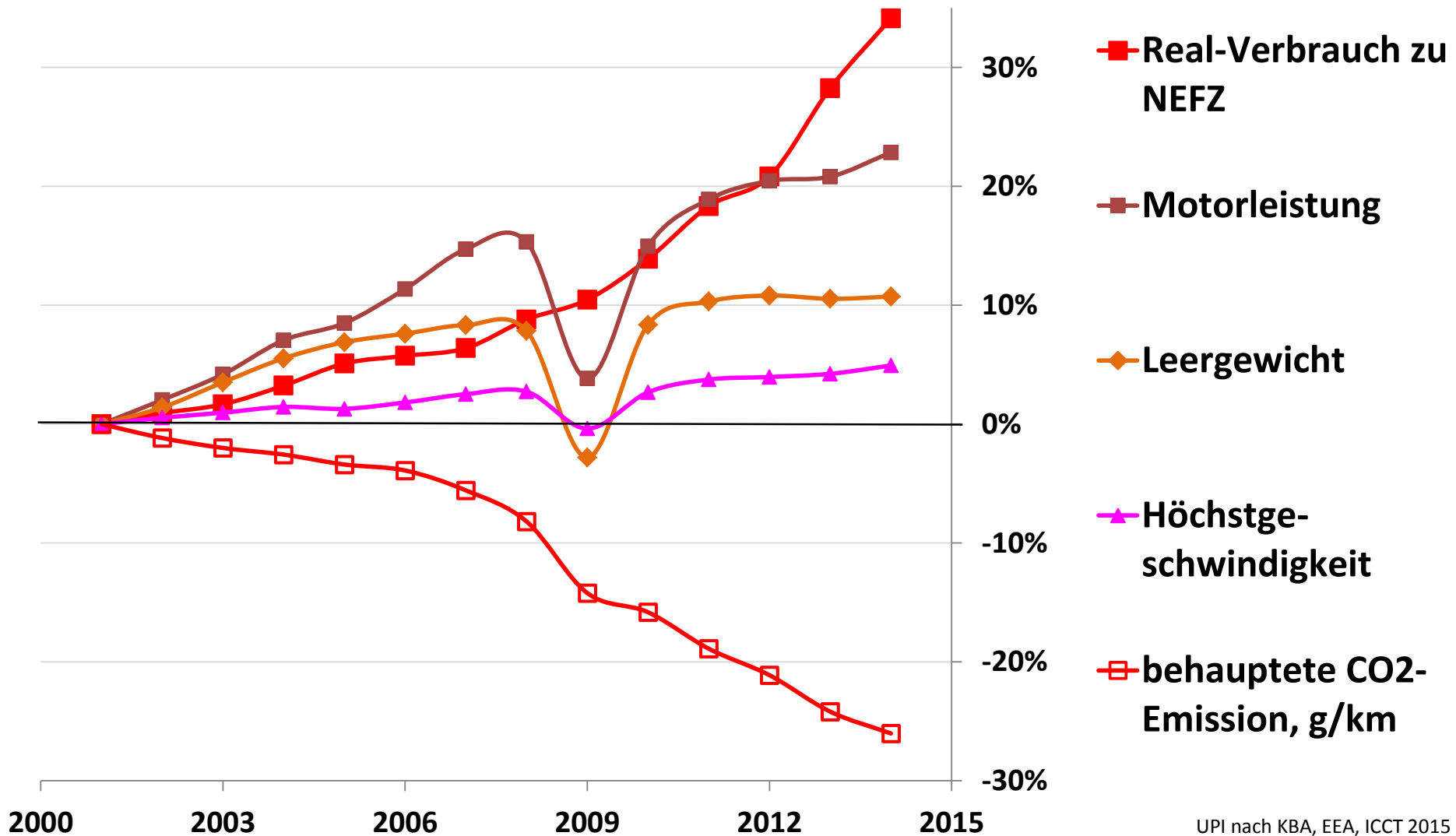
Jahr	Grenzwert, g CO <sub>2</sub> /km	Anteil der Neuwagenflotte eines Herstellers
vor 2012	158	100 %
2012	130	65 %
2013	130	75 %
2014	130	80 %
2015	130	100 % <b>Neue Situation</b>
2020	95	95%
2021	95	100%

130 g CO<sub>2</sub>/km  $\triangleq$  ca. 5,5 l Benzin bzw. 4,9 l Diesel/100 km

95 g CO<sub>2</sub>/km  $\triangleq$  ca. 4,0 l Benzin bzw. 3,6 l Diesel/100 km



# PKW-Neuzulassungen D, technische Merkmale



UPI nach KBA, EEA, ICCT 2015



# Messung des Kraftstoffverbrauchs nach dem „Neuen Europäischen Fahrzyklus“ (NEFZ)

- Geschwindigkeiten über 120 km/h werden nicht berücksichtigt
- Beschleunigungen von 0 auf 50 km/h innerhalb 26 Sekunden
- extrem hoher Reifendruck, Leichtlauföle und -reifen
- ohne Klimaanlage
- Umgebungstemperatur immer 20 - 30 °C

Realer Verbrauch: + 15% bis +40%

## „EU-CO<sub>2</sub>-Grenzwerte“

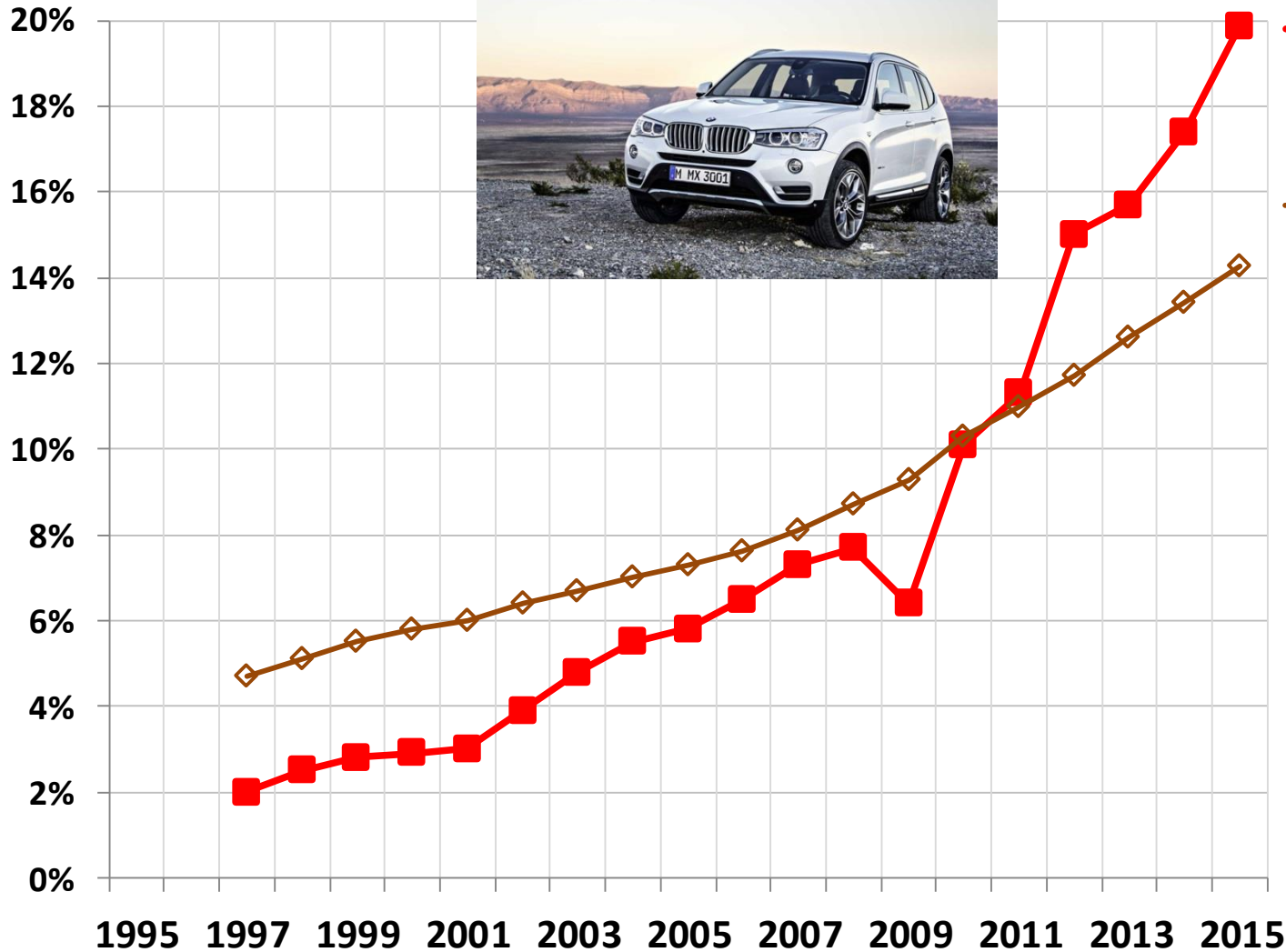
- basieren auf „NEFZ“
- Fahrzeuggewicht erhöht rechnerisch den zulässigen CO<sub>2</sub>-Emission-Grenzwert
- CO<sub>2</sub>-Emission durch Elektroautos: „Null“
- CO<sub>2</sub>-Emission durch [Plug-In-Hybrid-PKW](#): Nur Benzin, Strom aus Netz: „Null“
- CO<sub>2</sub>-Emission durch Agrosprit: „Null“
- „Super-Credits“: E-PKW, Hybrid-PKW und E85 werden bis zu 2x gezählt





Anteil an allen  
Neuzulassungen

# PKW-Neuzulassungen Deutschland



■ Geländewagen +  
SUV's

◇ Motorleistung  
>120 kW (>163 PS)

