

Ökologische Folgen und Nebenwirkungen von Elektro- und Hybridautos

1. Ökobilanz von Elektro-PKW
2. Elektro- und Hybrid-PKW und CO₂-Gesetzgebung
3. Rebound-Effekte
4. Unfallrisiko
5. Voraussetzungen für eine ökologische E-Mobilität

Dieter Teufel

UPI – Umwelt- und Prognose-Institut, Heidelberg

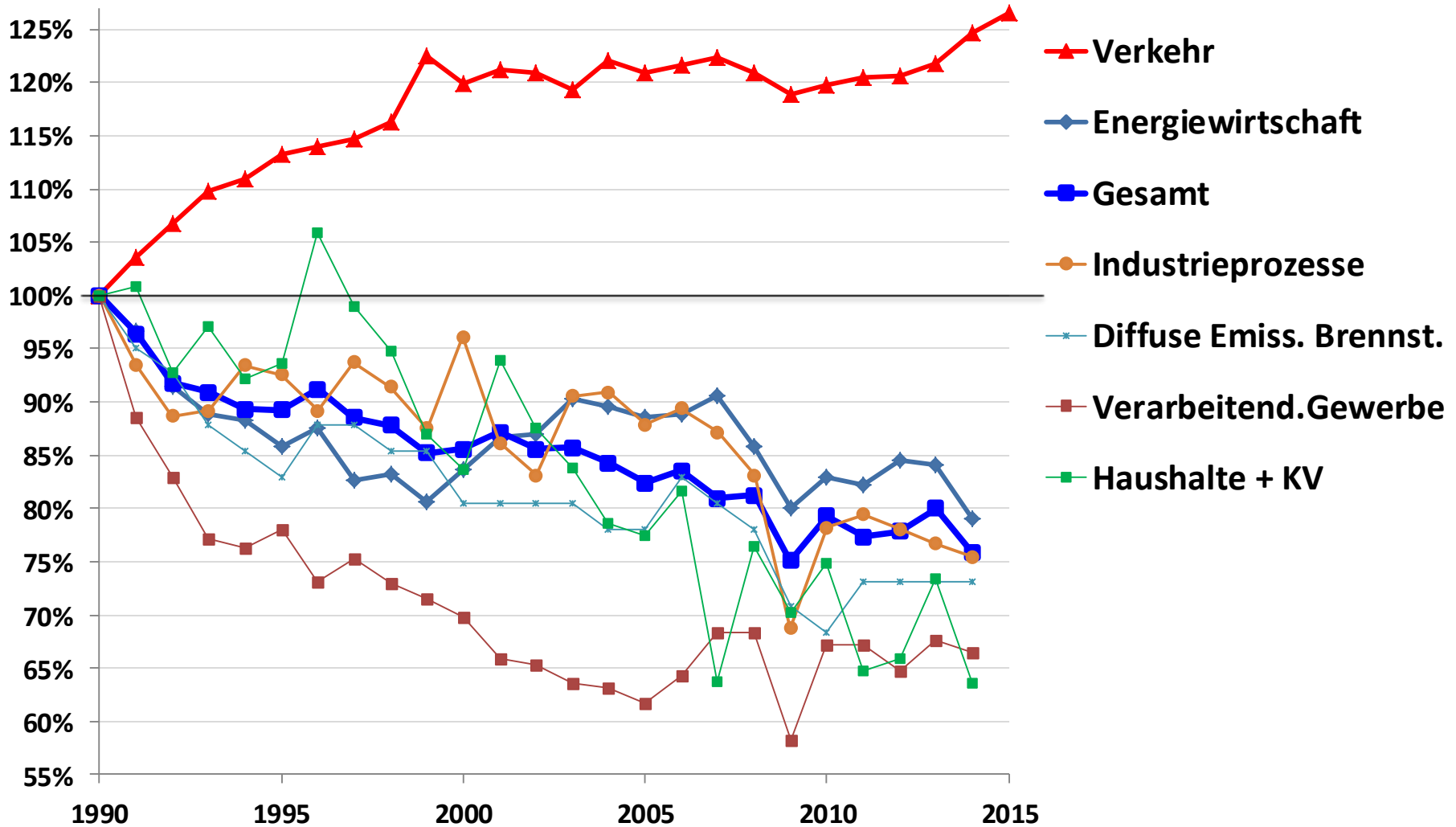
Freiburg 28.5.2016

UPI Mai 2016



CO₂-Emissionen Deutschland, Trend

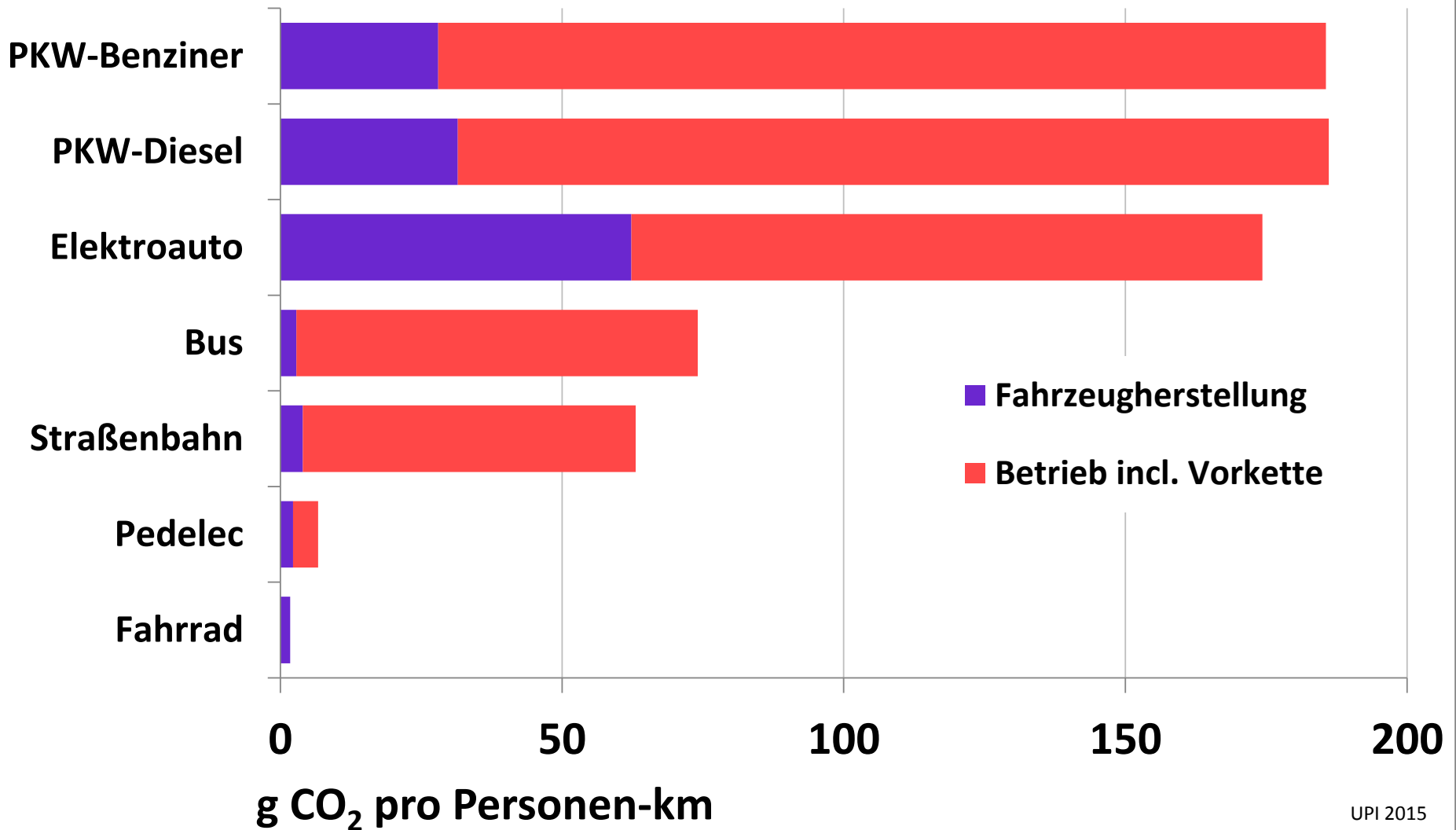
1990 = 100%



UPI 2015



CO₂-Emissionen Verkehrsmittel (Ø D)

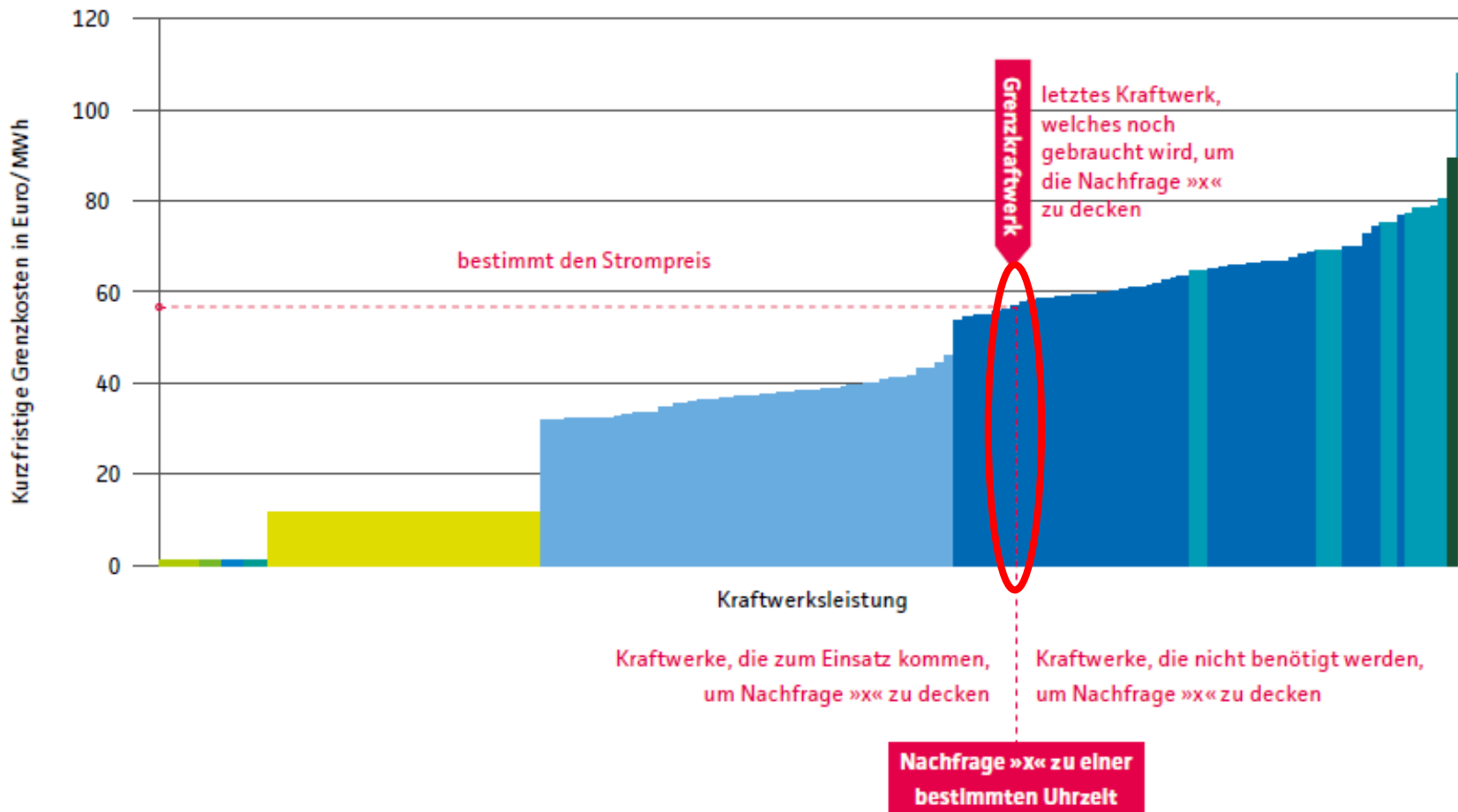
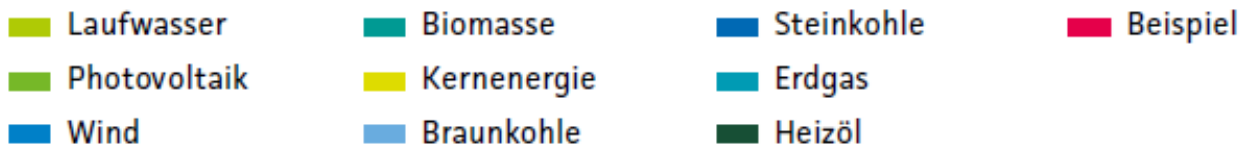


