

*„Das Auto ist fertig entwickelt. Was kann noch kommen?“
Carl Friedrich Benz, 1920*

Martin Doppelbauer
Univ.-Prof. Dr.-Ing.

Sonne im Tank

Das Auto wird neu erfunden

Elektrotechnisches Institut (ETI) – Professur für Hybridelektrische Fahrzeuge (HEV)







Prof. Dr.-Ing.
Martin Doppelbauer
*Professur für Hybride
Elektrische Fahrzeuge (HEV)*
Tel.: +49 (721) 608-46250
Martin.Doppelbauer@kit.edu
Campus Süd, Geb. 11.10
Raum 114

- Elektromagnetische Motorauslegung
- Mechanische Auslegung / Konstruktion
- Antriebssysteme
- Antriebe für elektrische Fahrzeuge



Prof. Dr.-Ing.
Marc Hiller
*Professur Leistungs-
elektronische Systeme (PES)*
Tel.: +49 (721) 608-42474
Marc.Hiller@kit.edu
Campus Süd, Geb. 11.10
Raum 116

- Umrichterauslegung
- Elektrische und Thermische Simulation
- LV/MV-Leistungshalbleiter
- Neuartige Applikationen

PKW 2.0

Das Auto wird neu erfunden

ELEKTROAUTOS

Fiat will nach 2030 keine Verbrenner mehr produzieren

Zwischen 2025 und 2030 will der italienische Autohersteller **Fiat** komplett auf die Produktion **elektrischer Autos** umstellen.

Verbrenner-Ausstieg: Audi, BMW, VW, Volvo, Elektro — 25.03.2021

Bei VW sterben die Verbrenner aus – für den Polo der Anfang vom Ende?

VW und Audi bremsen die Entwicklung neuer Benzin- und Dieselmotoren – das könnte bald Folgen für den Polo haben. So lange kriegen Sie noch einen Verbrenner!

HINTERGRUND Ende des Verbrennungsmotors

Norwegen gibt das Tempo vor

Stand: 09.04.2019 18:30 Uhr

E-Autos sollen helfen, den CO₂-Ausstoß zu senken. Während Deutschland noch über die Zukunft des Verbrennungsmotors streitet, haben andere Länder bereits sein Ende beschlossen. Ehrgeizig sind nicht nur die Skandinavier.

Klimaschutzgesetz

Spanien verbietet Autos mit Verbrennungsmotor

Spanien will in wenigen Jahrzehnten klimaneutral werden. Schon ab 2040 ist deshalb der Verkauf von Diesel- und Benzinautos untersagt. Zehn Jahre später dürfen sie gar nicht mehr auf die Straße.

Luftverschmutzung: Paris kündigt Ende für Diesel- und Benzinautos an



Paris kündigt Ende für Diesel- und Benzin-PKW ab 2040 an
© Foto: gettyimages.com/stevegrainey

In der französischen Hauptstadt sollen ab 2024 keine Dieselfahrzeuge und 2030 keine Benzin- mehr in der Stadt fahren dürfen. Einen Endtermin für Verbrennungsmotoren ist für 2040 vorgesehen.

Sonne im Tank

Das Auto wird neu erfunden

Inhalt

Einleitung – Warum überhaupt Elektromobilität?

Praxis – Was ist der aktuelle Stand (Laden, Reichweite, Fahrzeuge)?

Batterien – Die sind doch so umweltschädlich!

Infrastruktur – Elektromobilität geht doch gar nicht!

Ausblick – Wie geht's weiter?

Sonne im Tank

Das Auto wird neu erfunden

Inhalt

Einleitung – Warum überhaupt Elektromobilität?

Praxis – Was ist der aktuelle Stand (Laden, Reichweite, Fahrzeuge)?

Batterien – Die sind doch so umweltschädlich!

Infrastruktur – Elektromobilität geht doch gar nicht!

Ausblick – Wie geht's weiter?

Elektrofahrzeuge – Wofür eigentlich?

“Verbrenner werden immer besser!“ - Stimmt das wirklich?

Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland

1990 bis 2018 (1990=100%)



Verkehr



Landwirtschaft



Energie-wirtschaft



Industrie



Haushalte

1990

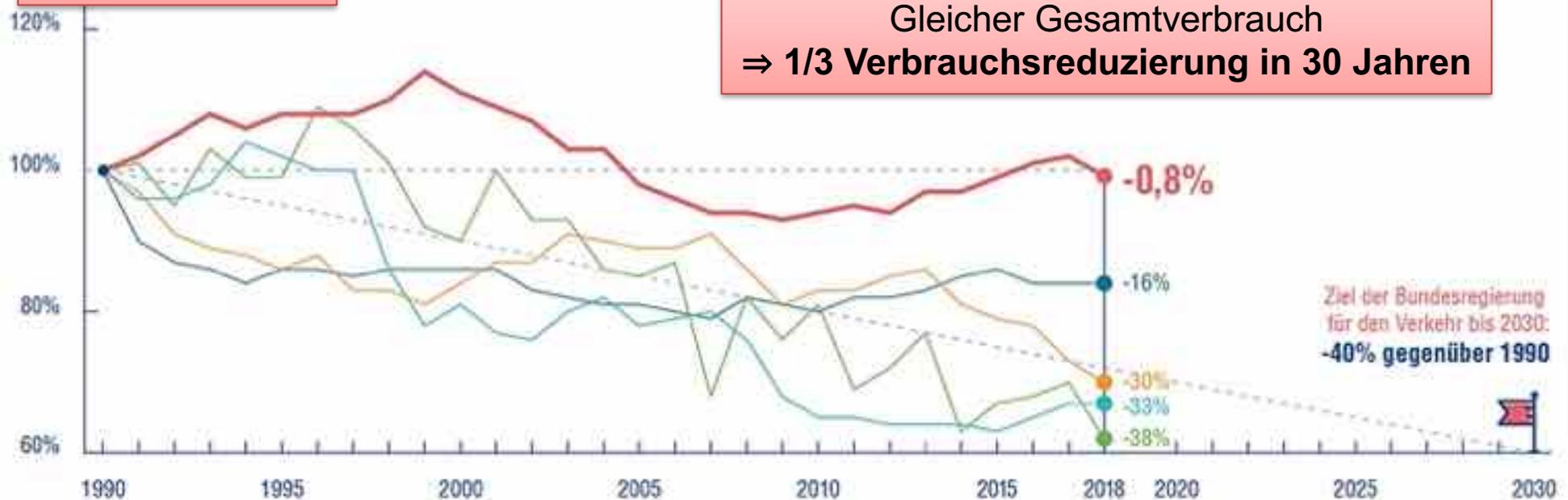
431 Mrd. Pkw-km

2020

645 Mrd. Pkw-km (+50%)

Gleicher Gesamtverbrauch

⇒ 1/3 Verbrauchsreduzierung in 30 Jahren

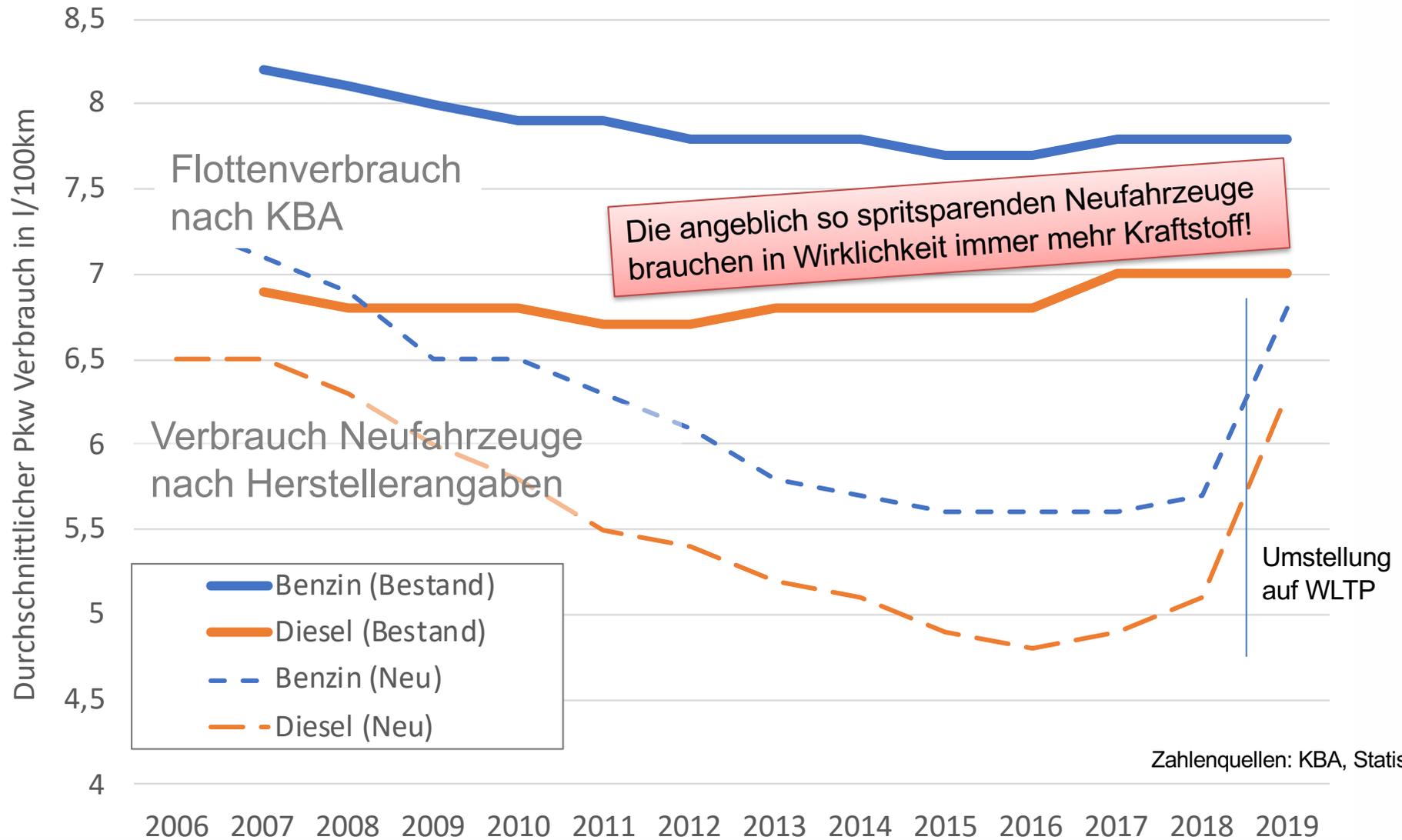