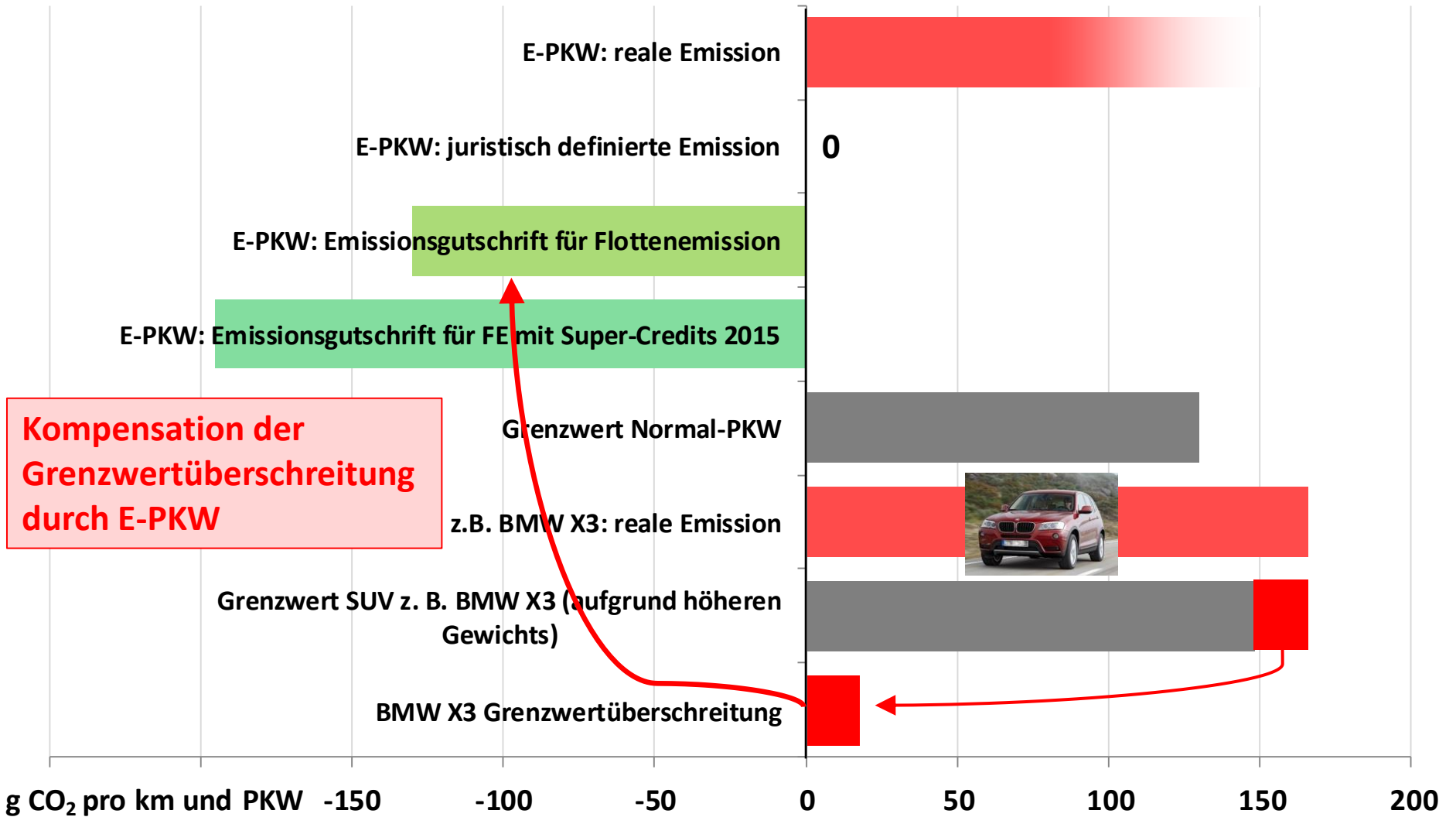
**1. HJ 2015:  
Am stärksten  
wachsendes  
Segment:  
SUV +14,1%  
zu 2014**

UPI 2015 nach KBA



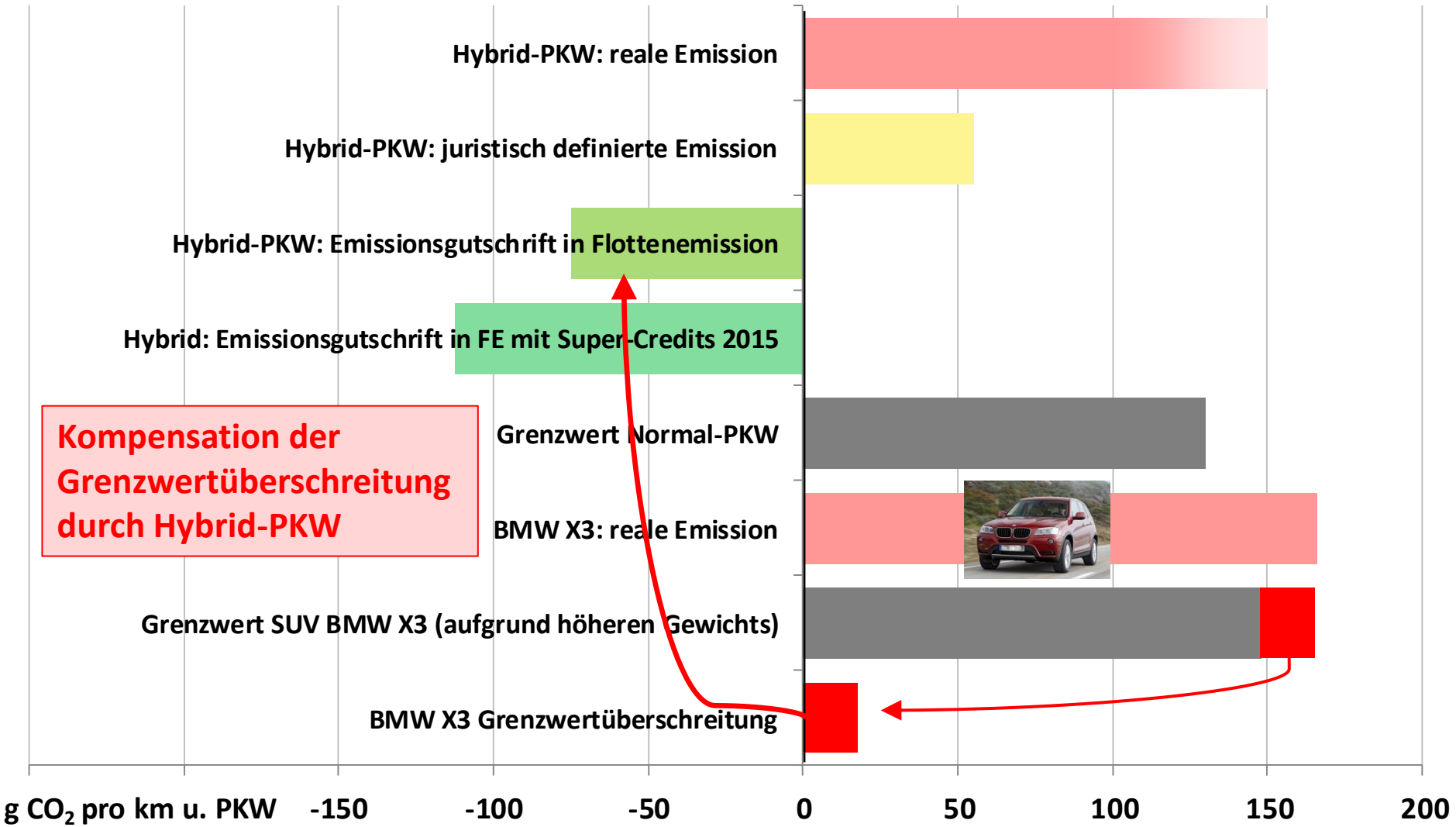
# CO<sub>2</sub>-Emissionen PKW

## E-PKW real und in der Flottengrenzwertregelung



# CO<sub>2</sub>-Emissionen PKW

## Plug-in-Hybrid-PKW real und in der Flottengrenzwertregelung



**Kompensation der Grenzwertüberschreitung durch Hybrid-PKW**



# **Ist die Förderung von Elektroautos parallel zur EU-CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwertregelung sinnvoll ?**

- 1. Ein Elektroauto ermöglicht ca. 5 großen PKW mit CO<sub>2</sub>-Emissionen über dem Grenzwert die rechnerische Einhaltung des Grenzwerts**
- 2. „Super-Credits“ 2013-2015 und 2020-2022: Elektroautos zählen mehrfach. 1 E-PKW kompensiert dann die CO<sub>2</sub>-Grenzwertüberschreitungen von 7 bis 10 großen PKW**
- 3. Ein Elektroauto erspart so ca. 5 Geländewagen/SUV Strafzahlungen wegen CO<sub>2</sub>-Grenzwertüberschreitung in Höhe von z.Zt. ca. 10 000 € (ohne Super-Credits gerechnet)**
- 4. Dieselben Regelungen gelten bei Plug-in-Hybrid-PKW, die CO<sub>2</sub>-Kompensationen sind etwa halb so stark wie bei Elektroautos**
- 5. Die Förderung von Elektroautos führt zu einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Jeder geförderte E-PKW ermöglicht großen PKW über die Laufzeit CO<sub>2</sub>-Mehremissionen über dem Grenzwert von ca. 50 Tonnen CO<sub>2</sub> ohne Strafzahlungen (ohne Super-Credits und Rebound-Effekte gerechnet)**