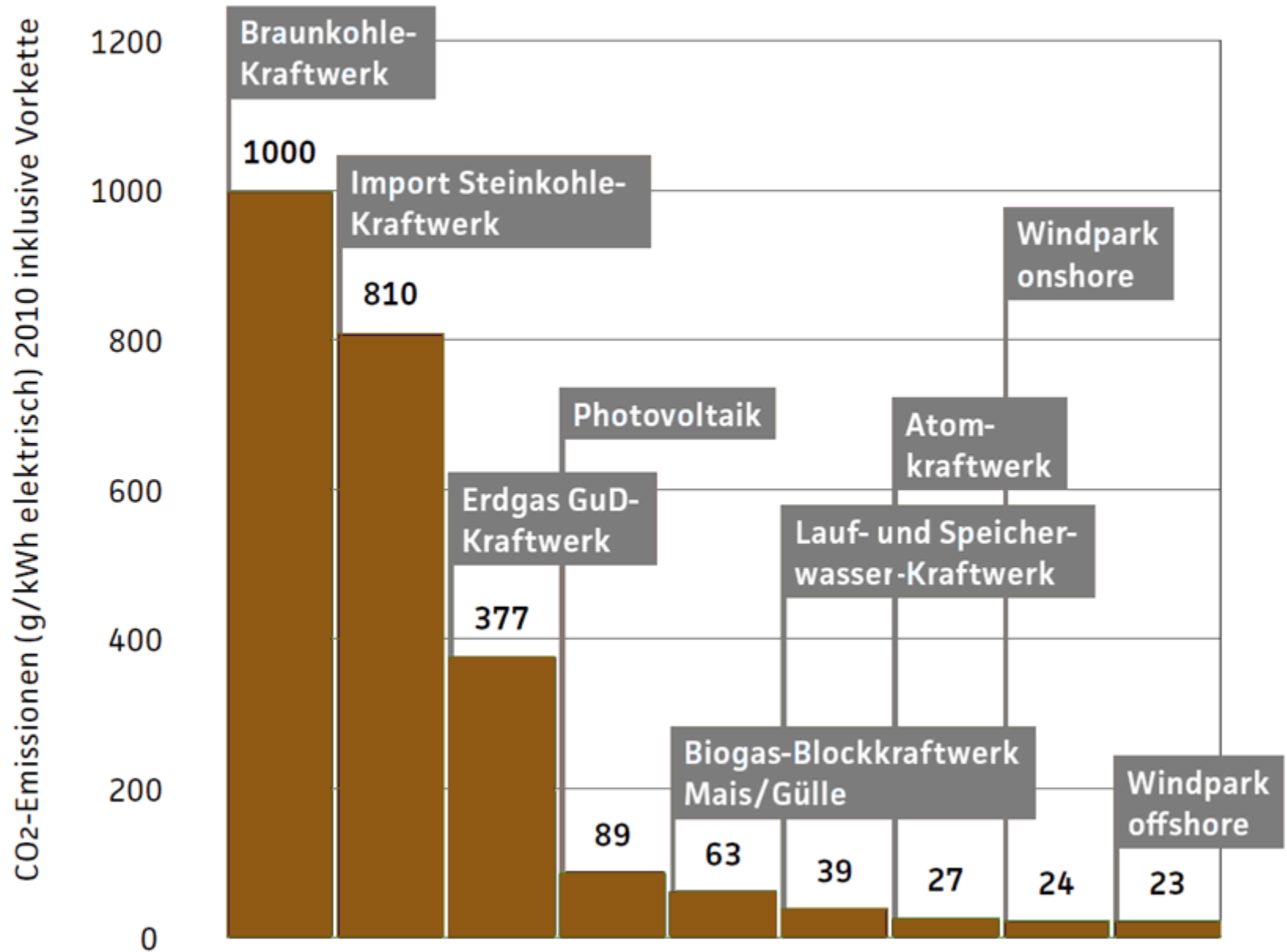
Elektroauto, Straßenbahn, Pedelec mit Strommix 2015 gerechnet

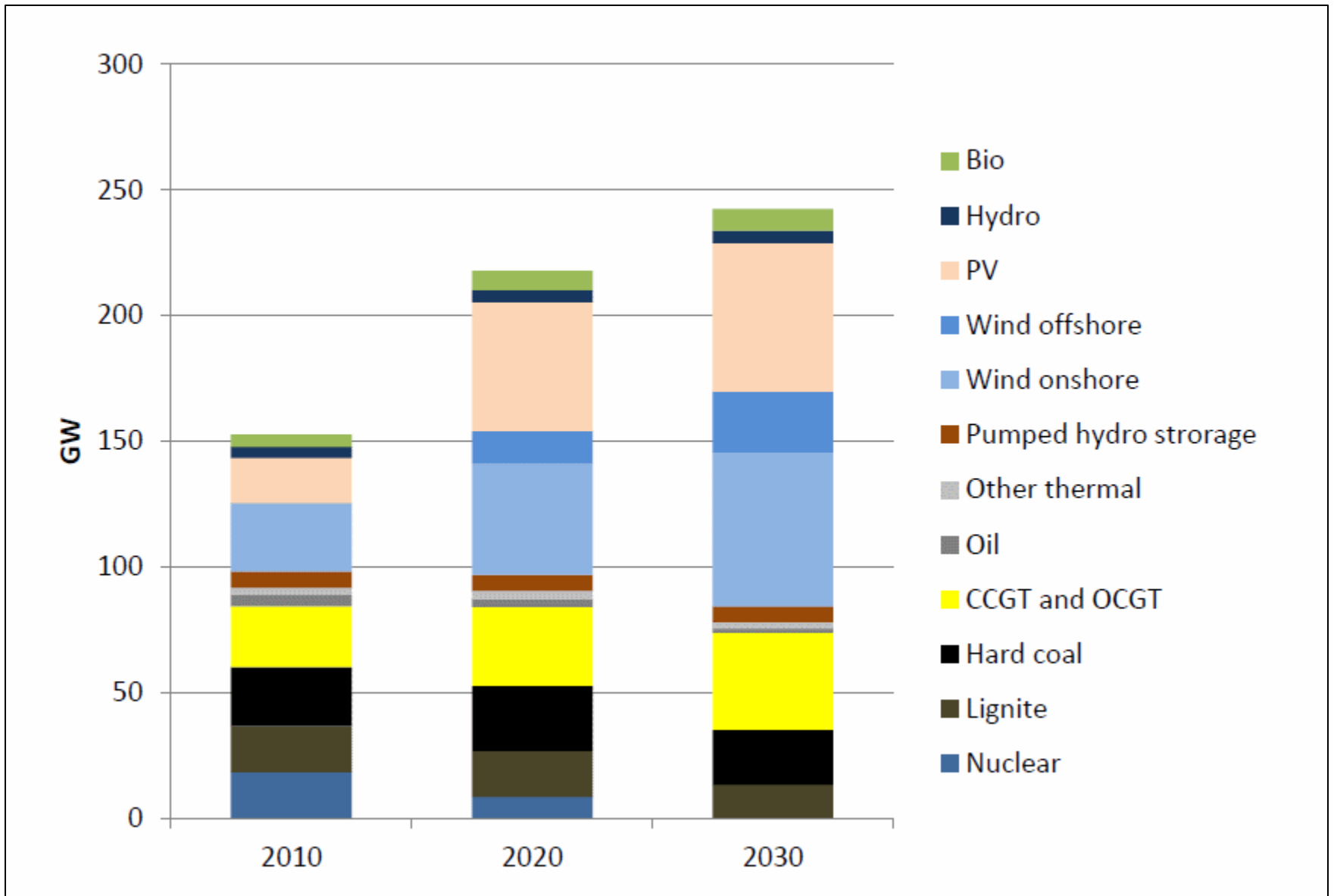


Grenzkostenbetrachtung: Mehrverbrauch von Strom führt die nächsten 2 -3 Jahrzehnte zu Mehreinsatz von Steinkohle bei der Stromerzeugung.

QUELLE: DARSTELLUNG ÖKO-INSTITUT







Installierte Kraftwerksleistung , aus DIW 2015



Szenarien: 0,9 bis 1 Million Elektroautos und 2,9 bis 3,7 Million Hybridautos bis zum Jahr 2030 in Deutschland