Quelle: Allianz pro Schiene | 07/2019 | auf Basis von Umweltbundesamt 2019
Lizenz: Nutzung frei für redaktionelle Zwecke unter Namensnennung

Quelle: <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/umwelt/daten-fakten/>

Elektrofahrzeuge – Wofür eigentlich?

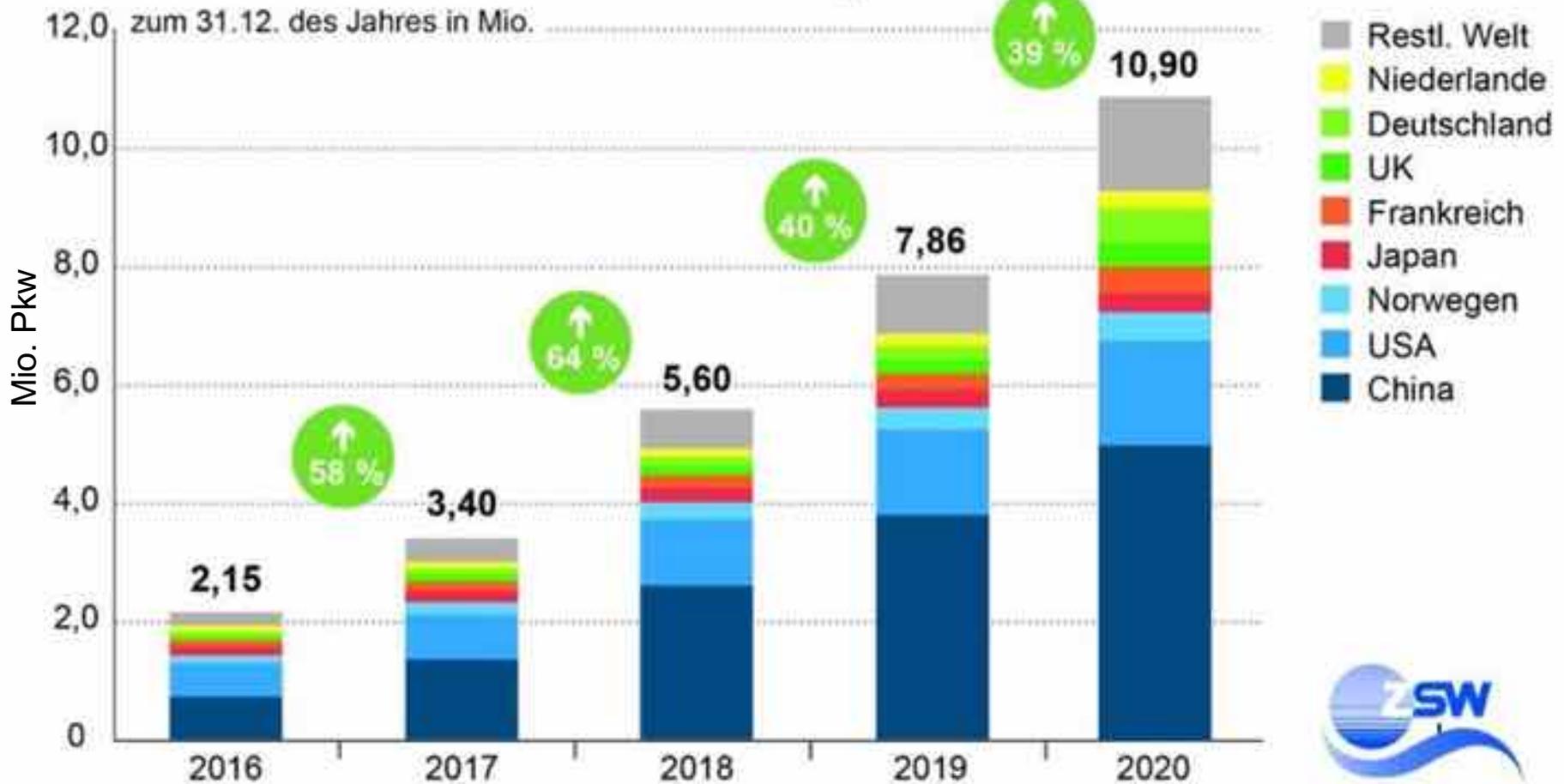
“Verbrenner werden immer besser!“ - Stimmt das wirklich?