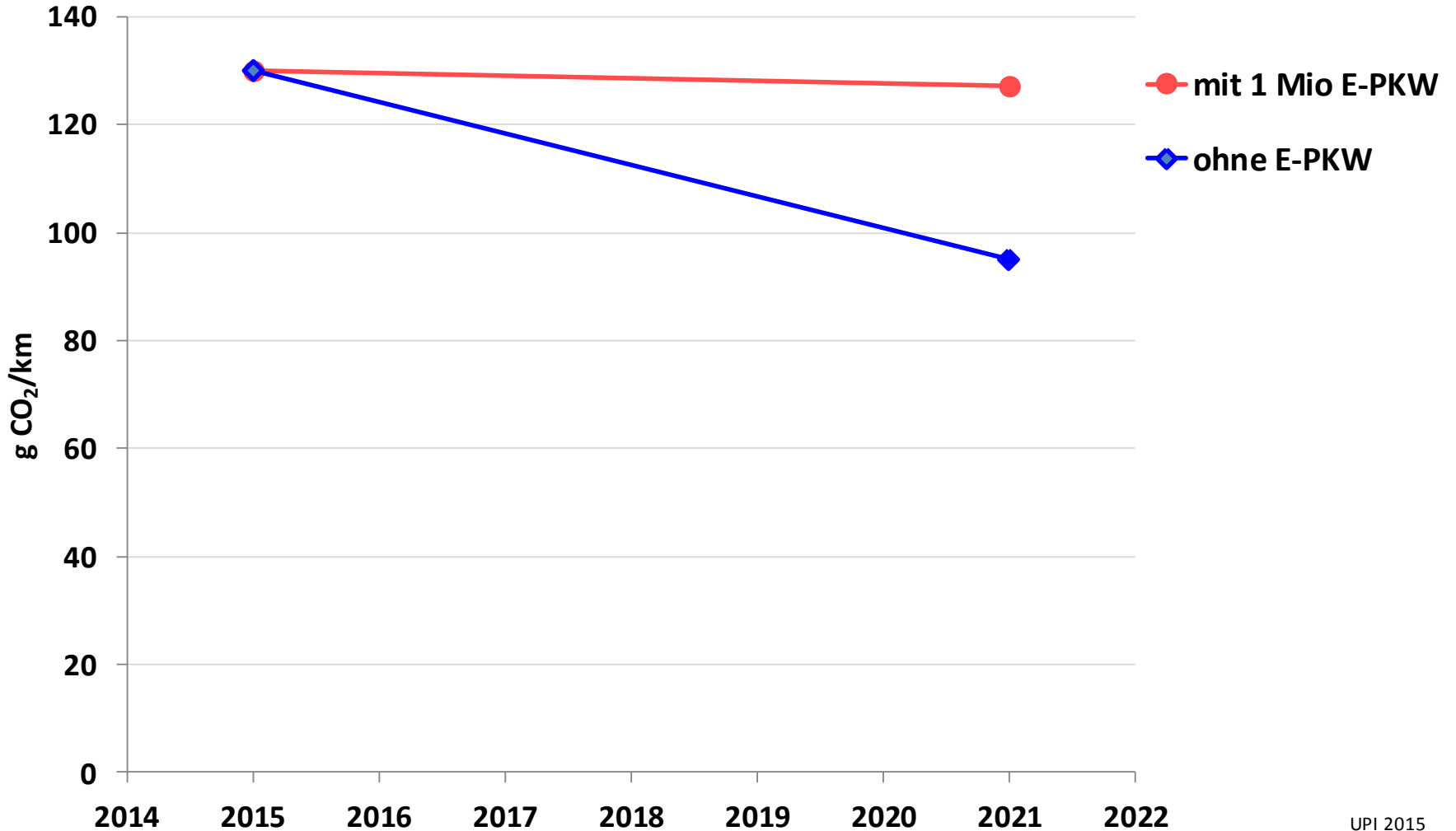
<b>Maßnahmen in Zukunft</b>	<b>Verschärfung</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Grenzwert 2020 zu 2015: Absenkung von 130 auf 95 g CO<sub>2</sub>/km</b>	<b>- 27 %</b>
<b>Realistischerer Testzyklus: WLTP statt NEFZ</b>	<b>- 25 %</b>
<b>Summe Wirkung im Vergleich zu 2015</b>	<b>- 45 %</b>

- **Grenzwerverhöhung ?**
- **Realisierung der bisher nicht durchgesetzten Forderung:  
Anrechnung der vor 2020 verkauften E- und Hybrid-PKW**