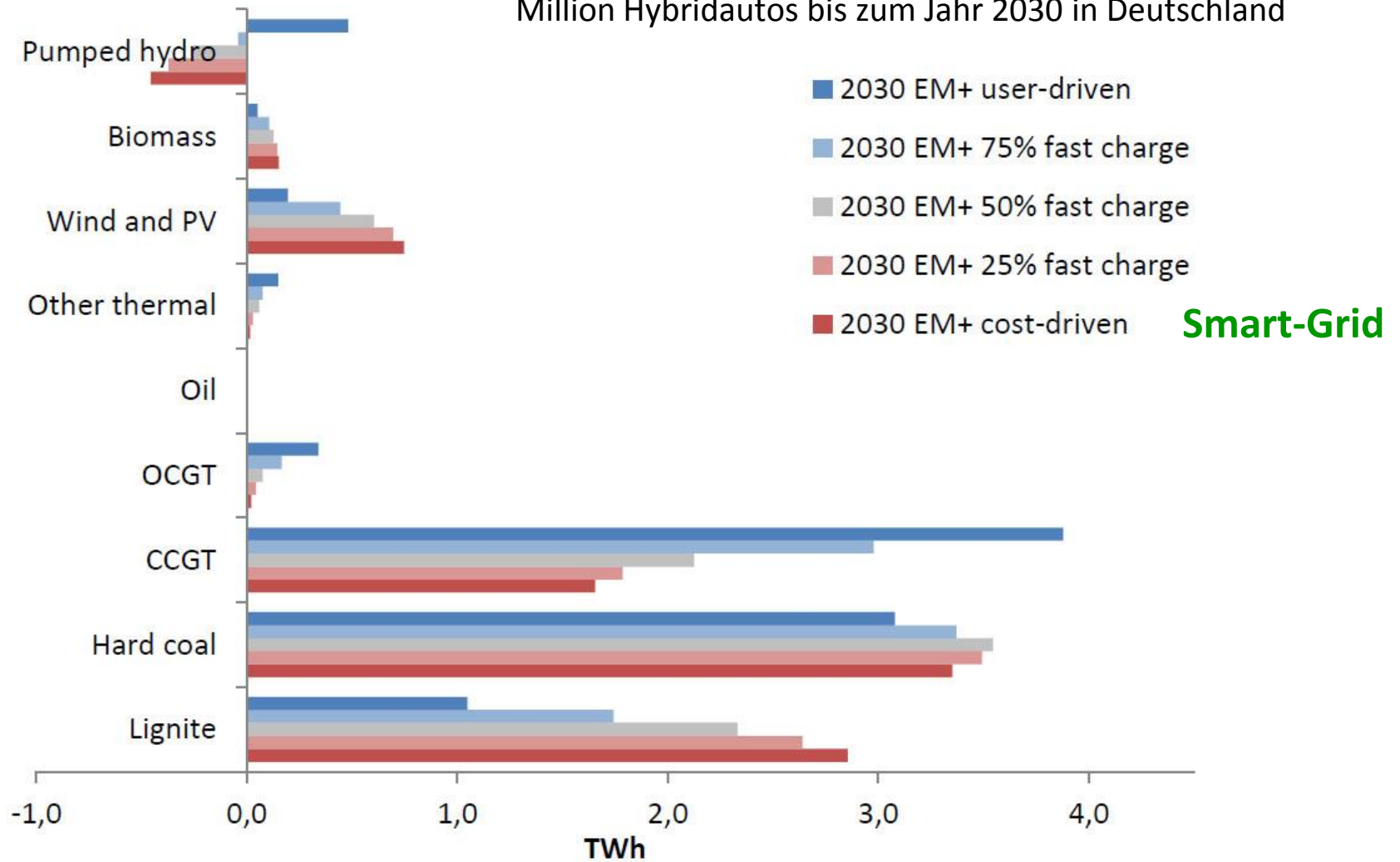


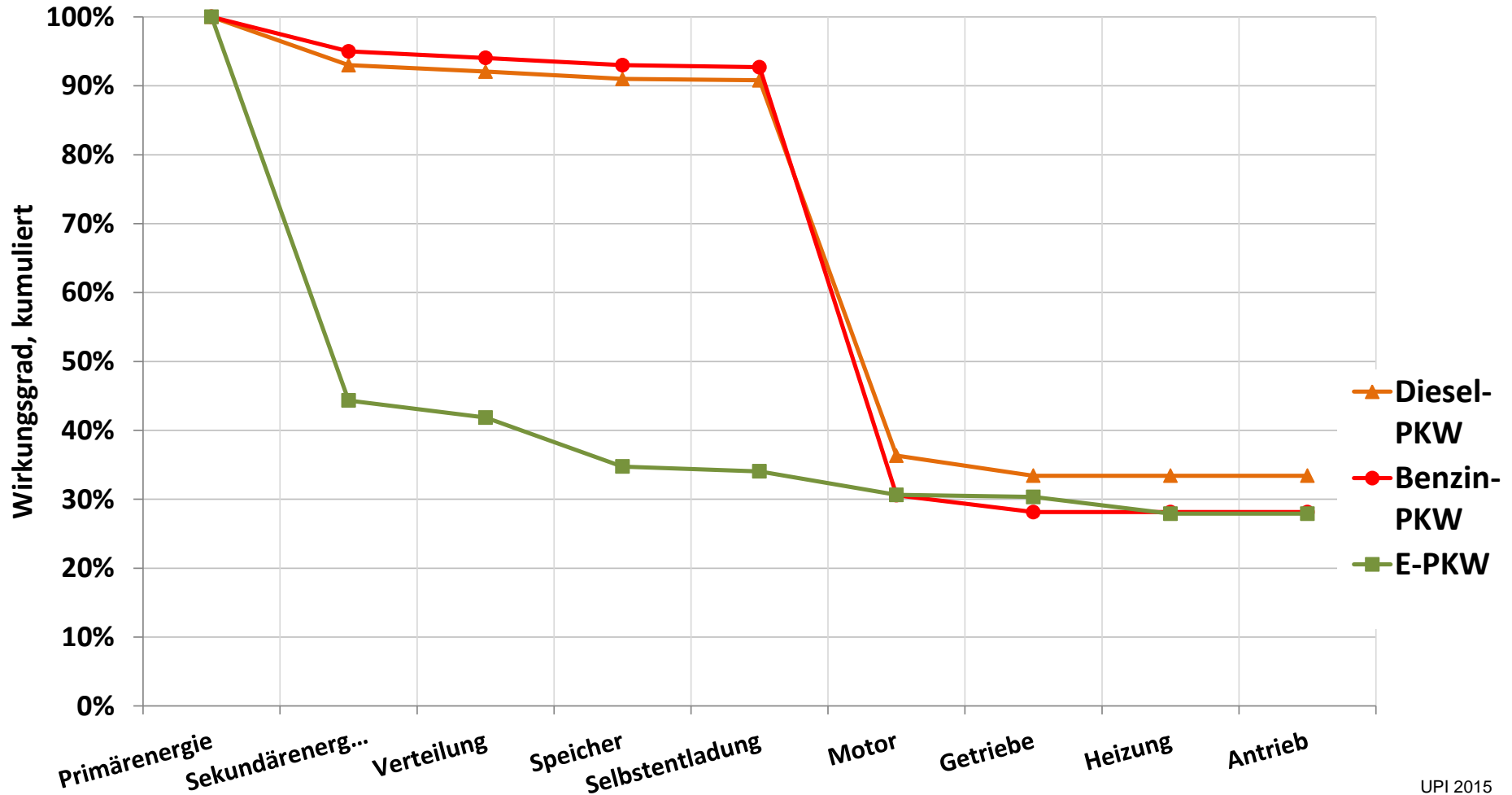
Figure 6: Dispatch changes relative to scenario without EV (2030, EM+)

Power System Impacts of Electric Vehicles in Germany: Charging with Coal or Renewables? W.-P. Schill, C. Gerbaulet, DIW Berlin, 2015

OCGT = Open Cycle Gas Turbine, CCGT= Combined Cycle Gas Turbines, Hard coal=Steinkohle, Lignite=Braunkohle