Elektrofahrzeuge – Wo stehen wir ?

Aktueller Bestand Elektrofahrzeuge weltweit

Bestand an Elektrofahrzeugen*



* Elektrofahrzeuge: ausgewertet wurden Pkw und leichte Nutzfahrzeuge mit ausschließlich batterieelektrischem Antrieb oder mit Range Extender sowie Plug-In Hybride.

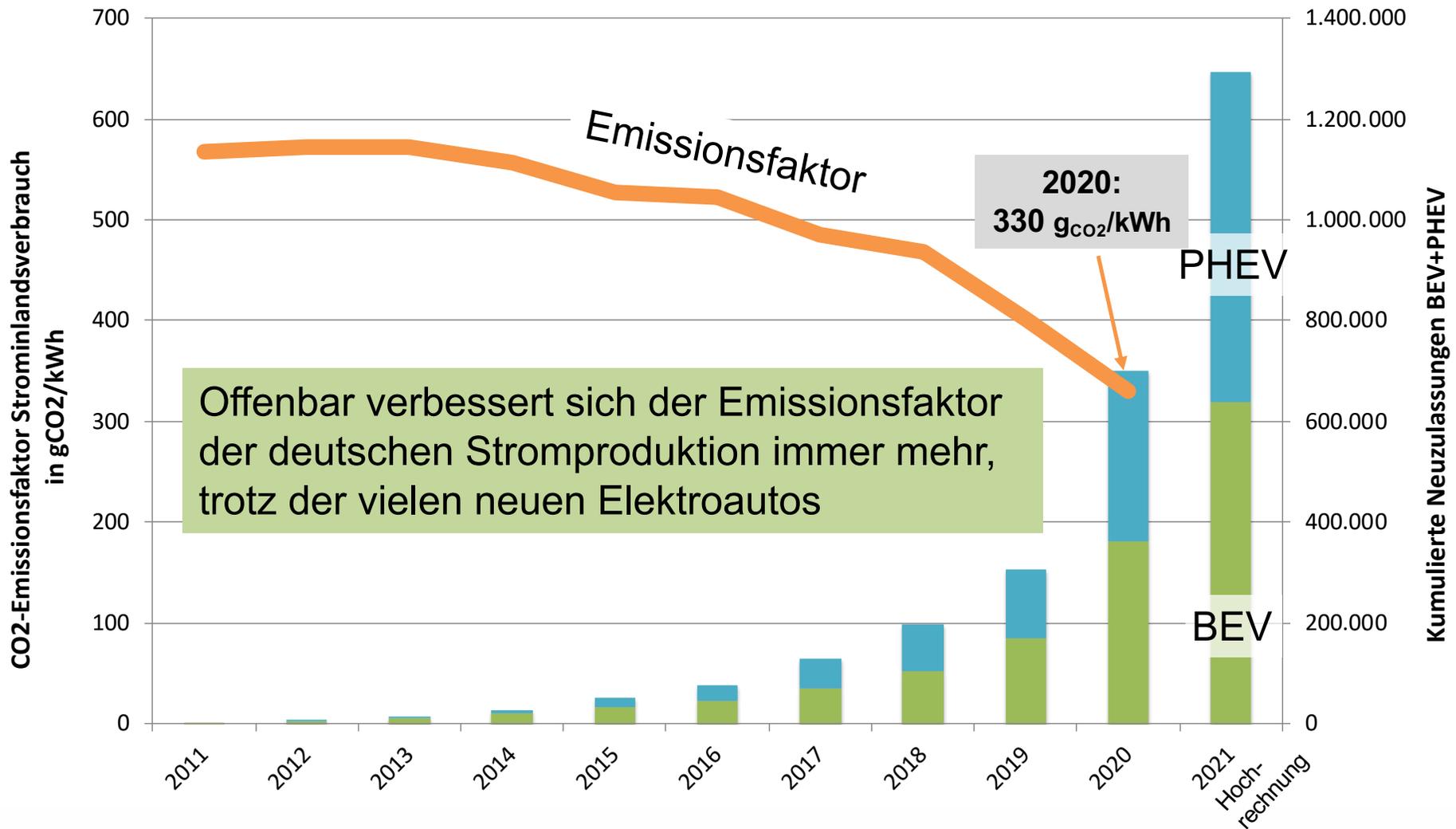
Quelle: ZSW

Quelle: <https://www.zsw-bw.de/>

Elektrofahrzeuge – Wofür eigentlich?

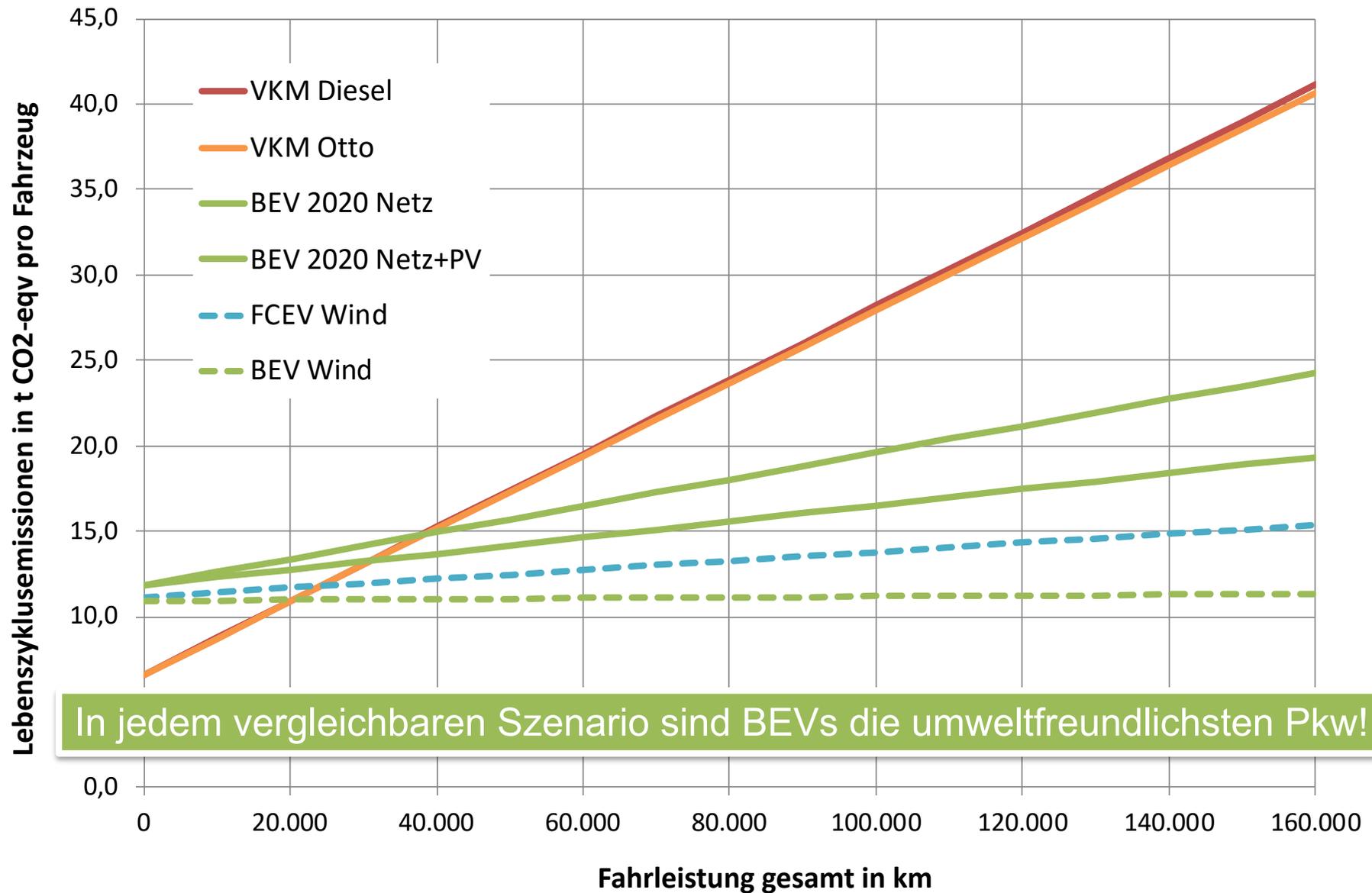
Mit Elektroautos fahren wir am umweltfreundlichsten!