# Wirkung des Ziels 1 Million Elektroautos auf die CO<sub>2</sub>-Minderung bei PKW

Wirksamer Grenzwert für Gesamtflotte



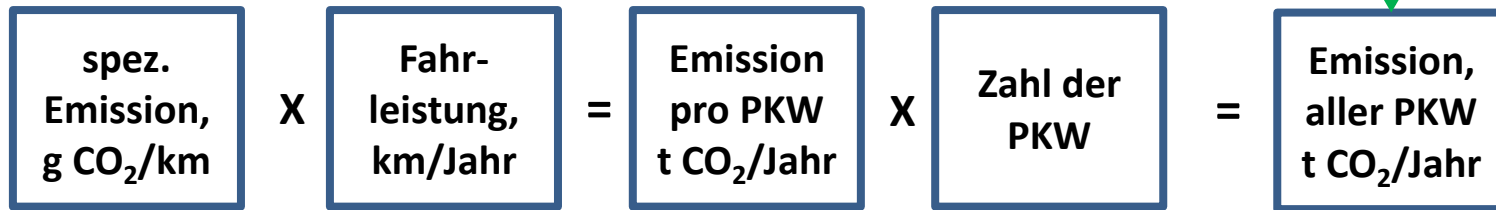
UPI 2015



# Genügt die Begrenzung der spezifischen Emission in g CO<sub>2</sub>/km ?

**Klimaziel:  
-90% t CO<sub>2</sub> bis 2050**

## Autoverkehr:



Begrenzt

unbegrenzt

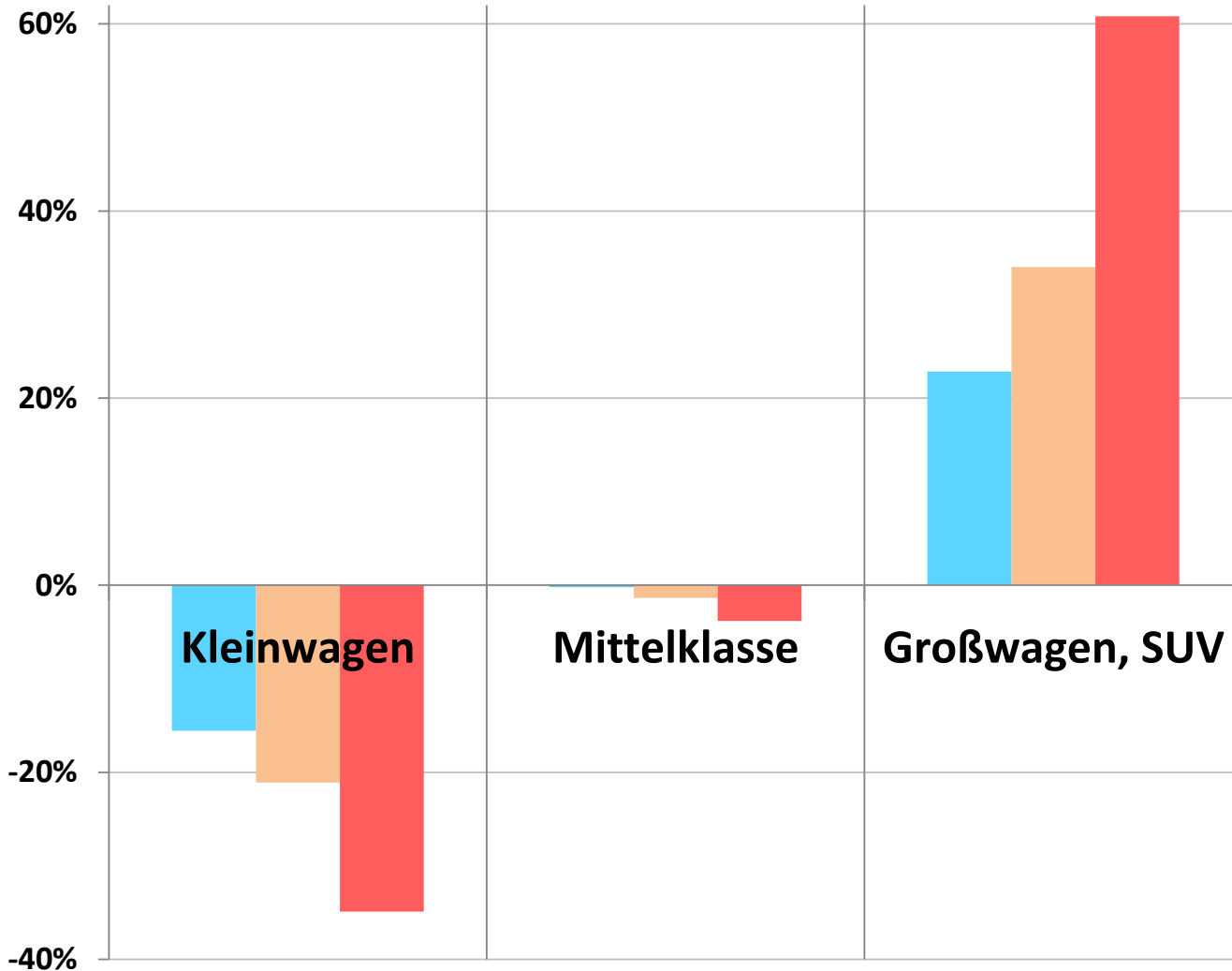
unbegrenzt



# PKW-Klassen: Kennziffern

im Vergleich zum Durchschnitt

im Vergleich zum Durchschnitts-PKW



CO<sub>2</sub>-Grenzwert

spezifische Emission, g CO<sub>2</sub>/km

mittl. Fahrleistung, km/a

CO<sub>2</sub>-Emission, t/a

nicht begrenzt

UPI 2015





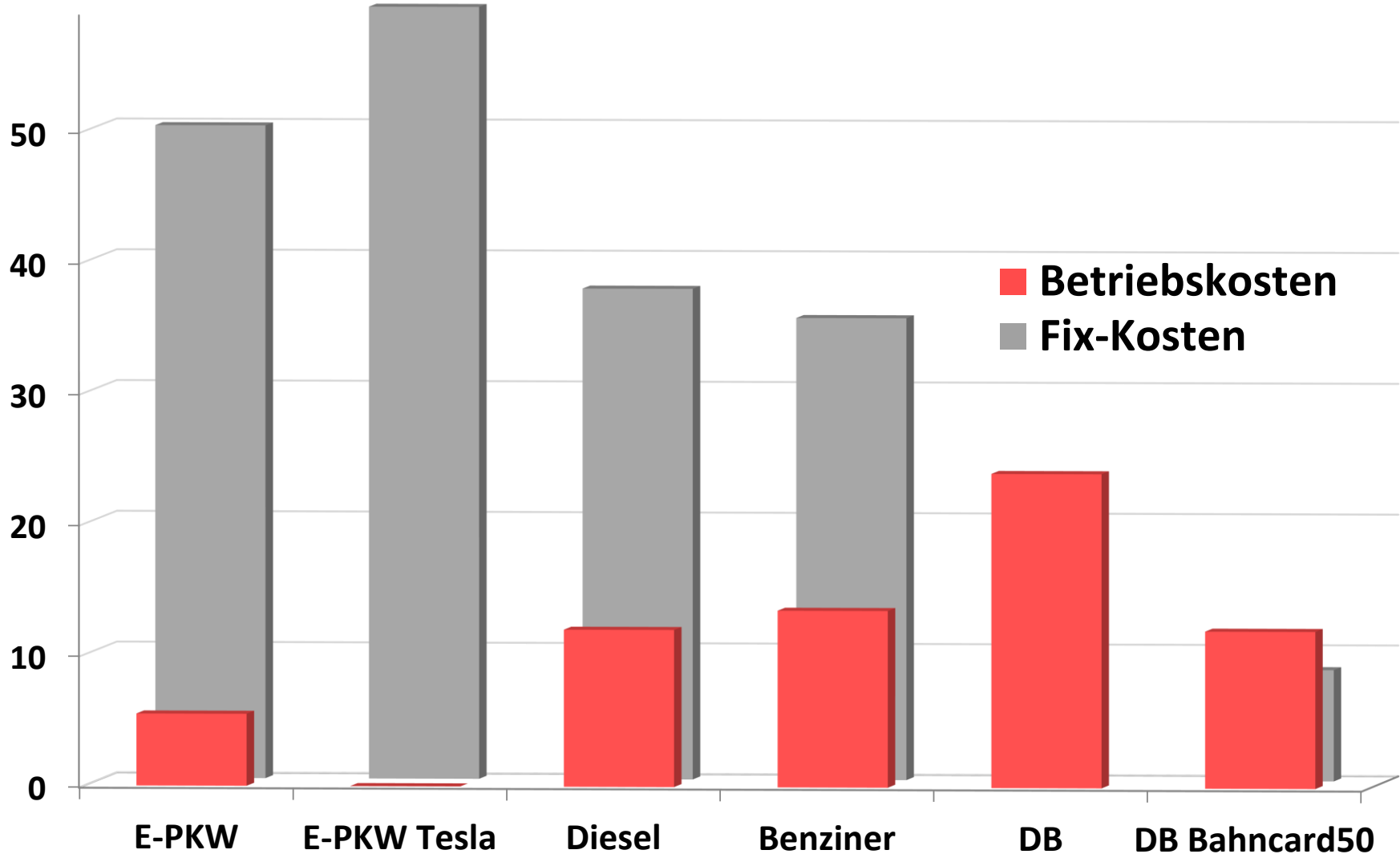
### 3. Reboundeffekte: Rückkopplungseffekte, die zum Gegenteil des Beabsichtigten führen

1. Durch die juristische Definition von Elektrofahrzeugen als Null-Emissions-Fahrzeuge und Verrechnung dieser „Null“-Emissionen in der EU-CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwertregelung **führt die Zunahme des Anteils der Elektroautos zur Aufweichung des Effizienzziels für Fahrzeuge mit fossilen Brennstoffen (regulatorischer Reboundeffekt).**
2. Die steuerliche Ungleichbehandlung von Benzin und Elektrizität führt zu niedrigen Betriebskosten von Elektroautos und damit trotz höherer Anschaffungskosten **zu Mehrverkehr (finanzieller Reboundeffekt).**
3. Die wahrgenommene geringe Umweltbelastung durch Elektroautos kann zur **Substitution von ÖV und Fahrradverkehr durch Elektroautos führen (mentaler Reboundeffekt).**
4. Da Elektroautos in der Reichweite begrenzt sind, können sie **die Fahrzeugzahl erhöhen** (Anschaffung eines Zweit-PKW) **(funktionaler Reboundeffekt).**



# Betriebs- und Fix-Kosten

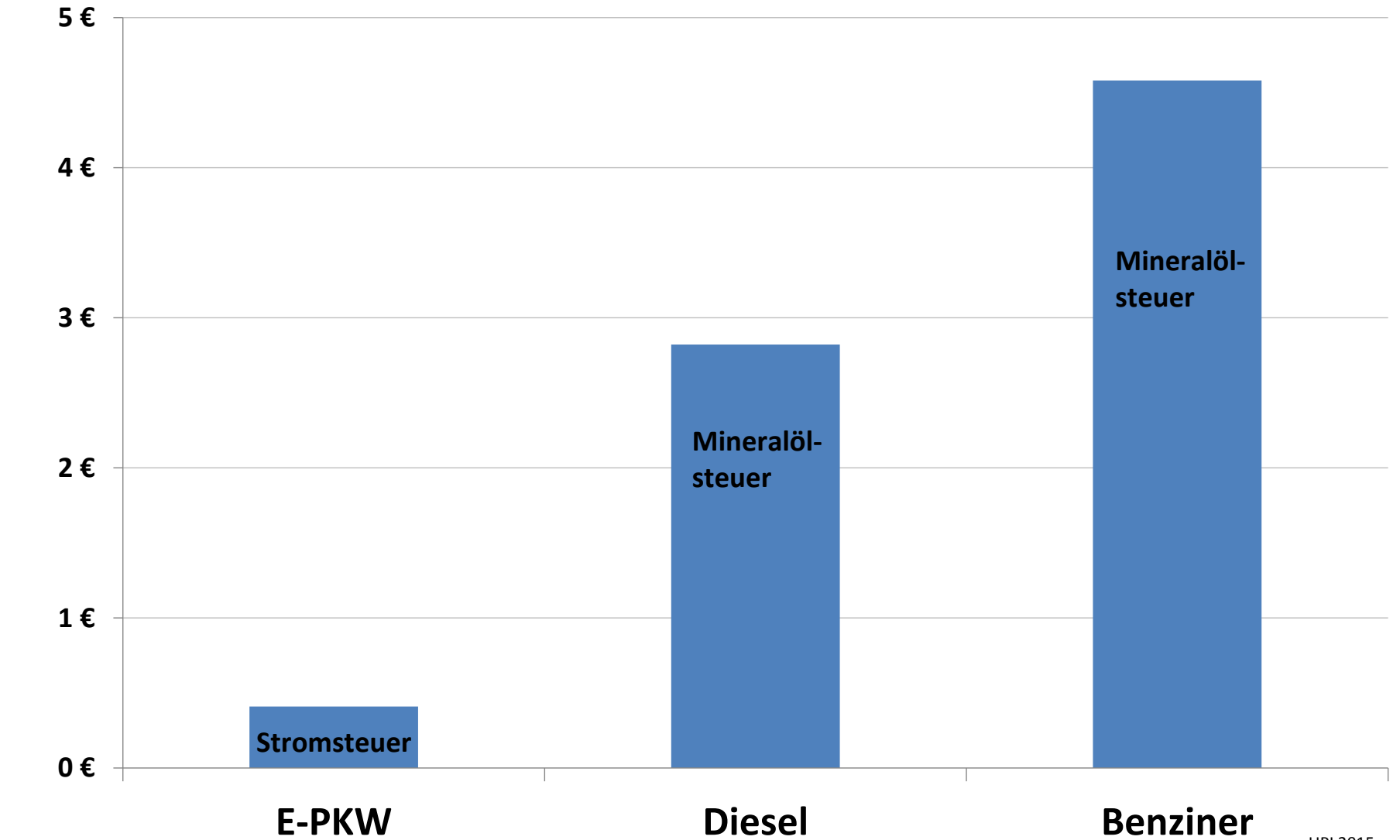
ct/km



UPI 2015

**E-PKW → Neu-Induktion von Autoverkehr und Verkehrsverlagerung von ÖV auf Straße durch niedrige fahrleistungsabhängige Betriebskosten**