Energieausnutzung PKW

Benzin, Diesel, Elektrizität

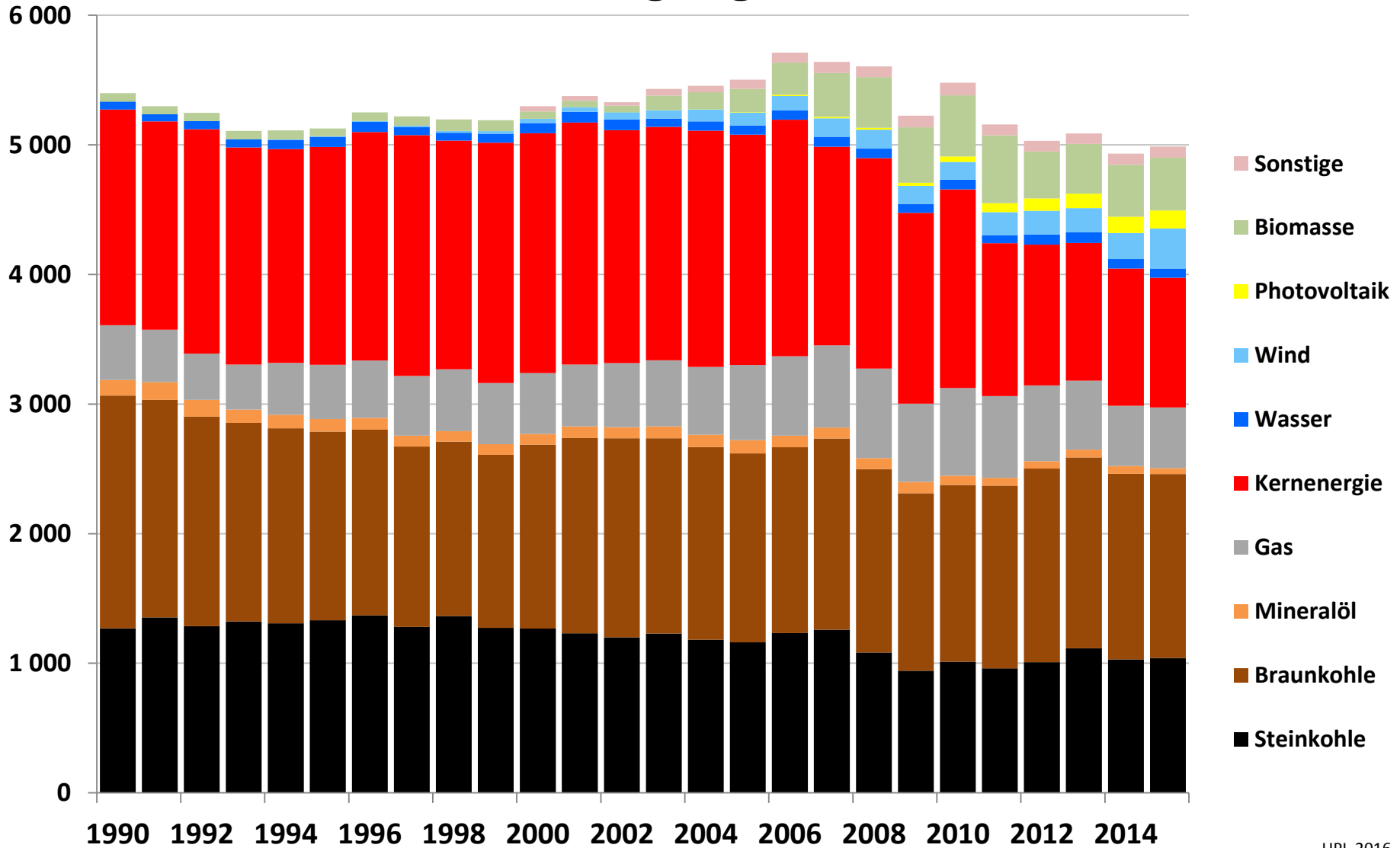


UPI 2015



Primärenergie-Einsatz, PJ/a

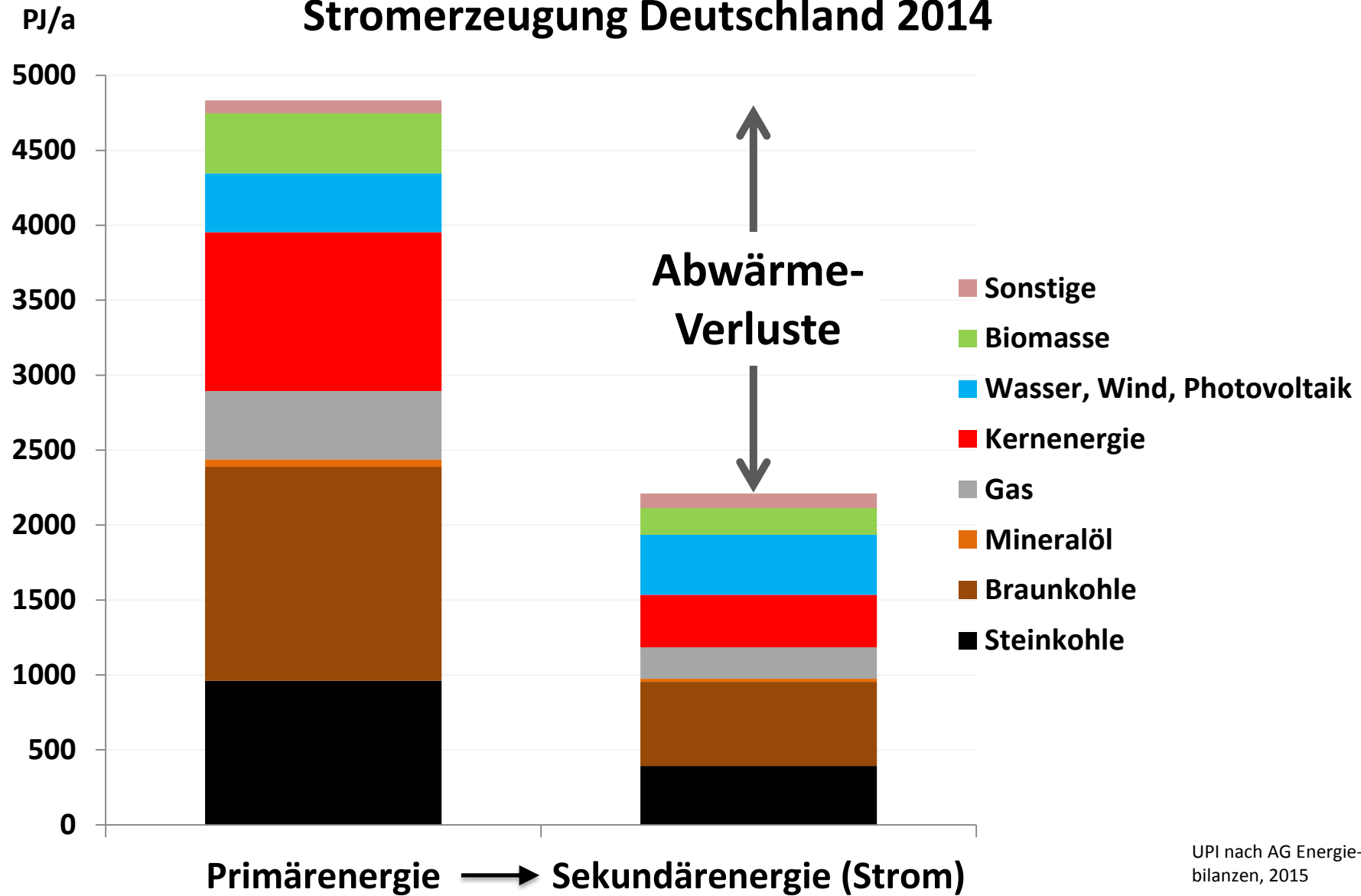
Stromerzeugung Deutschland



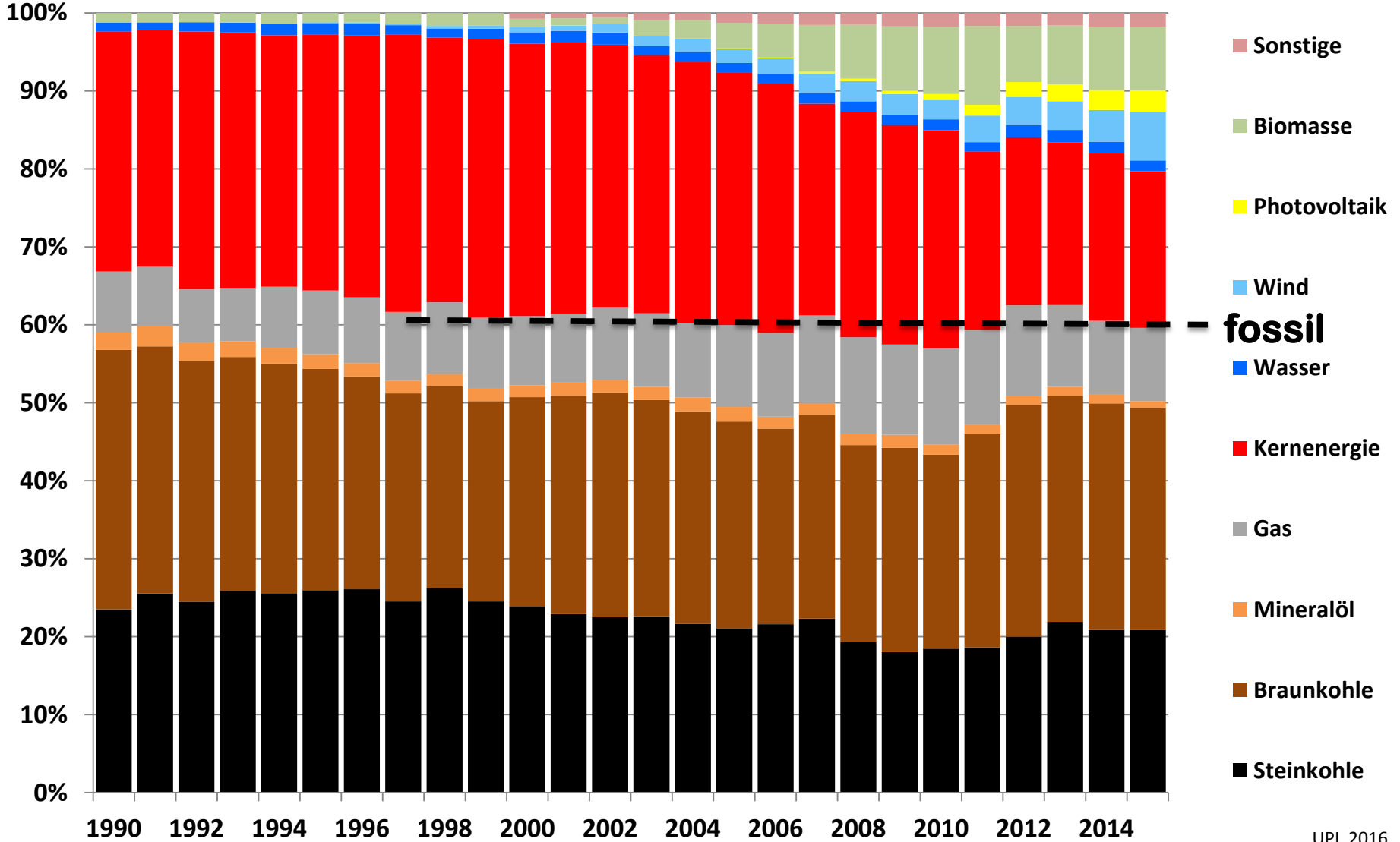
UPI, 2016



Stromerzeugung Deutschland 2014



Stromerzeugung Deutschland



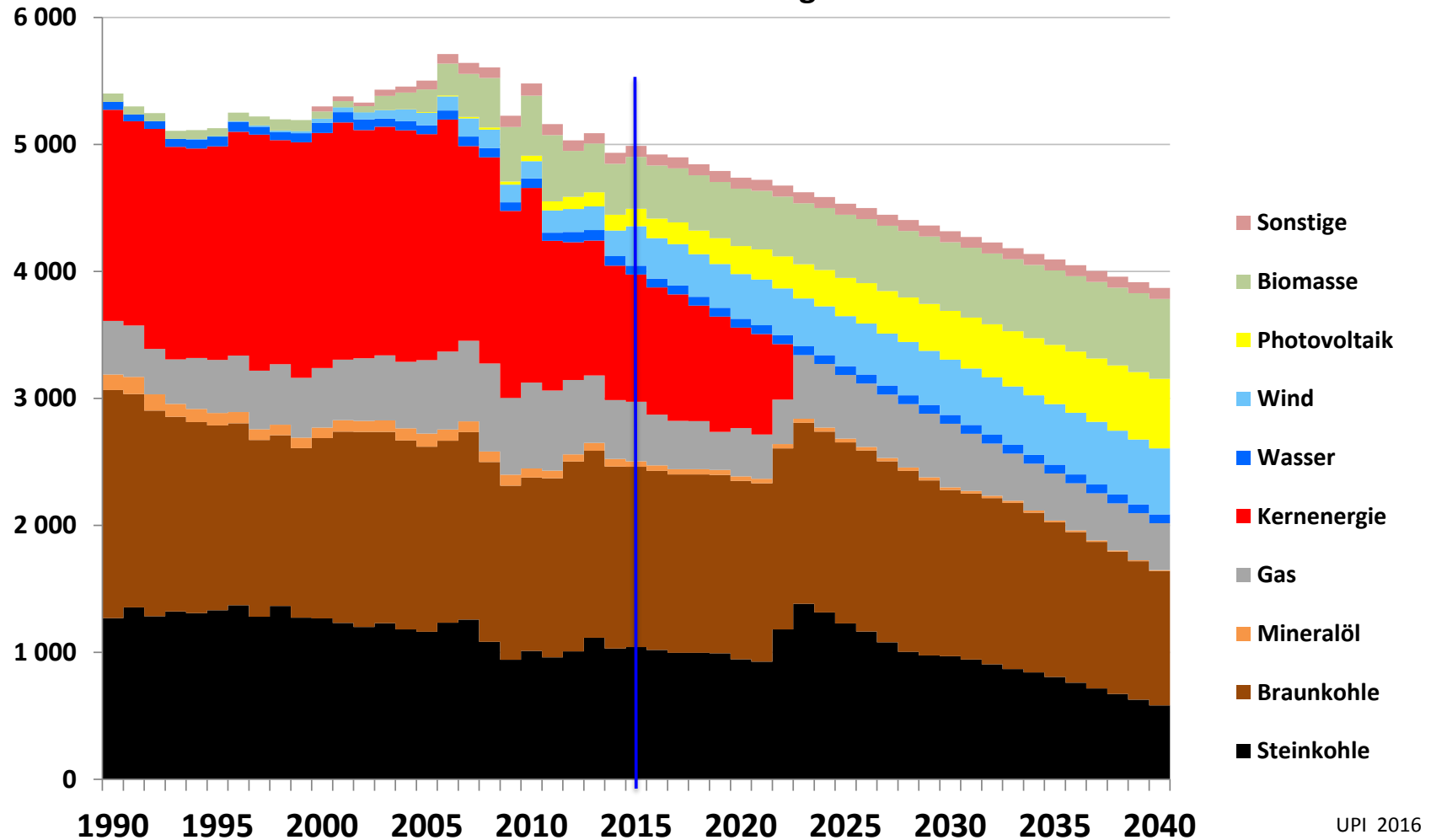
UPI 2016



Primärenergieeinsatz Stromerzeugung D

ab 2016 Prognose

Primärenergie, PJ/Jahr



UPI 2016

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

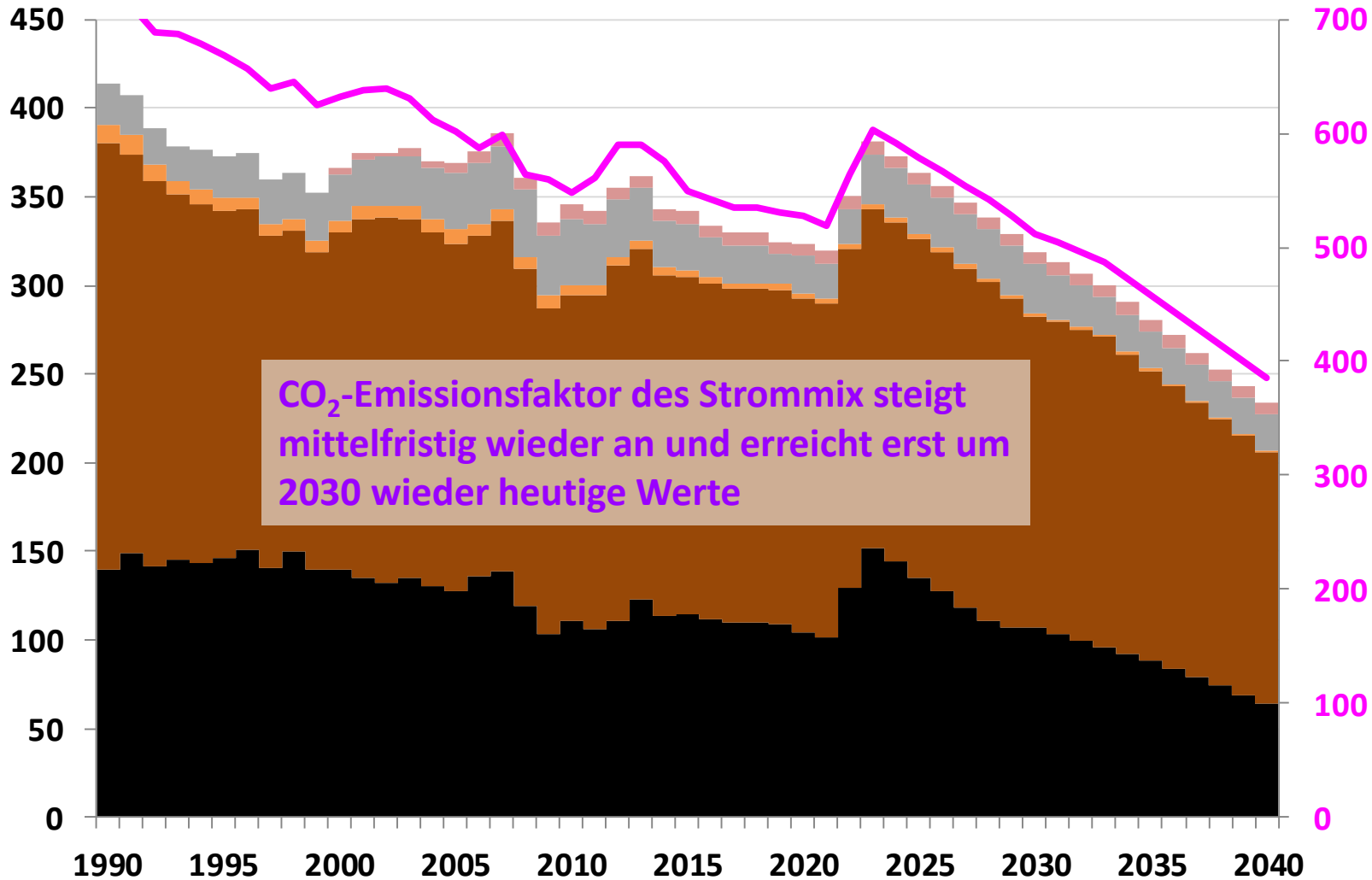


CO₂-Emissionen Stromerzeugung Deutschland

ab 2016 Prognose

Mio t CO₂/Jahr

Emissionsfaktor g CO₂/kWh



UPI 2016

Optimistische Prognoseannahmen !

UPI Mai 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 CO₂-Emission ?

Nein. Der Emissionsfaktor des Stromverbrauchs bleibt gleich.

2. Elektroautos und Gesetzgebung PKW-CO₂-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 CO₂-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 CO₂-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 CO₂-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:

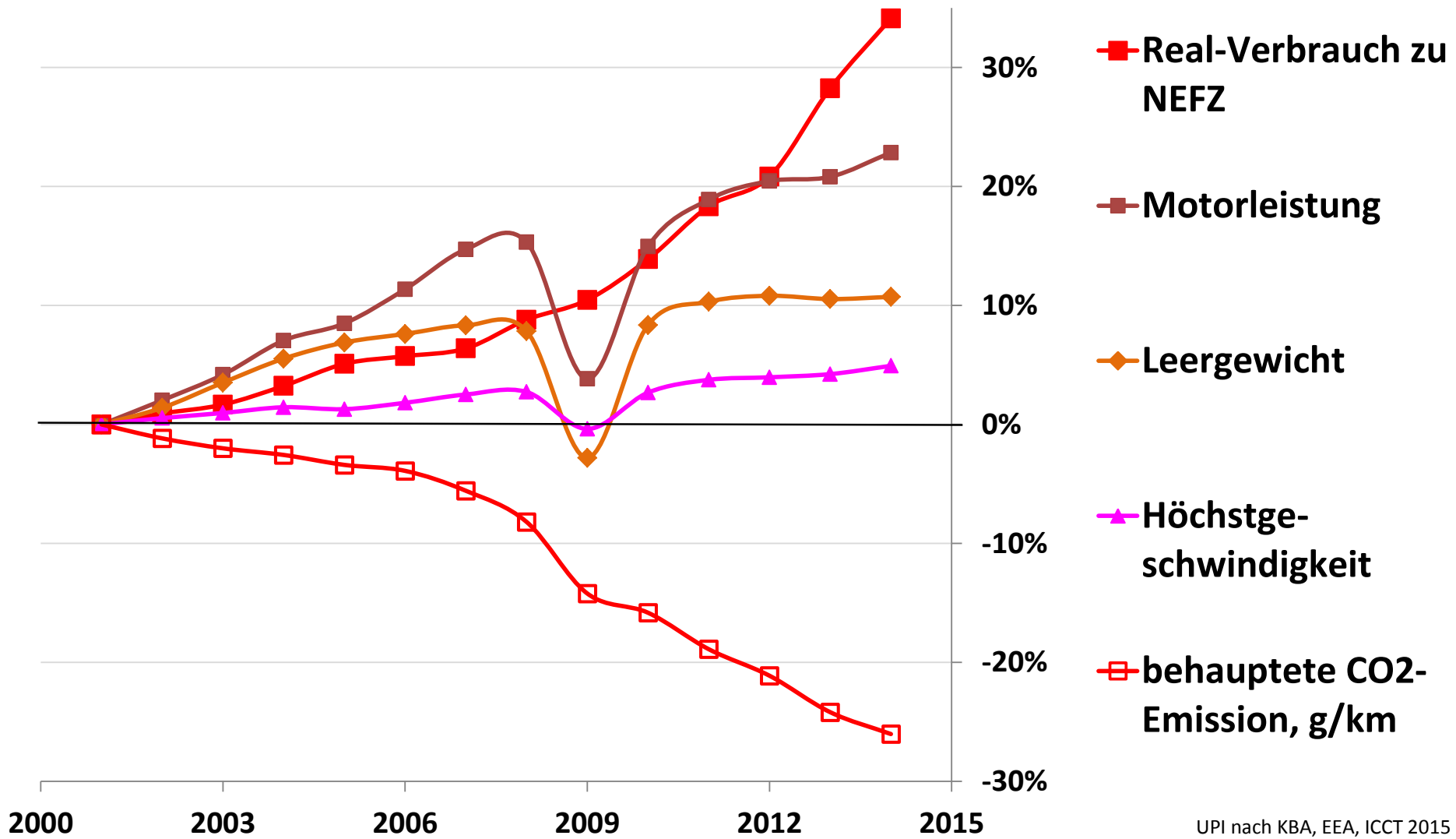
Jahr	Grenzwert, g CO ₂ /km	Anteil der Neuwagenflotte eines Herstellers
vor 2012	158	100 %
2012	130	65 %
2013	130	75 %
2014	130	80 %
2015	130	100 % Neue Situation
2020	95	95%
2021	95	100%