1990:
764 g_{CO2}/kWh



Elektrofahrzeuge – Wofür eigentlich?

Mit Elektroautos fahren wir am umweltfreundlichsten!



In jedem vergleichbaren Szenario sind BEVs die umweltfreundlichsten Pkw!

Sonne im Tank

Das Auto wird neu erfunden

Inhalt

Einleitung – Warum überhaupt Elektromobilität?

Praxis – Was ist der aktuelle Stand (Laden, Reichweite, Fahrzeuge)?

Batterien – Die sind doch so umweltschädlich!

Infrastruktur – Elektromobilität geht doch gar nicht!

Ausblick – Wie geht's weiter?

Moderne Elektrofahrzeuge

Konstruktive Vorteile von BEVs



Wenig Technik unter der „Motorhaube“

- Kürzer Überstand, mehr Platz im Passagierbereich (**Cab-Forward Design**)
- Platz für zusätzlichen, vorderen Kofferraum

Tiefliegende, flache Batterie (**Skateboard-Design**)

- Tiefer Schwerpunkt, gute Straßenlage, Sicherheit gegen Überschlag
- Leicht erhöhte Sitzposition, bessere Übersicht

Kompakte elektrische Antriebe

- Motor direkt an der Achse, kaum Transmissionsverluste
- **Dual-Motor** = Allradantrieb einfach möglich

Bildquelle: CNBC.com, Jaguar

Moderne Elektrofahrzeuge

Aktuelle Entwicklungstrends bei BEV

Höhere Reichweite



150 kWh Akku
1.000 km Reichweite (NEFZ)



120 kWh Akku
770 km Reichweite (WLTP)

Niedrigere Preise



225 km Reichweite (WLTP)
Ca. 15.000 € abzgl. 6.000 € Bonus



400 km Reichweite (WLTP)
35.000 € abzgl. 6.000 € Bonus

Bildquellen: Auto-Motor-Sport.de, elektroauto-news.net, Euronics, Dacia

Moderne Elektrofahrzeuge

Beispiel Shenzhen in China



12 Mio. Einwohner



16.000 elektrische Busse



21.000
elektrische Taxis

Moderne Elektrofahrzeuge

Auch Lkw werden elektrifiziert

MAN und Scania setzen voll auf den Elektro-LKW



Elektro-Lkw

MAN- und Scania- Lastwagen sollen batterieelektrisch fahren

22. März 2021, 21:47 Uhr / Aktualisiert am 22. März 2021, 21:50 Uhr / Quelle: dpa / 

Quelle: InsideEVs.de, Zeit.de

Moderne Elektrofahrzeuge

Auch Lkw werden elektrifiziert

DPD Switzerland

Zero
emissions



18t Futuricum Logistics 18E Truck
(Basis Volvo truck)
made by Designwerk Products AG
Erprobungsbeginn 2020

680 kWh Batterie, 4540 kg (150 Wh/kg)
760 km Reichweite
3h 40min Ladezeit auf 80% (CCS @150 kW)

Quelle: www.futuricum.com

Laden Steckersysteme

← PKW

NFZ →



IEC Typ 2



IEC Combo 2
CCS 1.0 / 2.0 / 3.0 (i.V.)



OppCharge



	AC-Laden		DC-Laden				
Langsam	3 kW	7 h / 100 km			<p style="color: yellow; font-size: 2em; transform: rotate(-15deg);">CCS bis 3 MW ist in Planung</p> <p style="font-size: 0.8em;">* Chinesisch-/Japanischer ChaoJi-Ladestandard</p>		
	7 kW	3 h / 100 km					
Mittel	11 kW	2 h / 100 km					
	22 kW	1 h / 100 km					
Schnell	43 kW	30 min / 100 km				50 kW	30 min / 100 km
	<p style="color: red; font-weight: bold;">Rot = Eingeführt in Europa</p>					100 kW	15 min / 100 km
120 kW			15 min / 125 km				
150 kW			15 min / 150 km				
Tesla SuC V2			250 kW	10 min / 240 km			
Tesla SuC V3			350 kW	10 min / 300 km			
Ultraschnell							
China/Japan					600 kW für Busse, LKW		
					900 kW in Vorbereitung*		

Im Alltag erfolgt das Laden daheim,
beim Arbeitgeber oder während des Einkaufens.
So hat man immer ein geladenes Auto.

→ Mit Elektroautos spart man in Summe Tankzeit,
weil man nicht mehr zur Tankstelle fahren muss!