# Abgaben PKW pro 100 km bei durchschnittlichem Verbrauch, D 2014

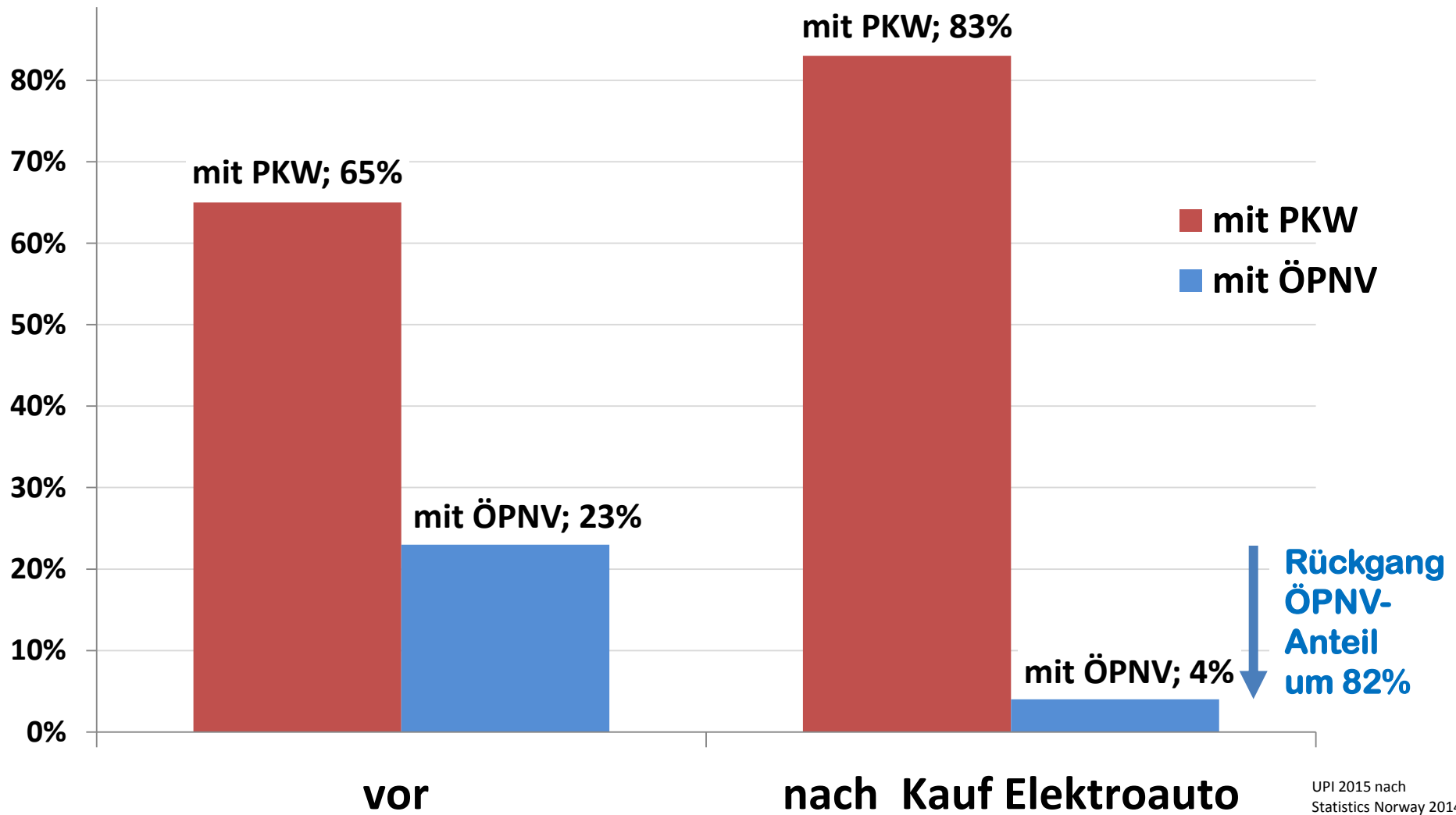


UPI 2015



# Modal-Split-Änderungen nach Kauf eines Elektroautos

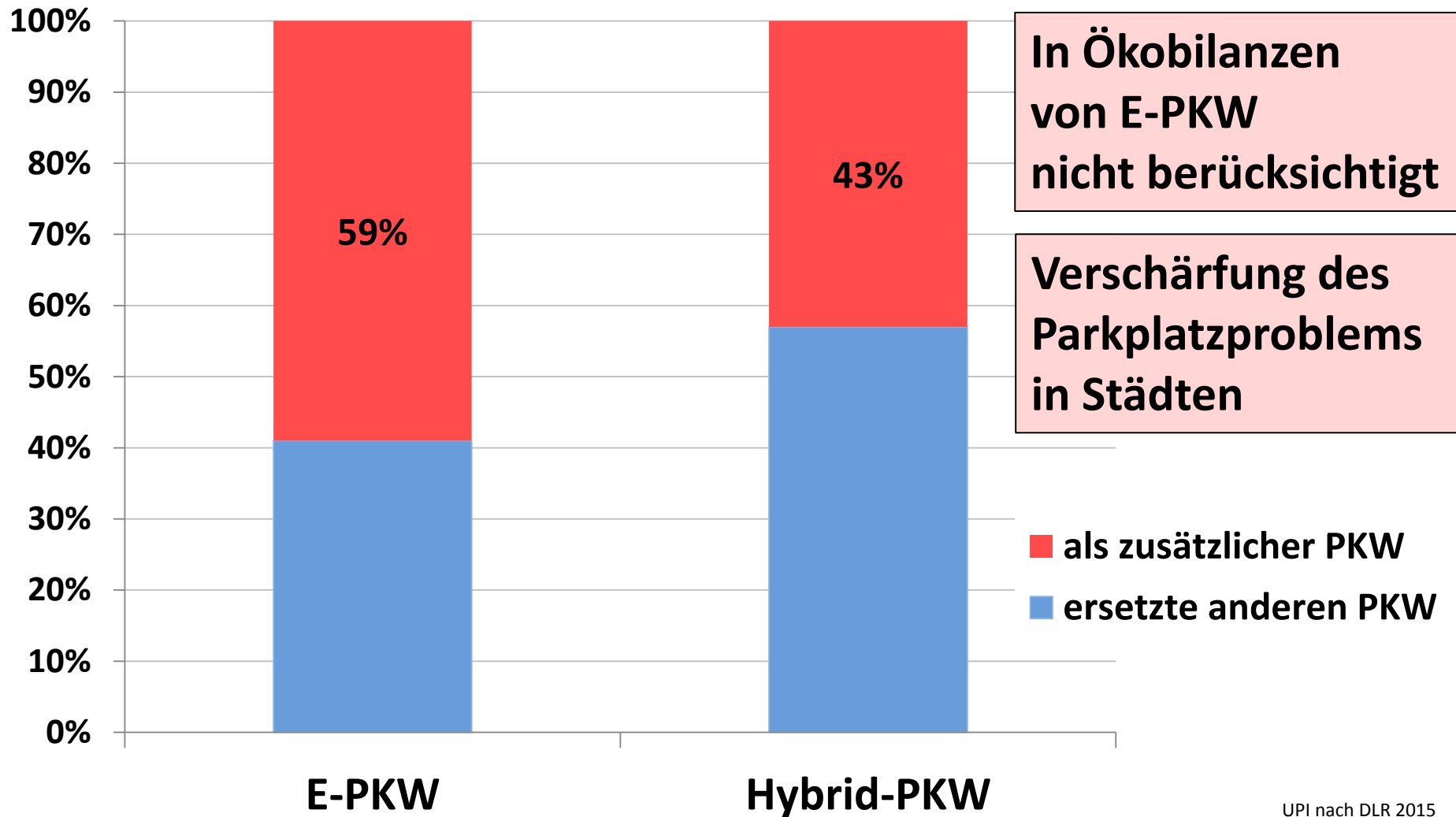
Erfahrungen in Norwegen: Fahrten zur Arbeit



**München: Förderung keine Privat E-PKW. Aber: Zwei Drittel der Neuwagen sind inzwischen „Dienstwagen“. (Subventionierung durch Staat ca. 5 Milliarden €/Jahr)**