130 g CO₂/km \triangleq ca. 5,5 l Benzin bzw. 4,9 l Diesel/100 km

95 g CO₂/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%

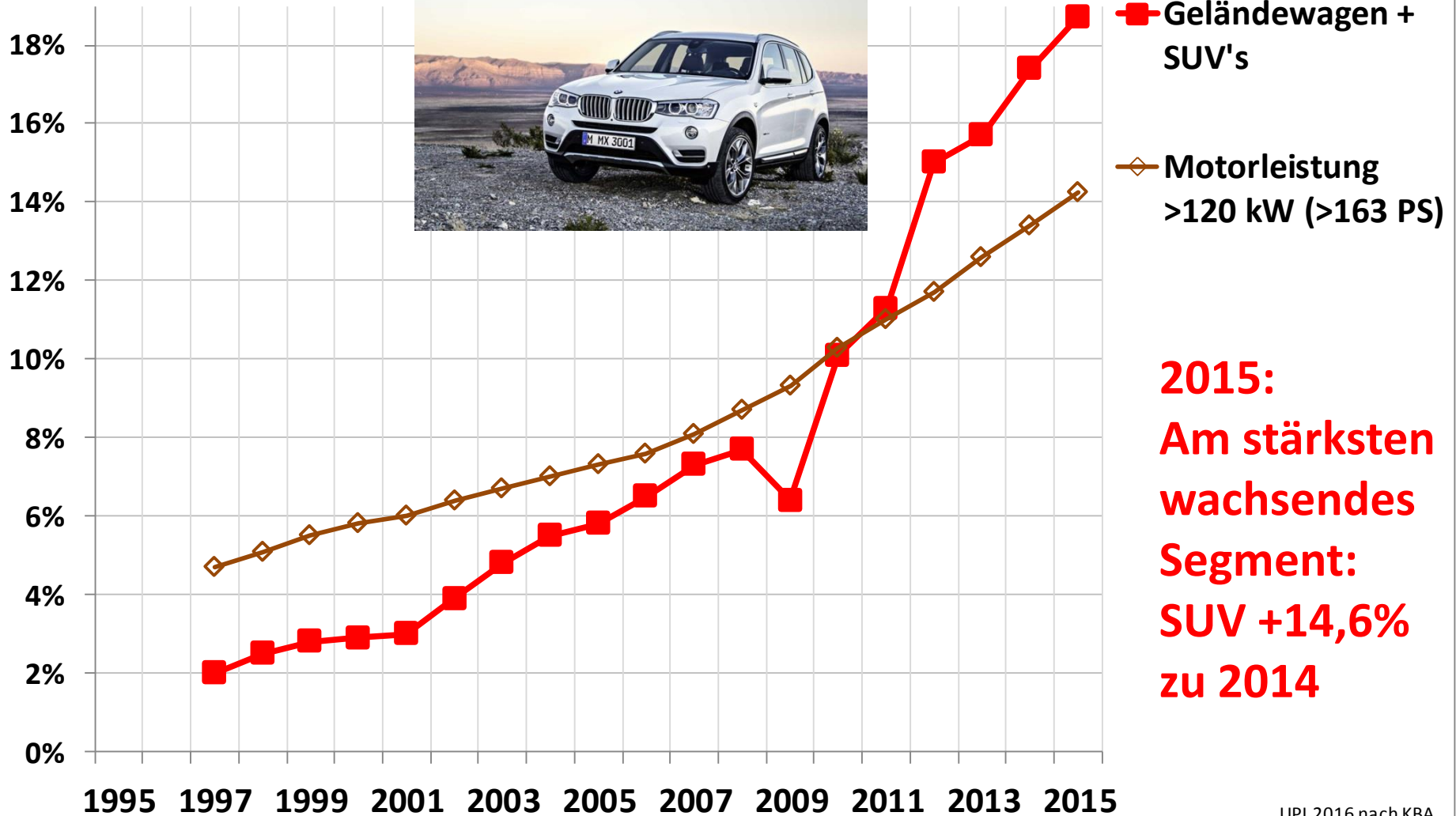
„EU-CO₂-Grenzwerte“

- basieren auf „NEFZ“
- Fahrzeuggewicht erhöht rechnerisch den zulässigen CO₂-Emission-Grenzwert
- CO₂-Emission durch Elektroautos: „Null“
- CO₂-Emission durch [Plug-In-Hybrid-PKW](#): Nur Benzin, Strom aus Netz: „Null“
- CO₂-Emission durch Agrosprit: „Null“
- „Super-Credits“: E-PKW, Hybrid-PKW und E85 werden bis zu 2x gezählt



Anteil an allen
Neuzulassungen

PKW-Neuzulassungen Deutschland



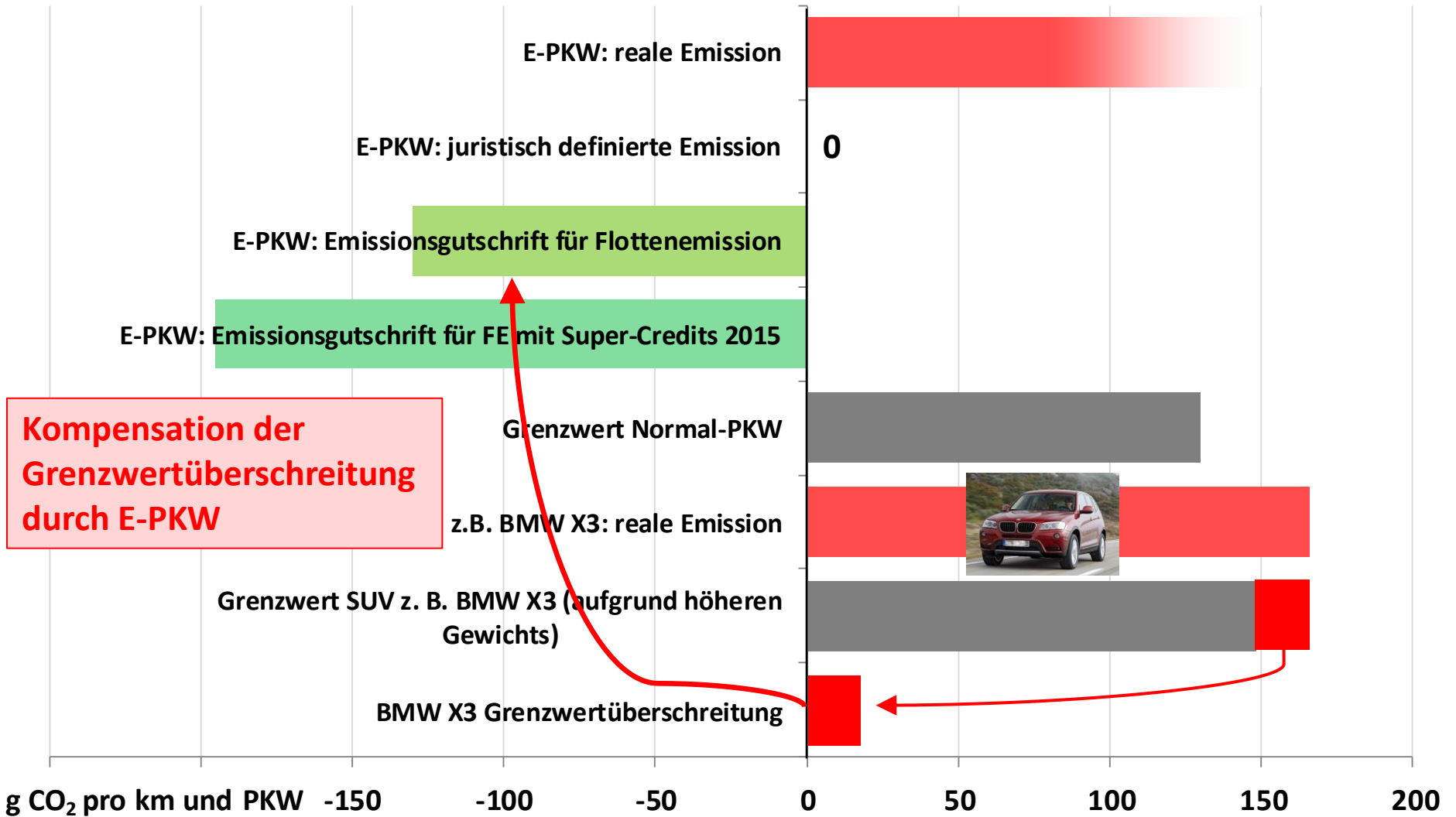
2015:
Am stärksten
wachsendes
Segment:
SUV +14,6%
zu 2014