Bildquelle: Stuttgarter Zeitung, Elektromobilität NRW, Aldi AG

Laden Auf der Langstrecke



Beim Laden steht man nicht neben dem Auto und wartet, sondern hat Zeit für den Gang zur Toilette, einen Cappuccino, Brötchen, Mittagessen, ...

Bildquelle: Electrive.net

Laden

Schnelllader in Europa

Standorte von **CCS-Schnellladesäulen** ab 100 kW, Stand 06/2021
(je Standort typisch 2 bis 8 Ladepunkte)

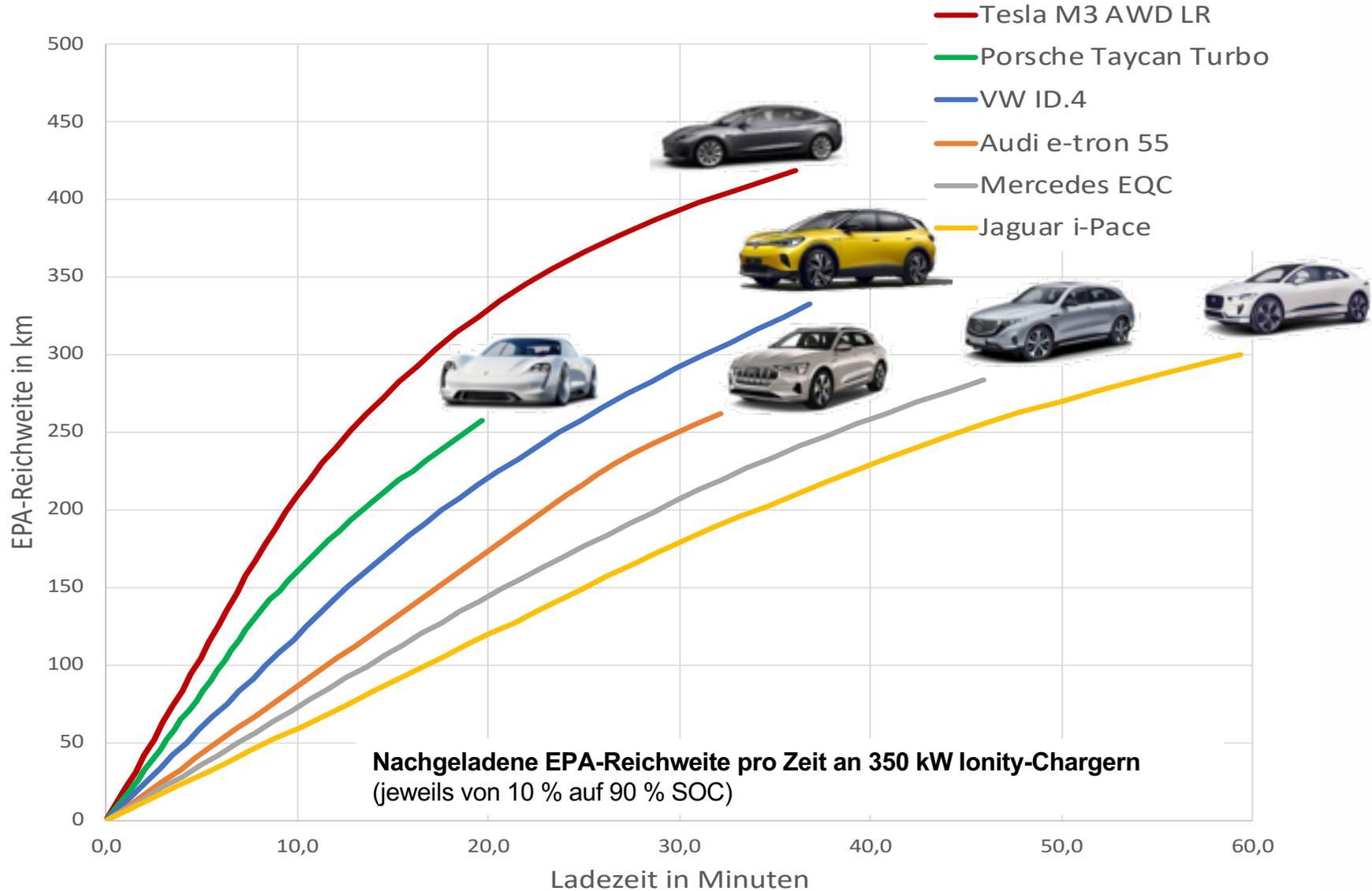


- Deutschland: ca. 1.200 Standorte
- Österreich: ca. 120 Standorte, Schweiz: ca. 110 Standorte
- Frankreich: ca. 120 Standorte
- Italien: ca. 60 Standorte
- **Europaweit: ca. 2.400 Standorte / 6.000 Ladepunkte mit 100 kW und mehr**
plus ca. 600 Standorte / 5.000 Ladepunkte Tesla Supercharger

Quellen: <http://www.goingelectric.de>

Laden

Eignen sich Elektroautos für die Langstrecke?