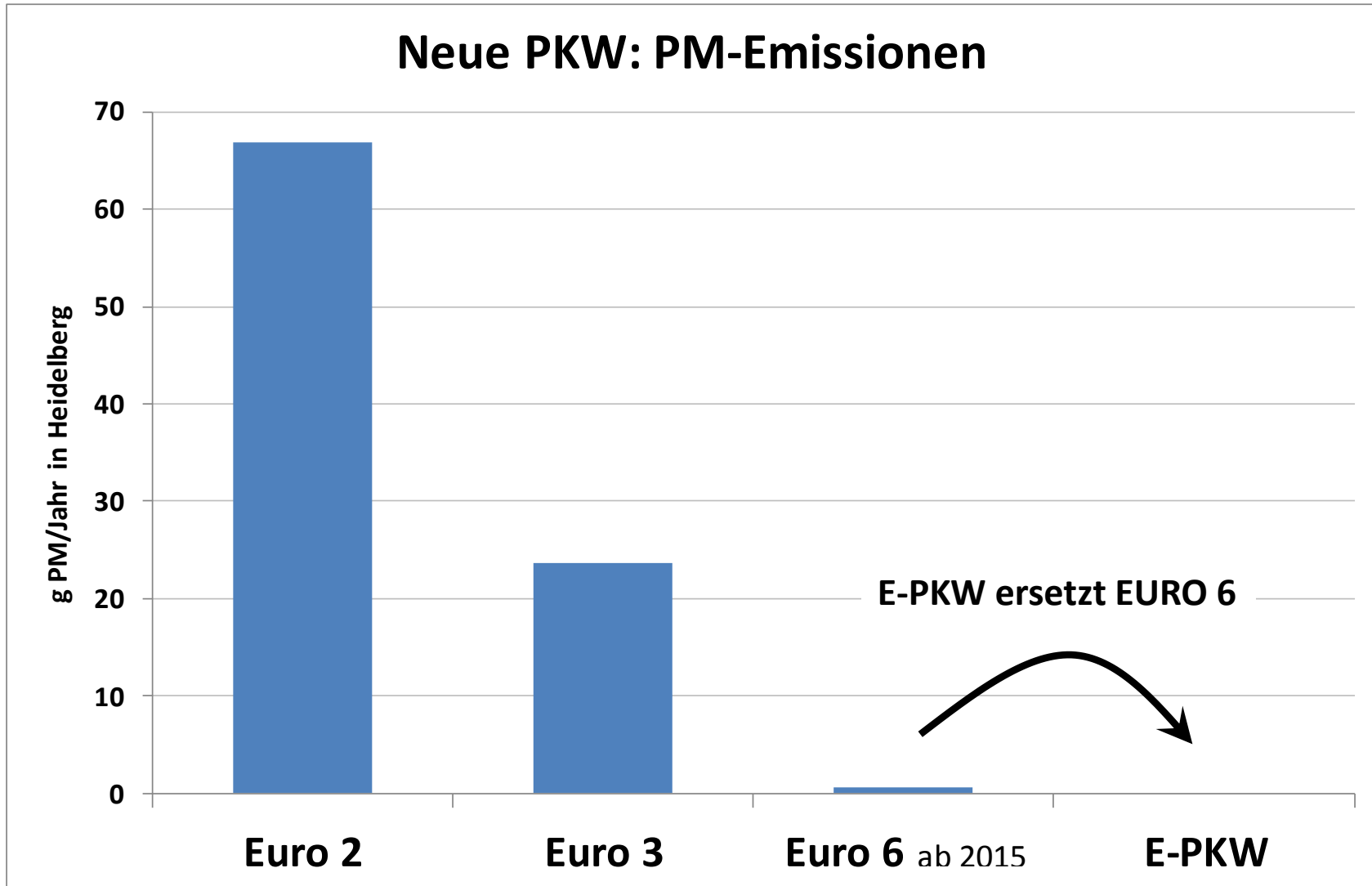
# Funktioneller Rebound-Effekt

## E-PKW als zusätzliche Autos

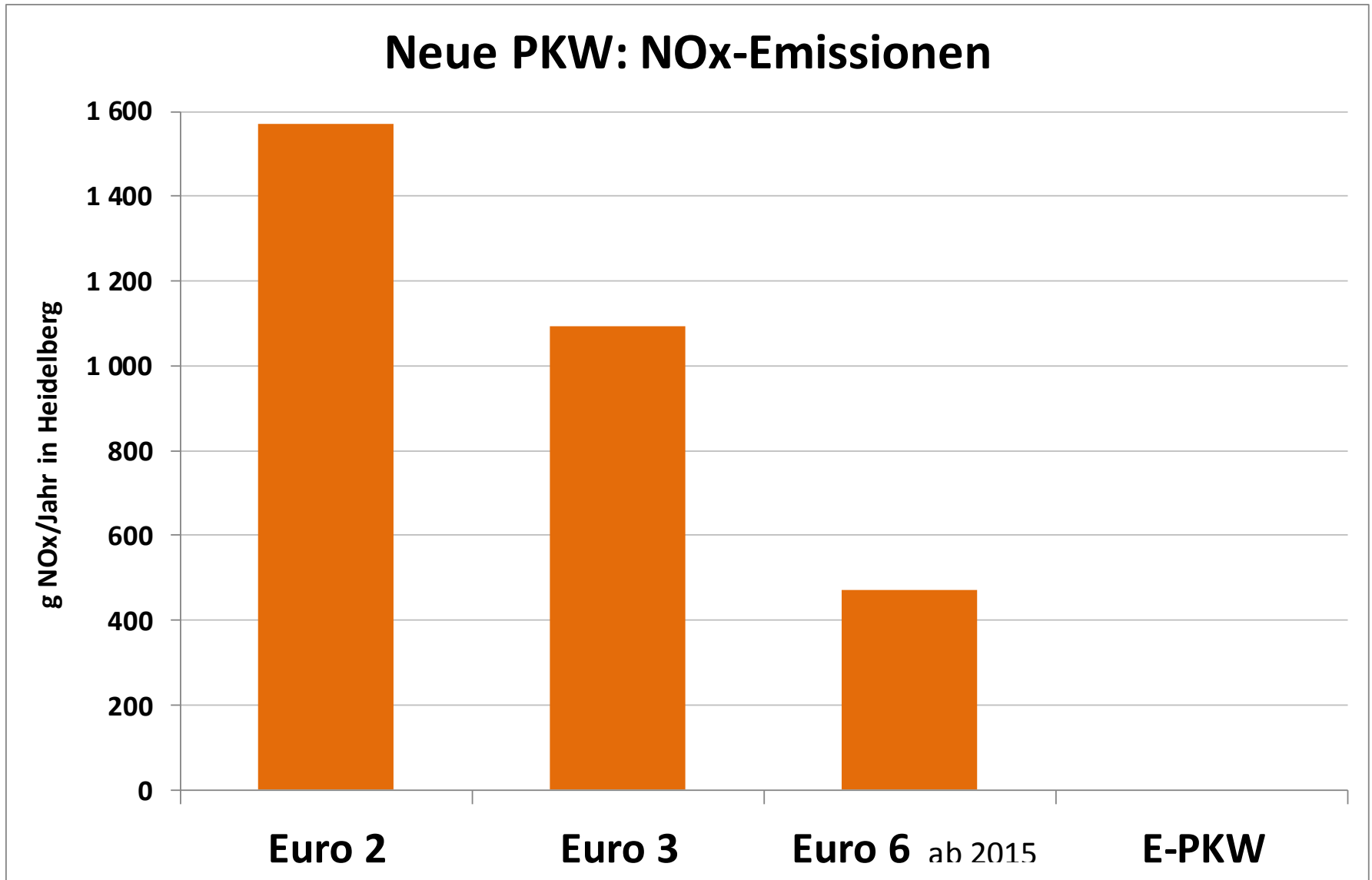


1946 private und 1166 gewerbliche Nutzer von Elektrofahrzeugen Dezember 2013 bis Februar 2014.  
DLR Institut für Verkehrsforschung , Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland, 2015

# Förderung E-PKW zur Schadstoffreduzierung ?



# Förderung E-PKW zur Schadstoffreduzierung ?



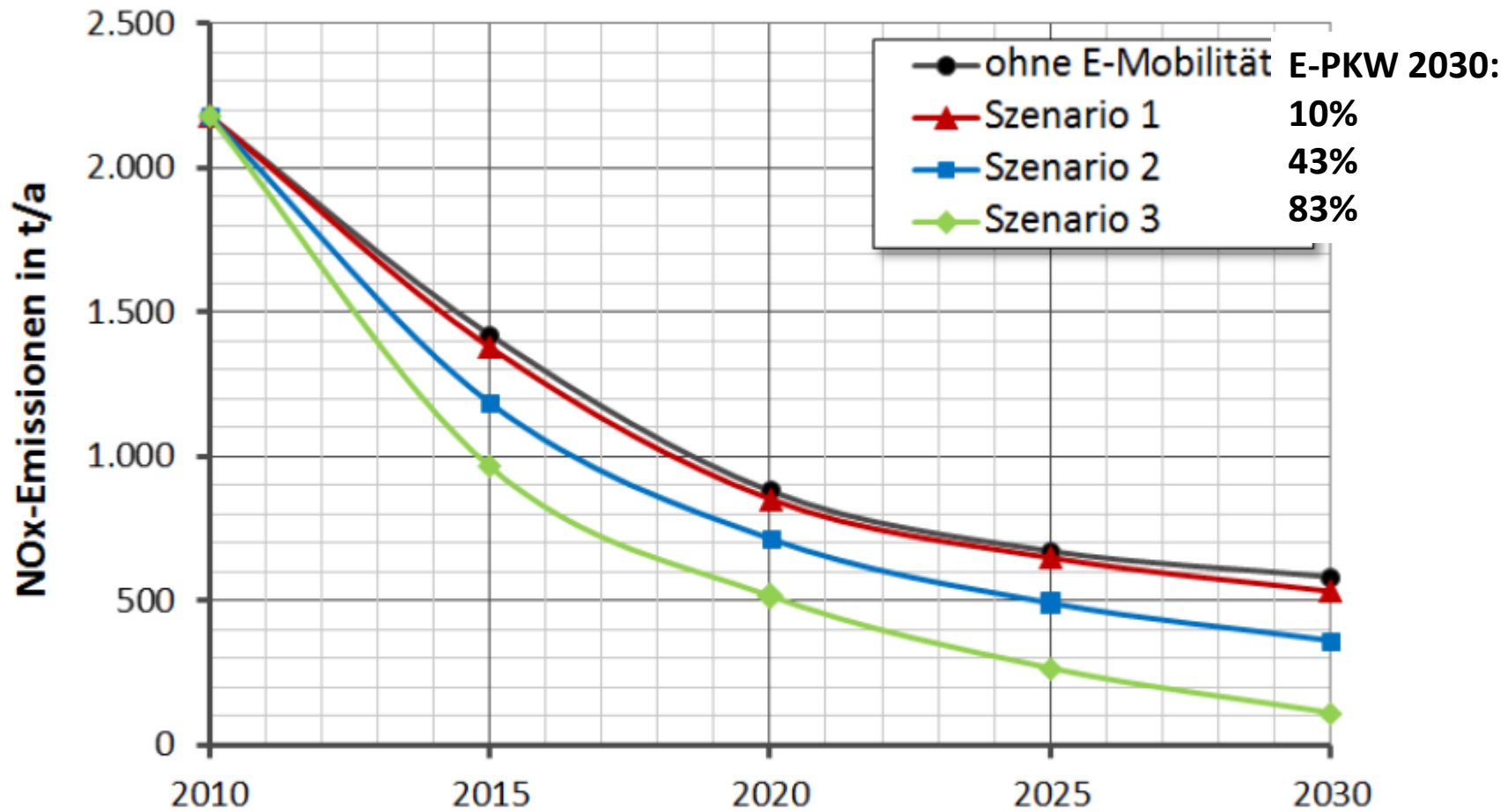


Abbildung 5-11: *NO<sub>x</sub>-Emissionen durch Pkw in München bis 2030 ohne und mit Elektro-Mobilität /eigene Berechnungen/*