UPI 2016 nach KBA



CO₂-Emissionen PKW

E-PKW real und in der Flottengrenzwertregelung

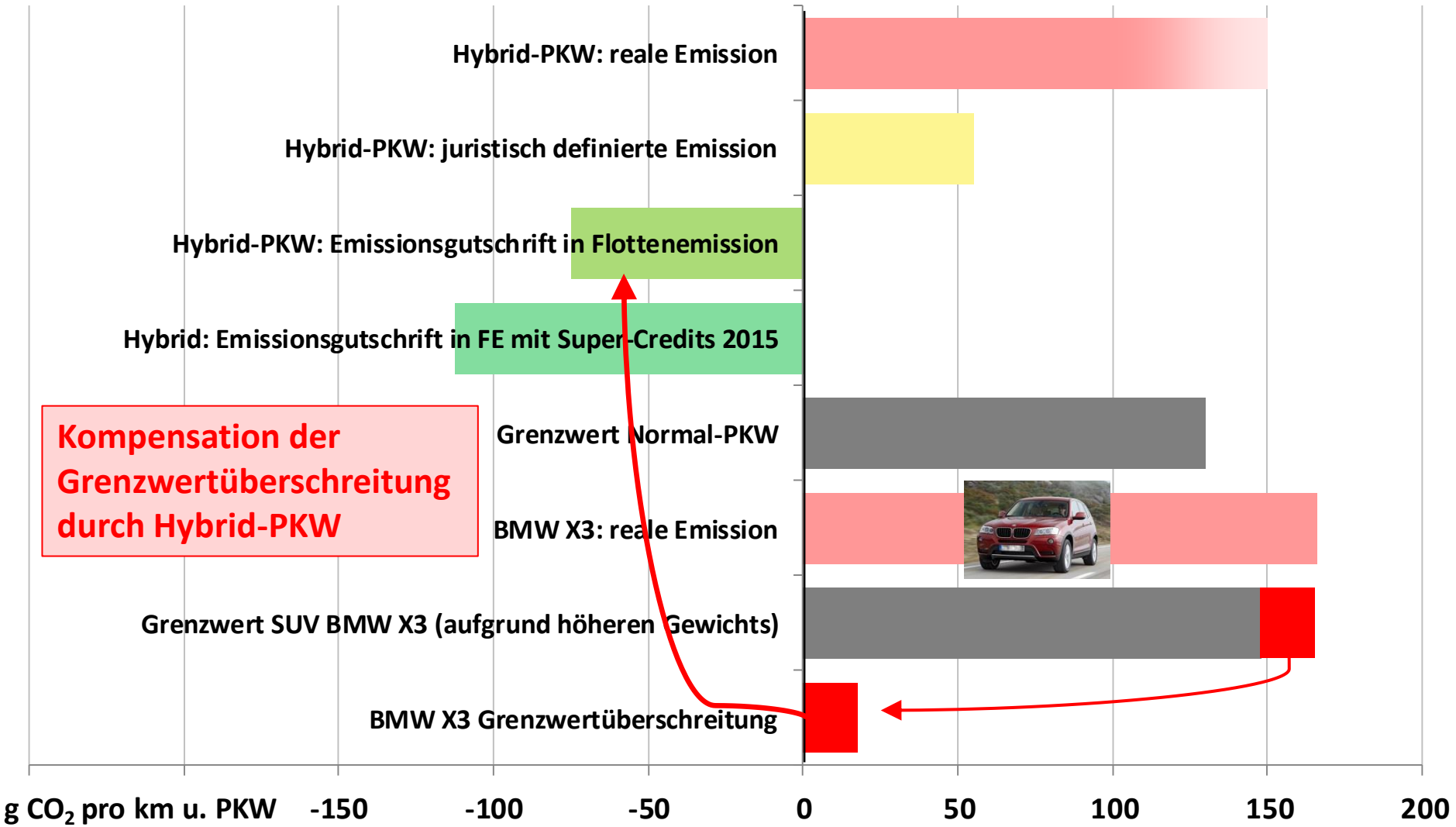


Kompensation der Grenzwertüberschreitung durch E-PKW



CO₂-Emissionen PKW

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

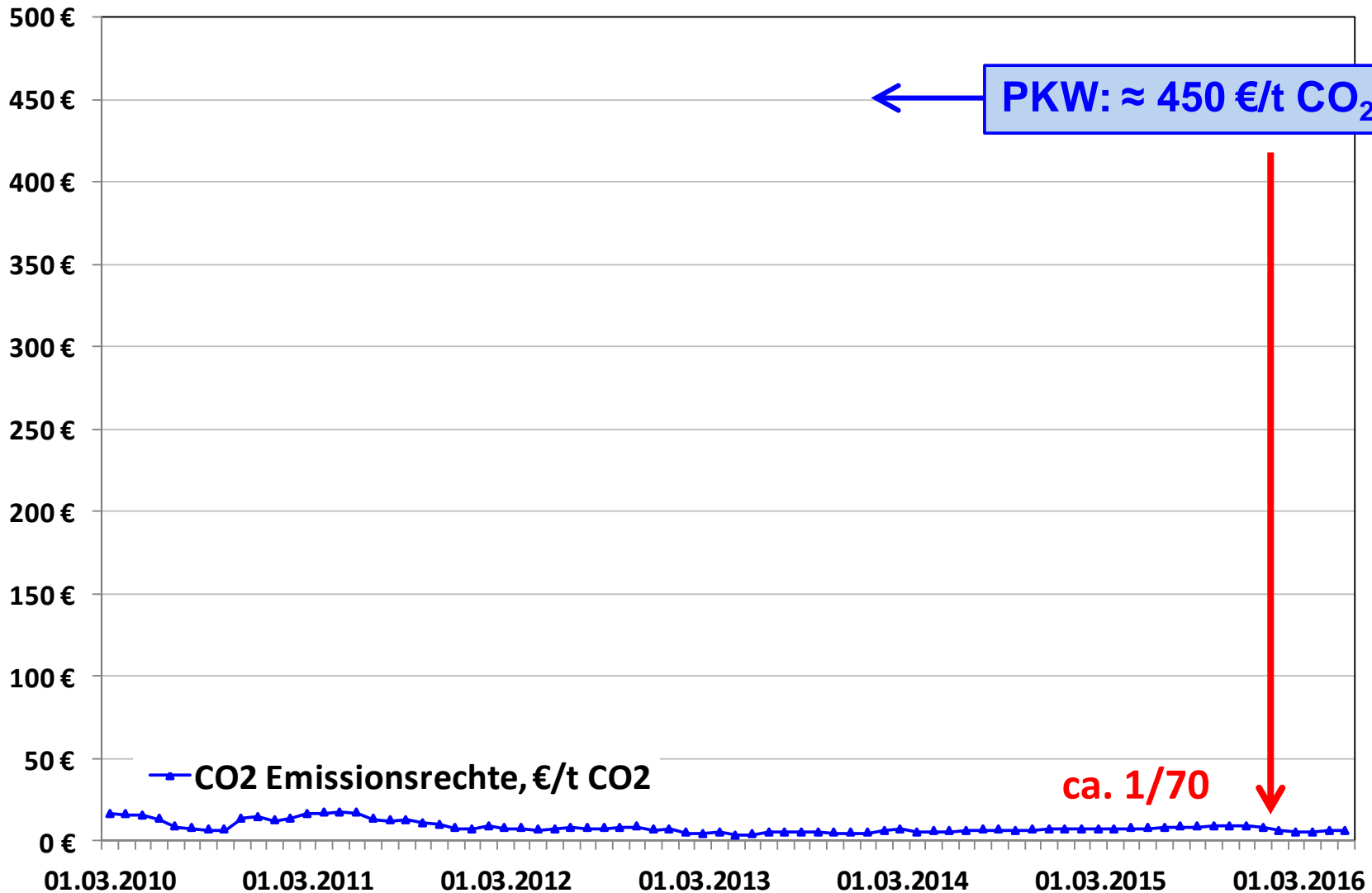


Ist die Förderung von Elektroautos parallel zur EU-CO₂-Flottengrenzwertregelung sinnvoll ?

- 1. Ein Elektroauto ermöglicht ca. 5 großen PKW mit CO₂-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 CO₂-Grenzwertüberschreitungen von 7 bis 10 großen PKW**
- 3. Ein Elektroauto erspart so ca. 5 Geländewagen/SUV Strafzahlungen wegen CO₂-Grenzwertüberschreitung in Höhe von z.Zt. ca. 10 000 € (ohne Super-Credits gerechnet)**
- 4. Dieselben Regelungen gelten bei Plug-in-Hybrid-PKW, die CO₂-Kompensationen sind etwa halb so stark wie bei Elektroautos**
- 5. Die Förderung von Elektroautos führt zu einer Erhöhung der CO₂-Emissionen. Jeder geförderte E-PKW ermöglicht großen PKW über die Laufzeit CO₂-Mehremissionen über dem Grenzwert von ca. 50 Tonnen CO₂ ohne Strafzahlungen (ohne Super-Credits und Rebound-Effekte gerechnet)**

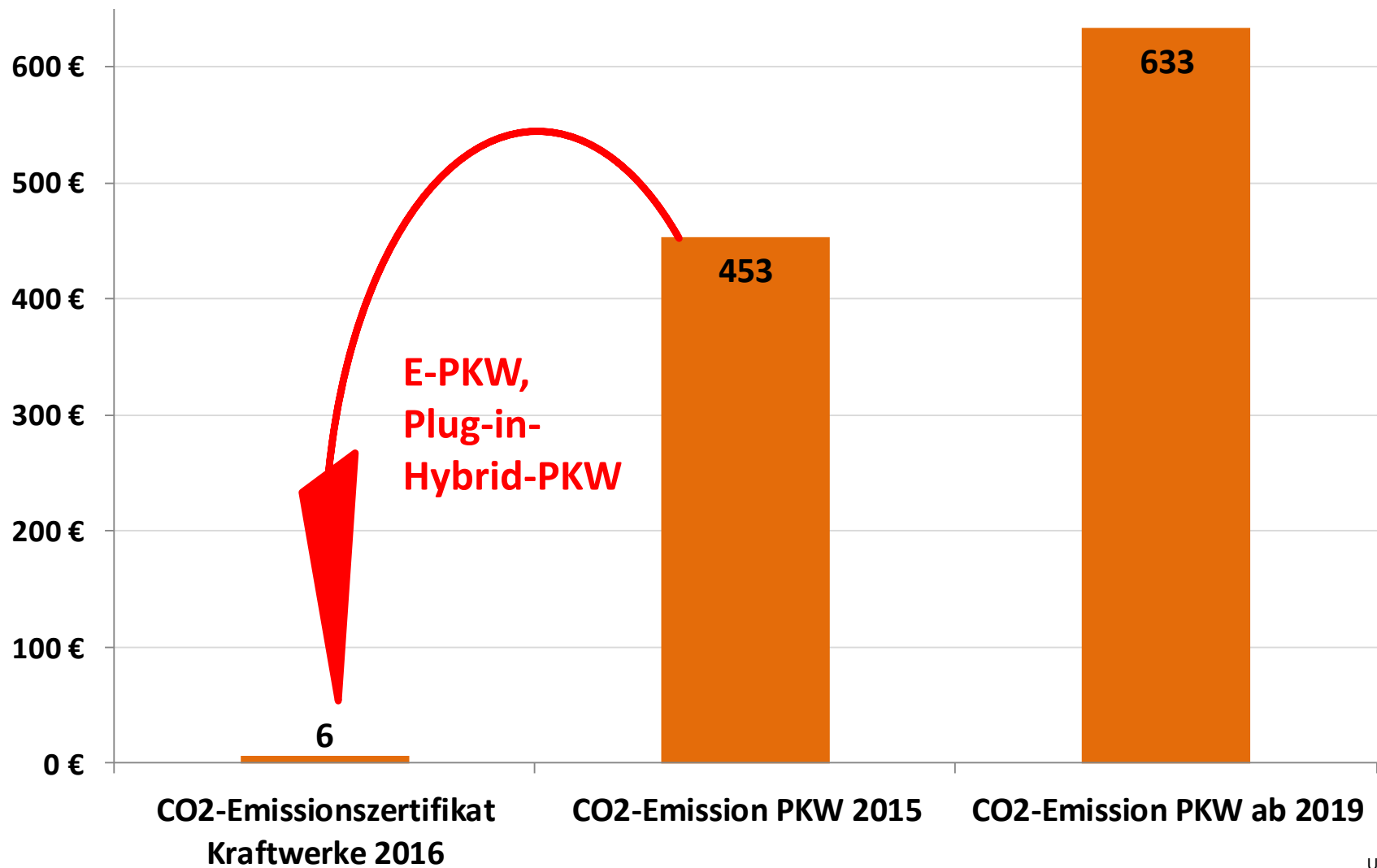


Preisentwicklung CO₂-Emissionsrechte



Euro/t CO₂

Kosten der Emission pro zusätzlicher Tonne CO₂



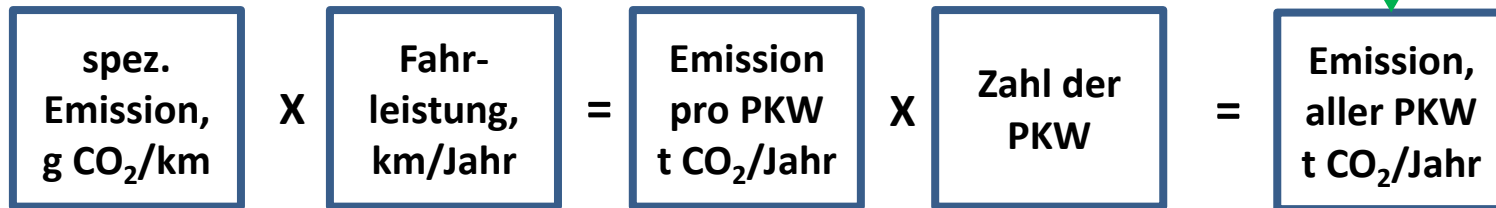
UPI 2015



Genügt die Begrenzung der spezifischen Emission in g CO₂/km ?

**Klimaziel:
-90% t CO₂ bis 2050**

Autoverkehr:



Begrenzt

unbegrenzt

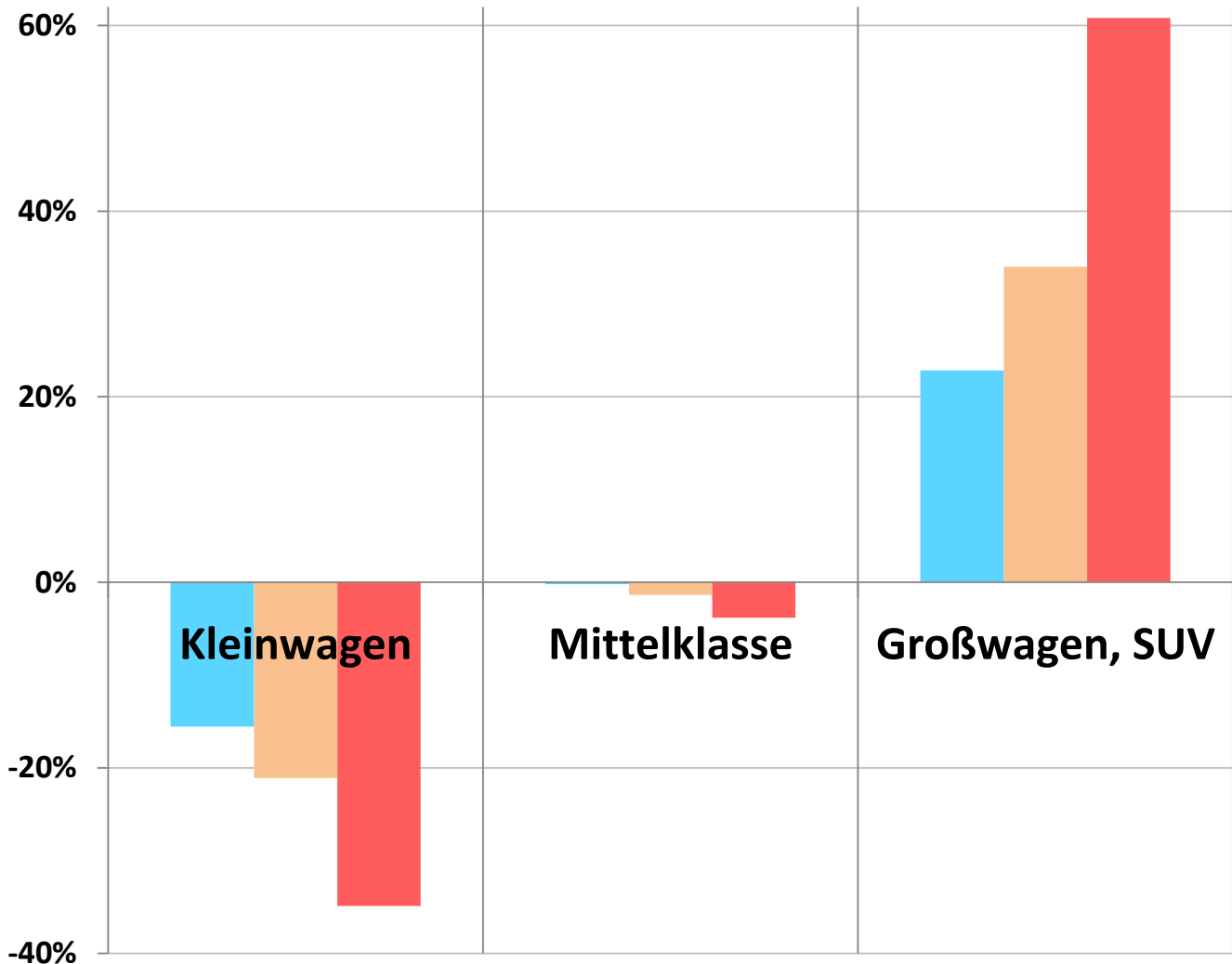
unbegrenzt



PKW-Klassen: Kennziffern

im Vergleich zum Durchschnitt

im Vergleich zum Durchschnitts-PKW



CO₂-Grenzwert

spezifische Emission, g CO₂/km

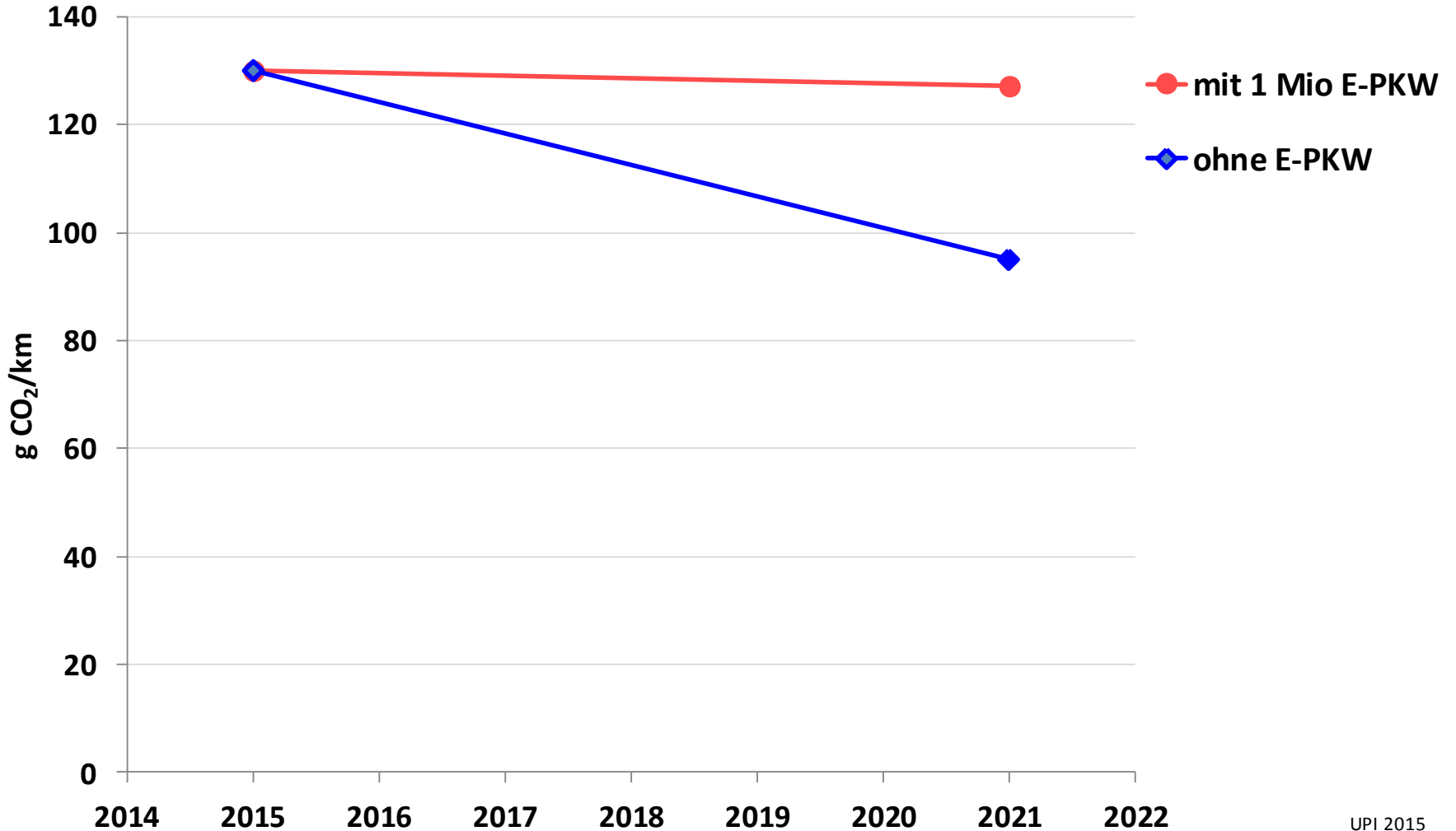
mittl. Fahrleistung, km/a

CO₂-Emission, t/a

Das Relevante: nicht begrenzt

Wirkung des Ziels 1 Million Elektroautos auf die CO₂-Minderung bei PKW

Wirksamer Grenzwert für Gesamtflotte



UPI 2015



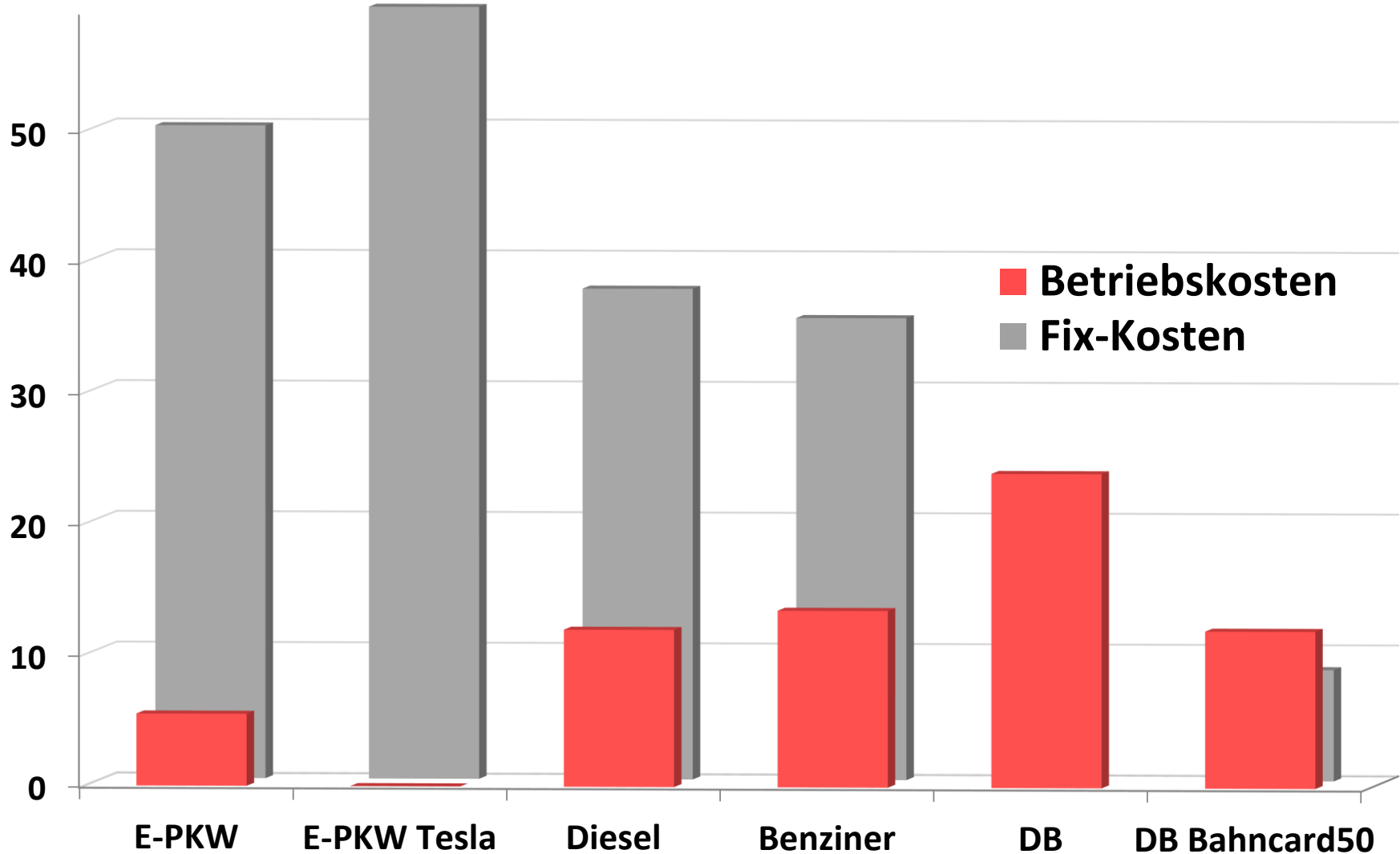
3. Reboundeffekte: Rückkopplungseffekte, die zum Gegenteil des Beabsichtigten führen

1. Durch die juristische Definition von E-PKW als Null-Emissions-Fahrzeuge und Verrechnung dieser „Null“-Emissionen in der EU-CO₂-Flottengrenzwertregelung **führt die Zunahme des Anteils der Elektroautos zur Aufweichung des Effizienzziels für Fahrzeuge mit fossilen Brennstoffen und zur Zunahme der CO₂-Emission (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 subjektiv 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