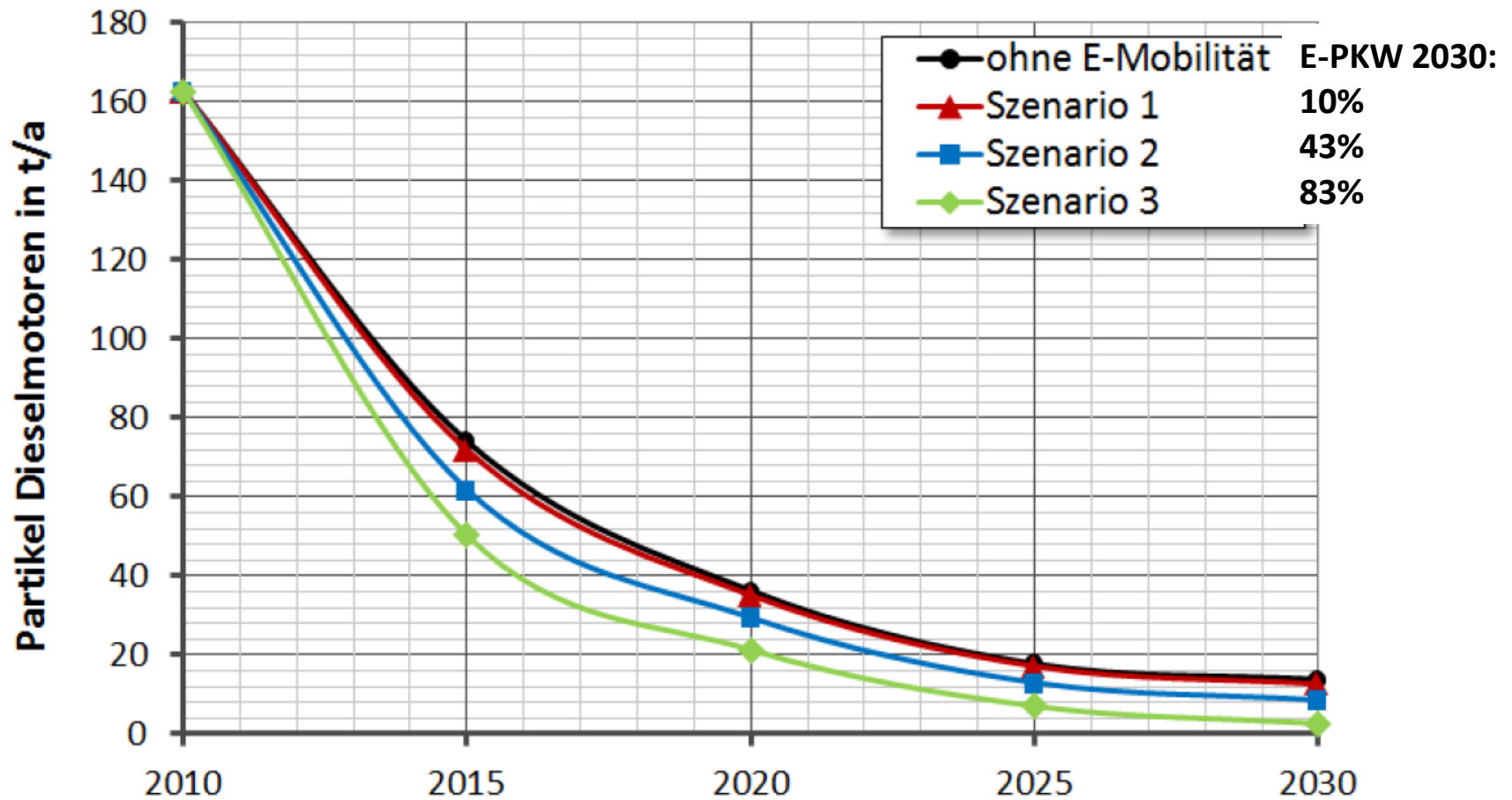


Abbildung 5-12: **Feinstaubemissionen** durch Dieselmotoren in München bis 2030 ohne und mit Elektromobilität /eigene Berechnungen/

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.: Modellregion Elektromobilität München, Szenarien für das Potenzial an Elektrofahrzeugen im Münchner Individualverkehr bis 2030

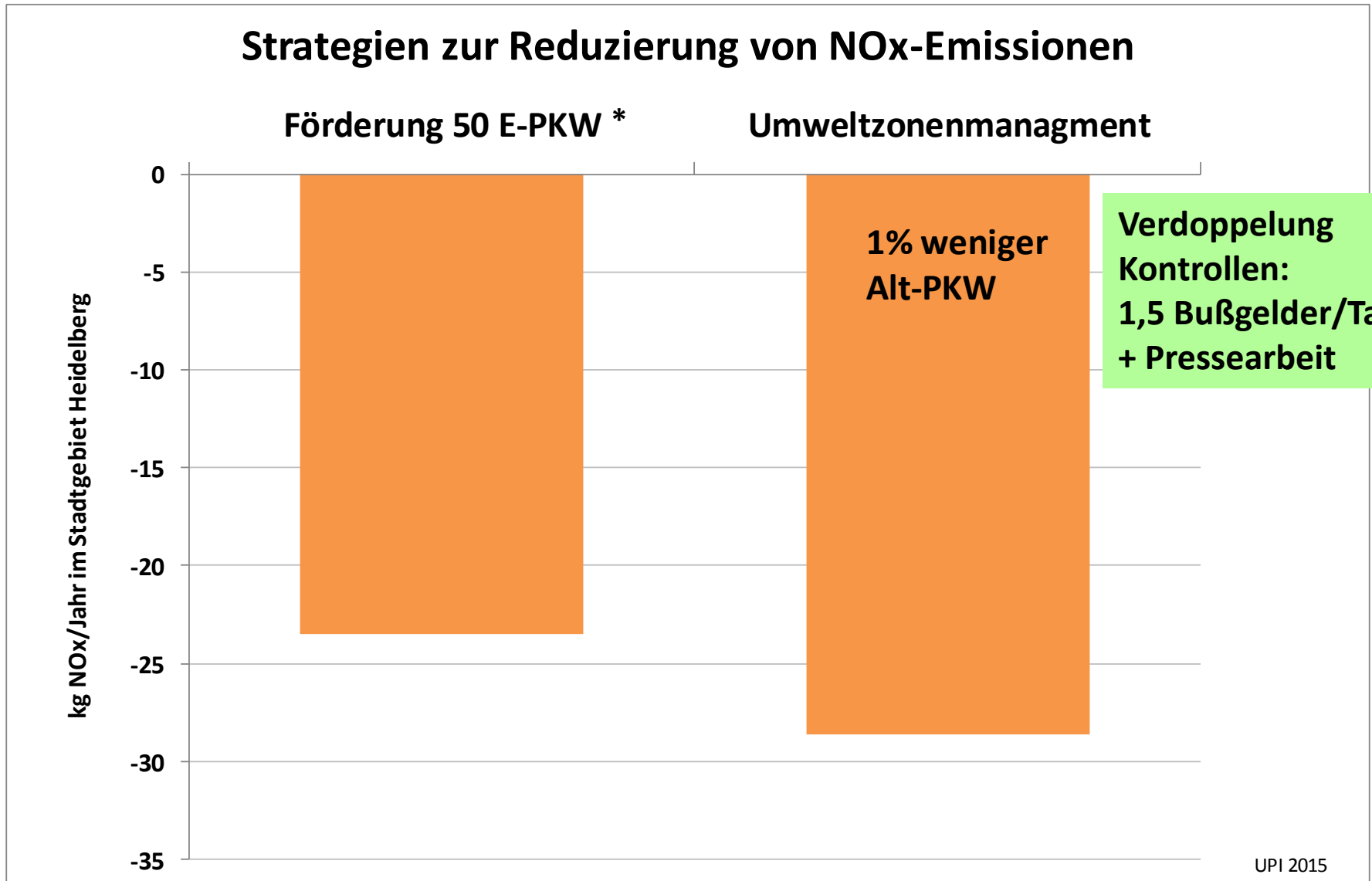
# Umweltzonen Heidelberg (nur Grüne Plakette erlaubt)



**In Umweltzonen  
Heidelberg ca. 3 000 PKW  
pro Tag illegal ohne  
Umweltplakette.  
Davon werden durch den  
GVD im Mittel 0,7 PKW pro  
Tag geahndet.**



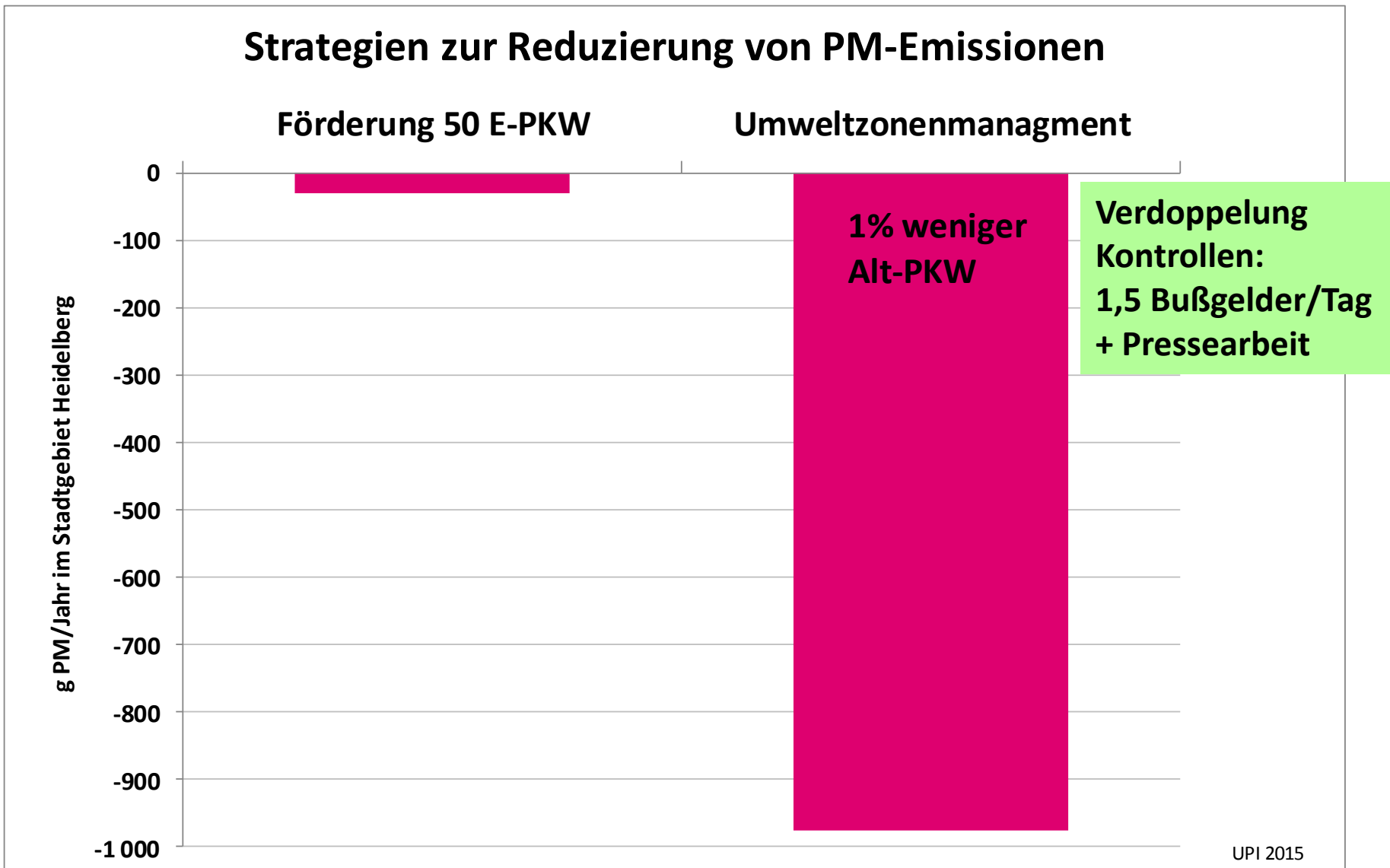
# Förderung E-PKW zur Schadstoffreduzierung ?



\* - 0,008% der NOx-Emissionen in Heidelberg, eine Reduktion um 10% würde mit dieser Strategie 60 Mio € kosten.

# Förderung E-PKW zur Schadstoffreduzierung ?

## Strategien zur Reduzierung von PM-Emissionen



Kosten: 50 000 €/Jahr

Einnahmen: ca. 20 000 €/Jahr

ärz 2016



# Masterplan 100% Klimaschutz: Tauschaktion Mobil-Ticket statt Pkw; in Heidelberg seit 1.1.2016

**50 Personen für 1 Jahr 1000 € für VRN-ÖPNV-Jahreskarte und VRN-nextbike-Jahresbeitrag**

**„Kosten“: 50 000 €/Jahr**

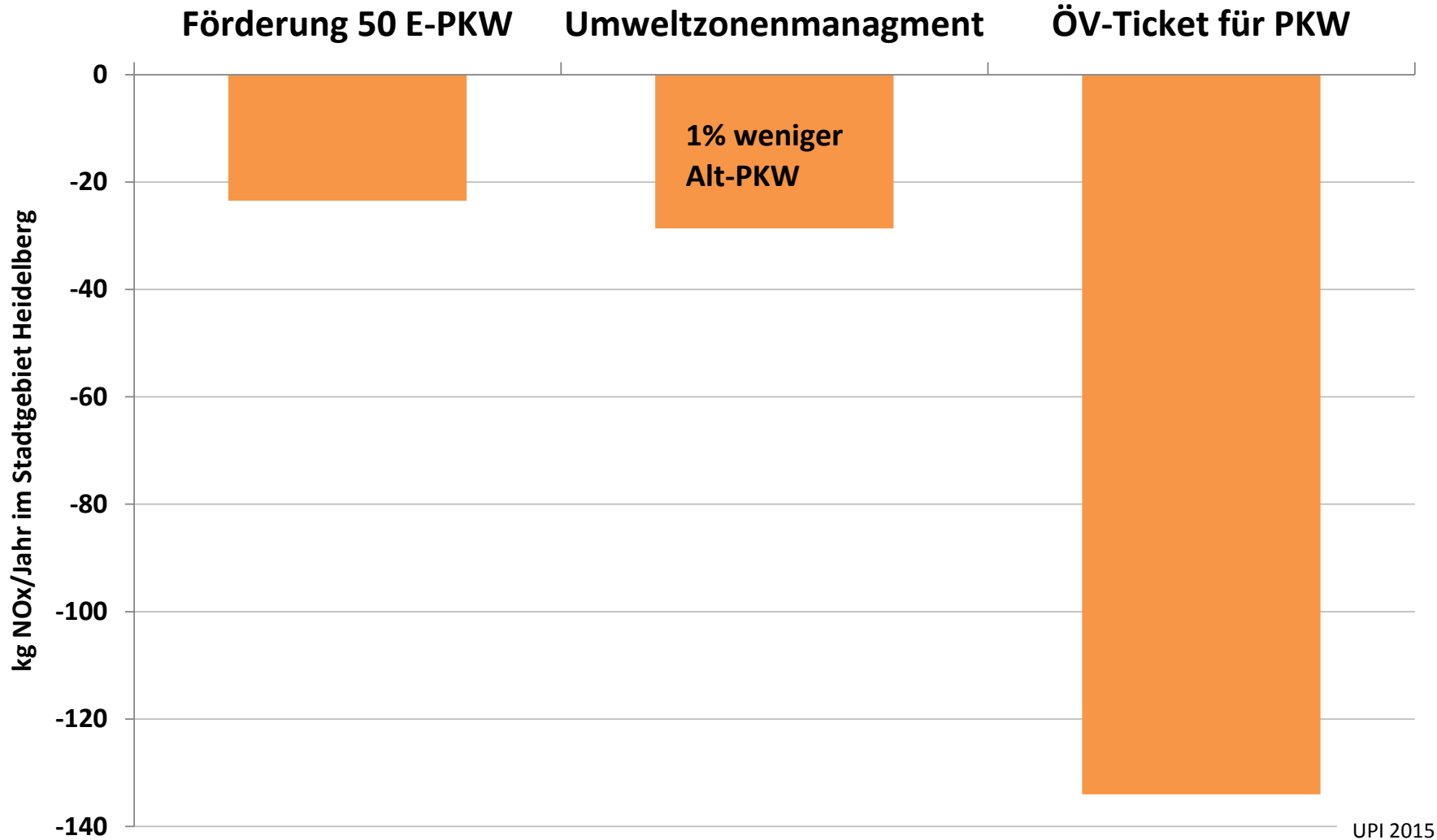
**= Einnahmen für den VRN von 50 000 €**

**Effekte:**

- **CO<sub>2</sub>-Vermeidung: ca. 250 t CO<sub>2</sub> pro 50 000 €**
- **Staureduzierung: 50 PKW/Jahr weniger**
- **Entspannung der Parkplatzsituation: 50 PKW/Jahr weniger**
- **Reduzierung von Schadstoffen: z.B. ca. 300 kg NO<sub>x</sub>/Jahr weniger**
- **Reduzierung des Unfallrisikos**
- **Innovative Maßnahme mit mehreren ausschließlich positiven Wirkungen**



# Strategien zur Reduzierung von NOx-Emissionen



UPI 2015

**Kosten: 50 000 €/a**

**Einnahmen: ca. 20 000 €/a**

**Einnahmen VRN:  
50 000 €/a**

### 3. Lärmschutz

#### Förderrichtlinie Elektromobilität München, S.1

„Das Förderprogramm Elektromobilität der Landeshauptstadt München verfolgt das Ziel ... **eine flächendeckende Lärminderung** zum Wohle der Münchner Bürgerinnen und Bürger zu bewirken.“

#### Modellregion Elektromobilität München, FfE, Endbericht S.57

„Geräuschemissionen im Straßenverkehr können durch einen steigenden Anteil an Elektrofahrzeugen kaum reduziert werden, da **bei neuen Kfz bereits ab niedrigen Geschwindigkeiten das Motorgeräusch durch das Fahrgeräusch übertroffen wird.**“

> 35 km/h: Rollgeräusch >> Antriebsgeräusch



## 4. Erhöhung des Unfallrisikos durch Elektro- und Hybrid-Autos im Stadtverkehr

Unfallopfer	Risikoerhöhung durch Hybrid-PKW im Vergleich zu normalen PKW
Fußgängerunfälle	+44%
Fußgängerunfälle <35 mph (48 km/h)	+53%
Fußgängerunfälle >35 mph (48 km/h)	0%
Fahrradunfälle	+72%

Auswertung aller Unfälle mit Hybridautos in 12 Bundesstaaten der USA in den Jahren 2000 – 2006

US-Department of Transportation, Traffic Safety Administration, Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles, 2009





<b>Kriterium</b>	<b>E-PKW</b> (ohne Förderung)	<b>Münchner Förderprogramm</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>	Zunahme	Zunahme
<b>NOx-Emissionen</b>	Minimale Abnahme	≙ normalem Rückgang (Trend) von 25 Tagen
<b>Feinstaub-Emissionen</b>	Minimale Abnahme	≙ normalem Rückgang (Trend) von 10 Stunden
<b>Verkehrslärm</b>	Änderung bei heutigem Geschwindigkeitsniveau nicht spürbar	Änderung bei heutigem Geschwindigkeitsniveau nicht spürbar
<b>Öffentlicher Verkehr</b>	Abnahme, Zunahme Defizit	Abnahme, Zunahme Defizit (nur bei Dienstwagen)
<b>Verkehrsunfälle</b>	Zunahme von Fußgänger- und Fahrradunfällen	Zunahme von Fußgänger- und Fahrradunfällen
<b>Fahrzeugzahl</b>	Zunahme	Kein Einfluss (?)
<b>Öffentliche Finanzen</b>	Reduktion Steuereinnahmen	Reduktion Steuereinnahmen + Subventionen

# Vorbereitungen Elektromobilität in der Zukunft

- **Vergangenheit: Zu Beginn des 20. Jahrhunderts gab es weltweit über 500 Marken von Elektroautos**
- **Elektromobilität heute: ÖPNV, E-Bikes, Pedelecs (mit B&R erschließbare Fläche x5), E-Lastenräder**
- **Fahrzeugentwicklung: Norwegen (99% Wasserkraft) 25% der Neuzulassungen E-PKW**
- **Batterieentwicklung: Verkauf E-Bikes in Deutschland 200 000 in 2010 → 535 000 in 2015**
- **Ladestationen: Bundesweites Stromnetz, bei Nachfrage Aufbau einer Ladeinfrastruktur kein gravierendes Problem**



# Elektro-PKW: Voraussetzungen für sinnvollen Einsatz

- 1. Berechnung der CO<sub>2</sub>-Flottenemission mit realer Emission statt mit „Nullemission“: Änderung der EU-Gesetzgebung**
- 2. deutlicher Rückgang fossiler Brennstoffe in der Stromerzeugung: in D ab ca. 2030** (Maßstab für CO<sub>2</sub>-Emission ist nicht der Anteil regenerativ, sondern der Anteil fossil erzeugten Stroms)
- 3. Vorkehrungen gegen Verkehrsverlagerung von Öffentlichem Verkehr auf die Straße durch E-PKW** (u.a. Ende der Subventionierung der fahrleistungsabhängigen Betriebskosten von E-PKW und Beteiligung an den Infrastrukturkosten)
- 4. Vermeidung der PKW-Zunahme** (Anschaffung von E-PKW als zusätzliche PKW): **E-PKW nur dort, wo sie andere PKW ersetzen**
- 5. Vorkehrungen gegen erhöhtes Unfallrisiko durch E-PKW**

**Unter diesen Voraussetzungen wären Elektro-PKW langfristig ein wichtiger Baustein im Klima- und Umweltschutz**