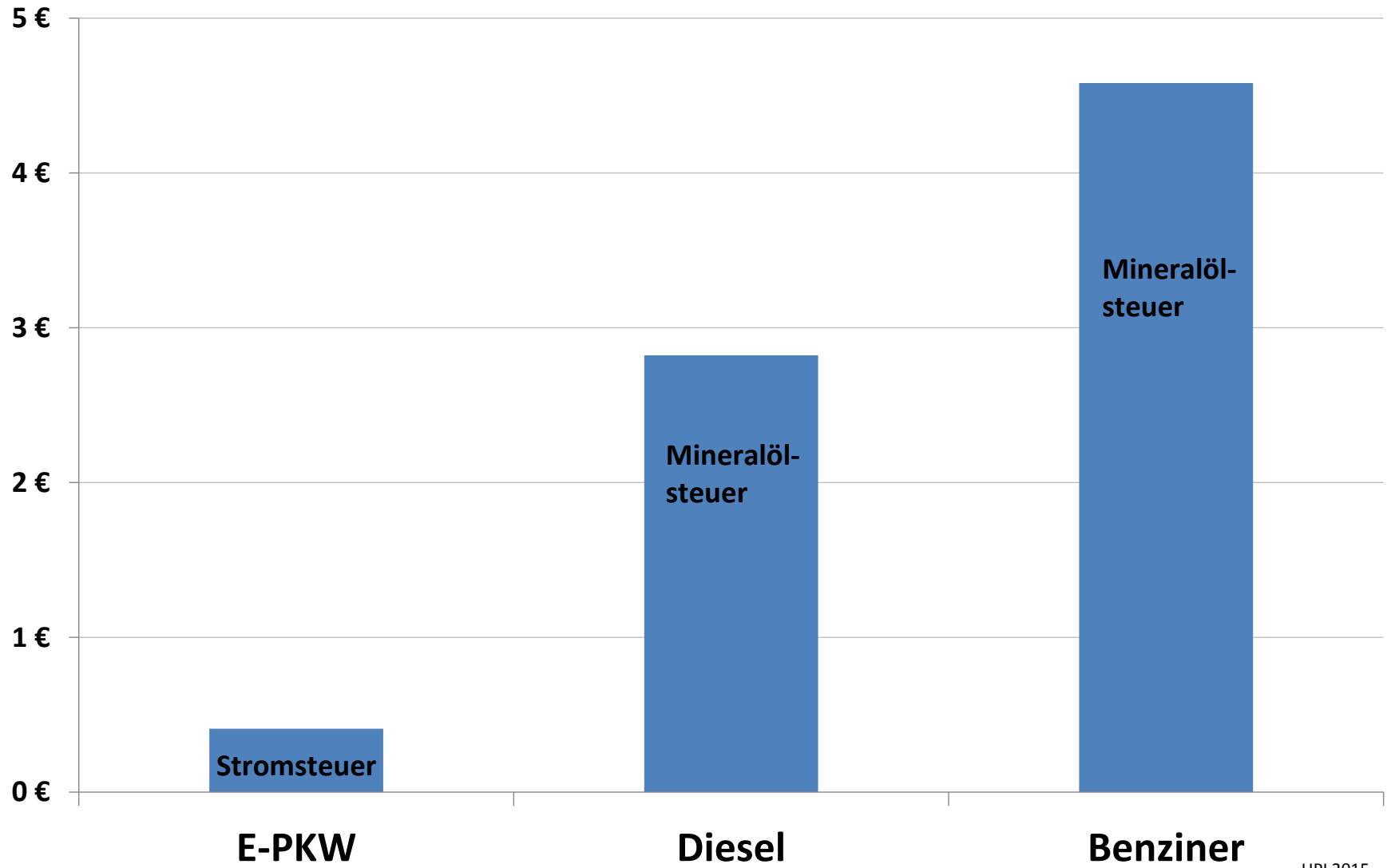
ct/km



UPI 2015

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

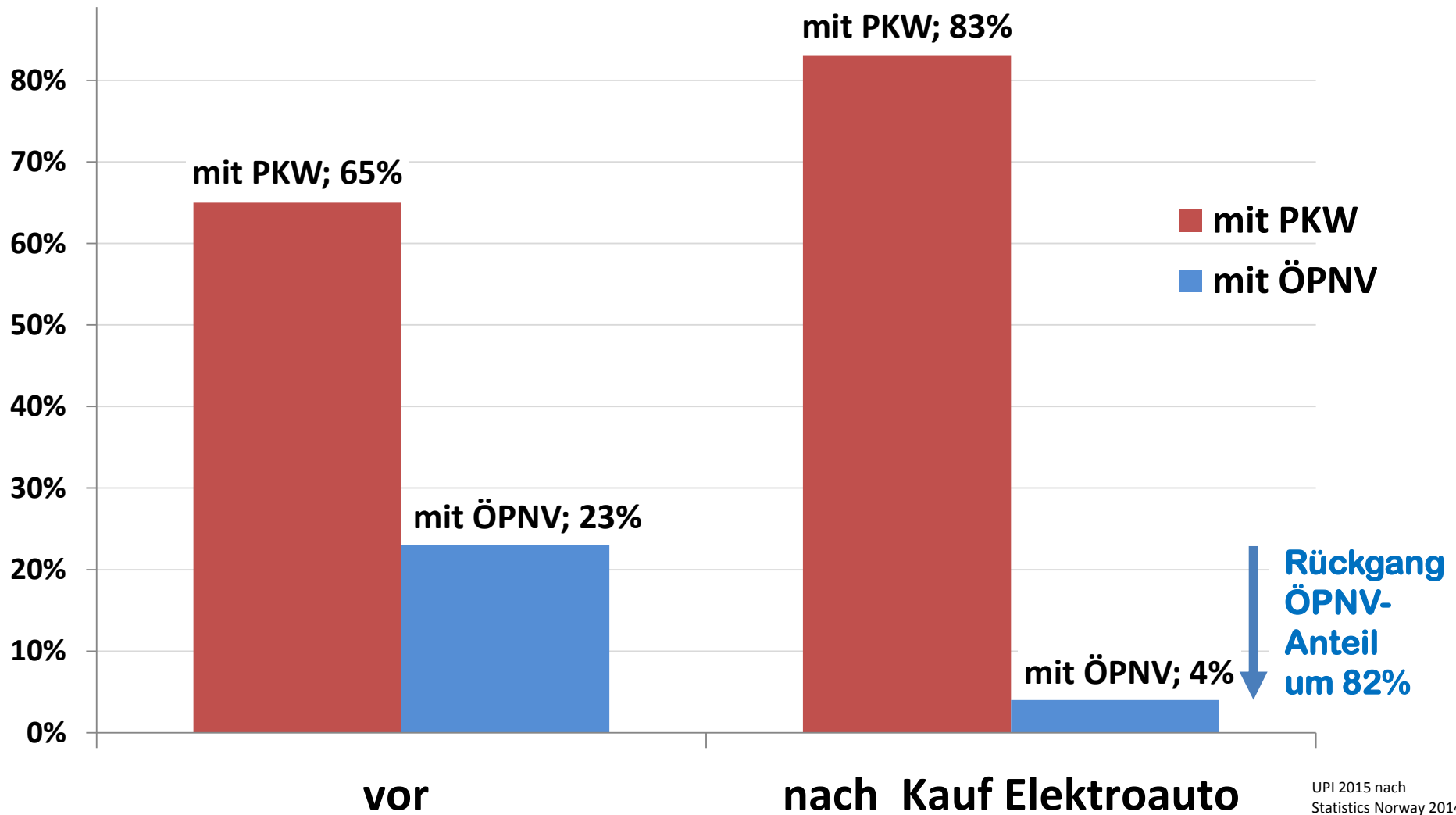
€/100 km **Abgaben PKW pro 100 km bei durchschnittlichem Verbrauch, D 2014**



UPI 2015

Modal-Split-Änderungen nach Kauf eines Elektroautos

Erfahrungen in Norwegen: Fahrten zur Arbeit



Jahresfahrleistung Elektroautos 2015

zum Vergleich: Ø PKW Deutschland 2013

PKW allgemein: 14.000 KM

Gelegenheitsfahrer E-PKW

23.000KM

Pendler E-PKW

27.400KM

47.960KM

Viefahrer E-PKW

E-PKW Durchschnitt

25.130 KM Ø

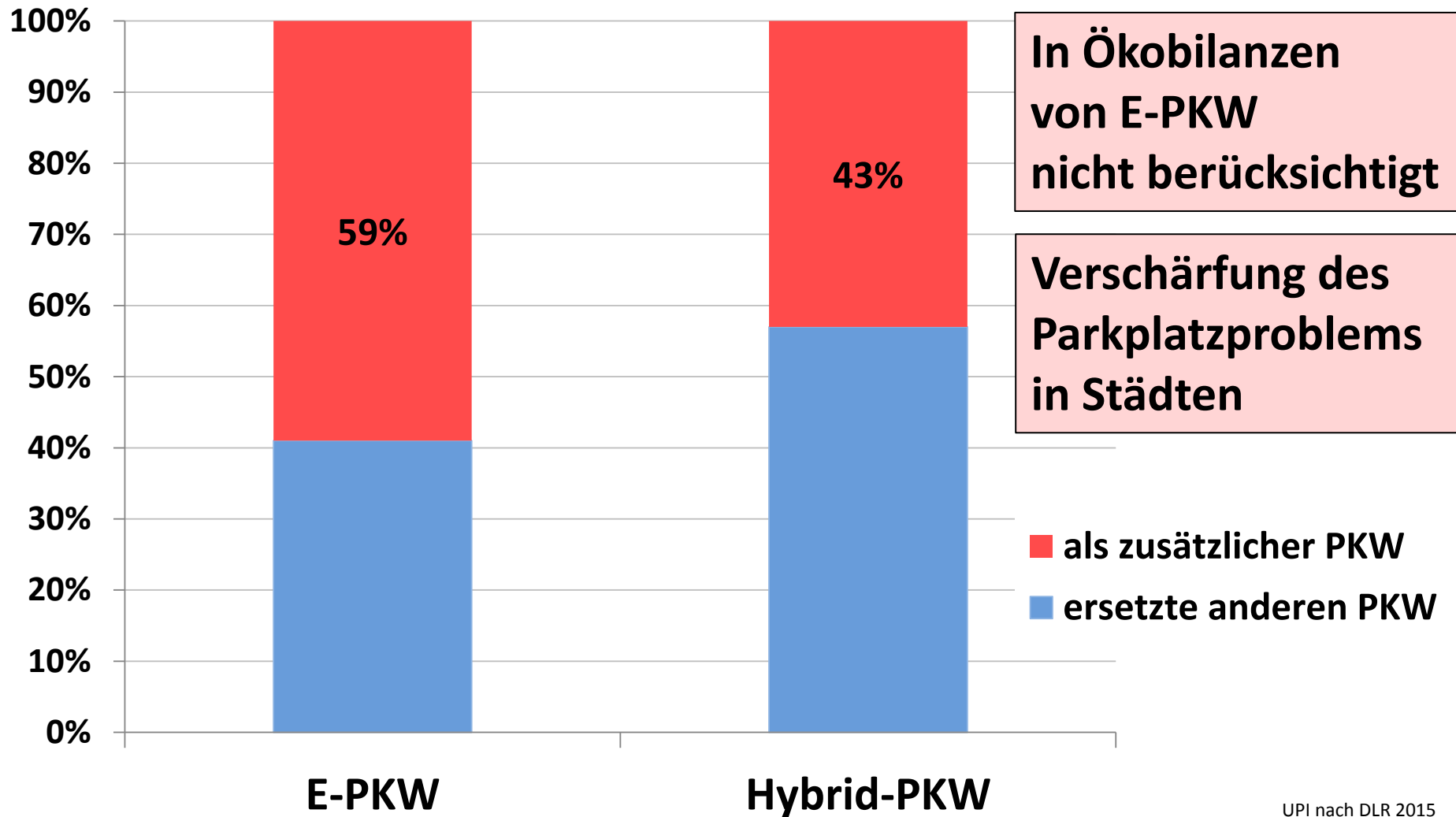
TU Dresden, Januar 2016

Die jährliche Fahrleistung von Elektroautos liegt ca. 80% höher als die normaler PKW.



Funktioneller Rebound-Effekt

E-PKW als zusätzliche Autos



UPI nach DLR 2015



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



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:** Absatz Pedelecs/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

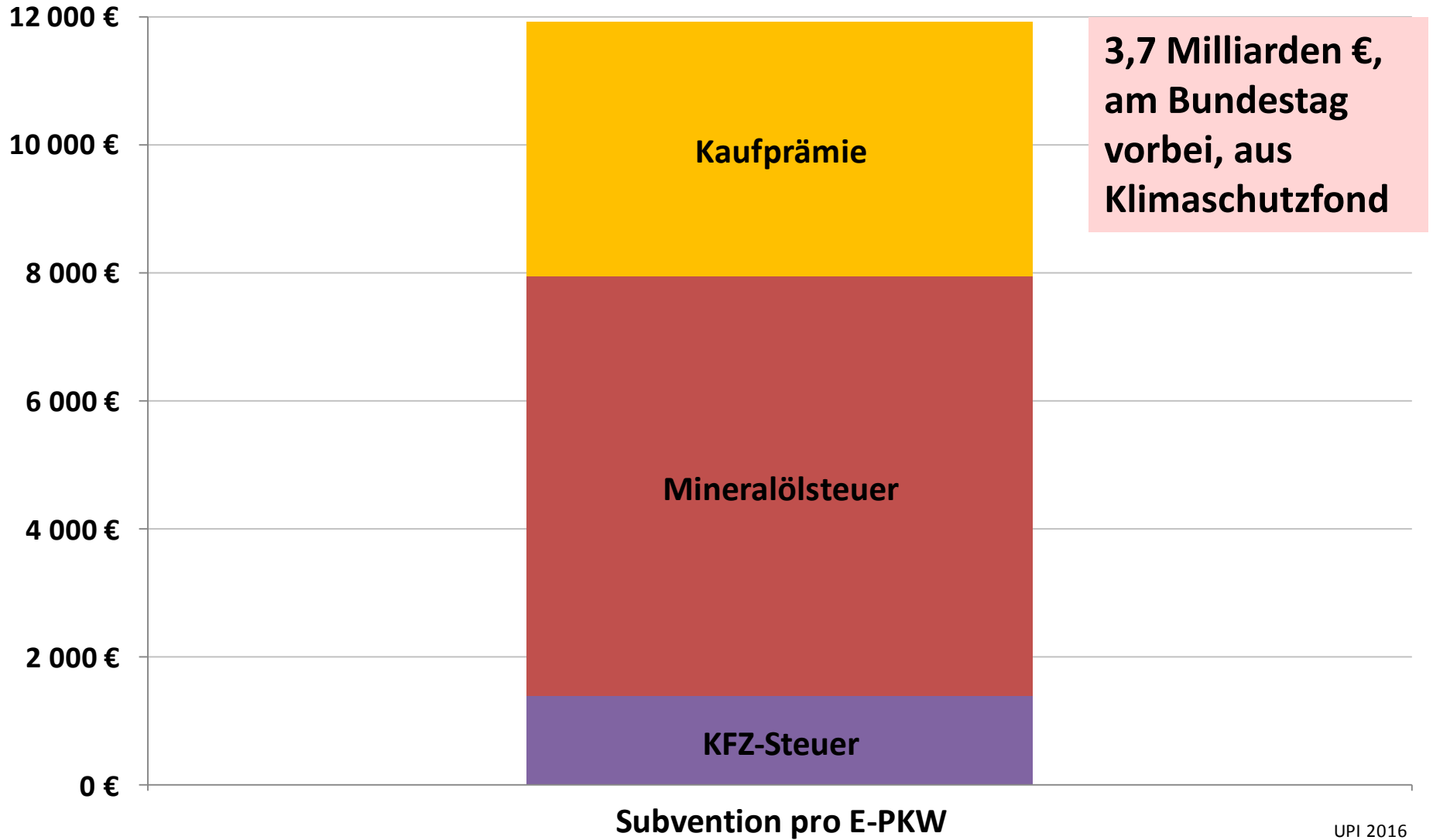
1. **Berechnung der CO₂-Flottenemission mit realer Emission statt mit „Nullemission“: Änderung der EU-Gesetzgebung**
2. **deutlicher Rückgang fossiler Brennstoffe in der Stromerzeugung: in D ab ca. 2030** (Maßstab für CO₂-Emission ist nicht der Anteil regenerativ, sondern der Anteil fossil erzeugten 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



pro E-PKW, 10 Jahre

Subventionierung von Elektroautos



UPI 2016