Bildquellen: Porsche AG, Tesla AG, Audi AG, Volkswagen AG, Daimler AG, Jaguar AG

Sonne im Tank

Das Auto wird neu erfunden

Inhalt

Einleitung – Warum überhaupt Elektromobilität?

Praxis – Was ist der aktuelle Stand (Laden, Reichweite, Fahrzeuge)?

Batterien – Die sind doch so umweltschädlich!

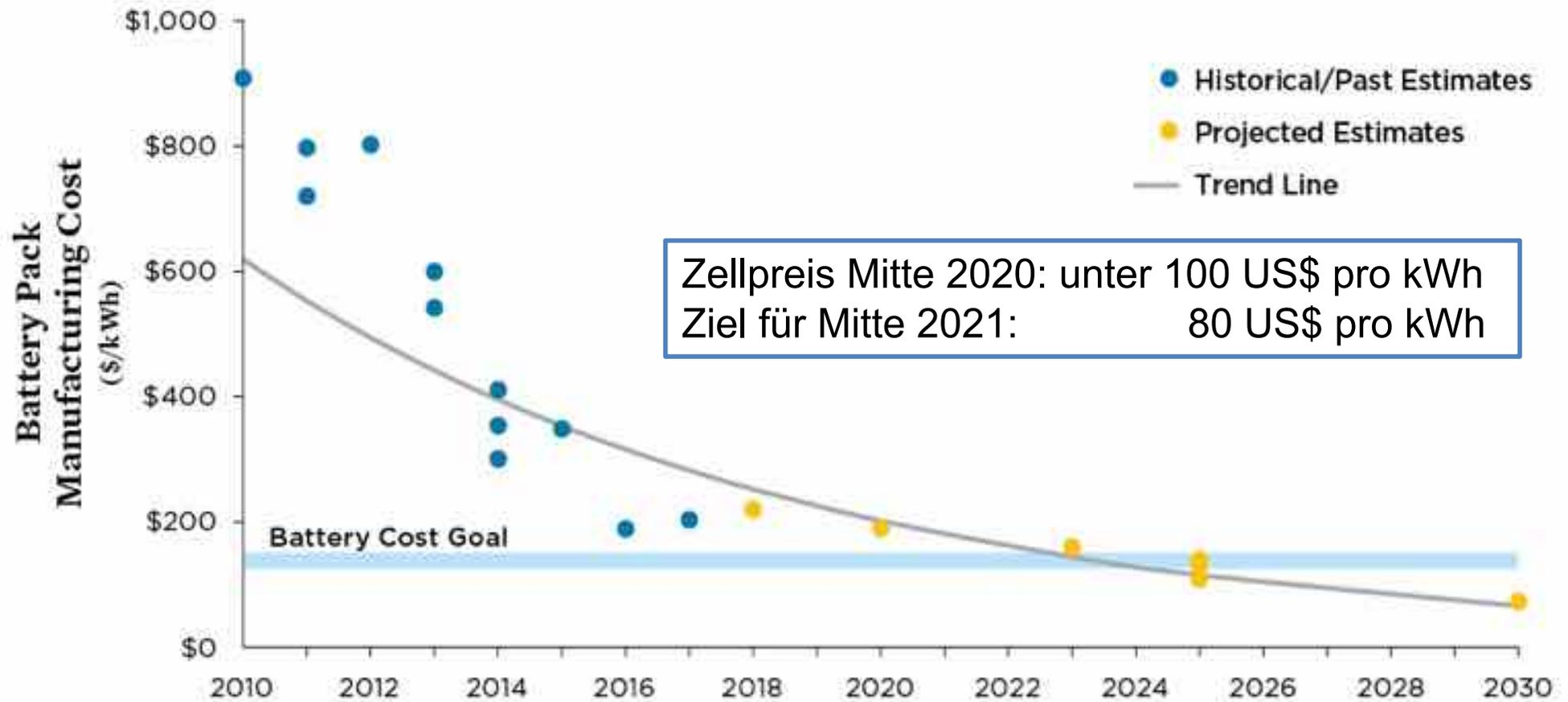
Infrastruktur – Elektromobilität geht doch gar nicht!

Ausblick – Wie geht's weiter?

Moderne Elektrofahrzeuge

Aber das Problem mit den Rohstoffen und dem Gewicht!

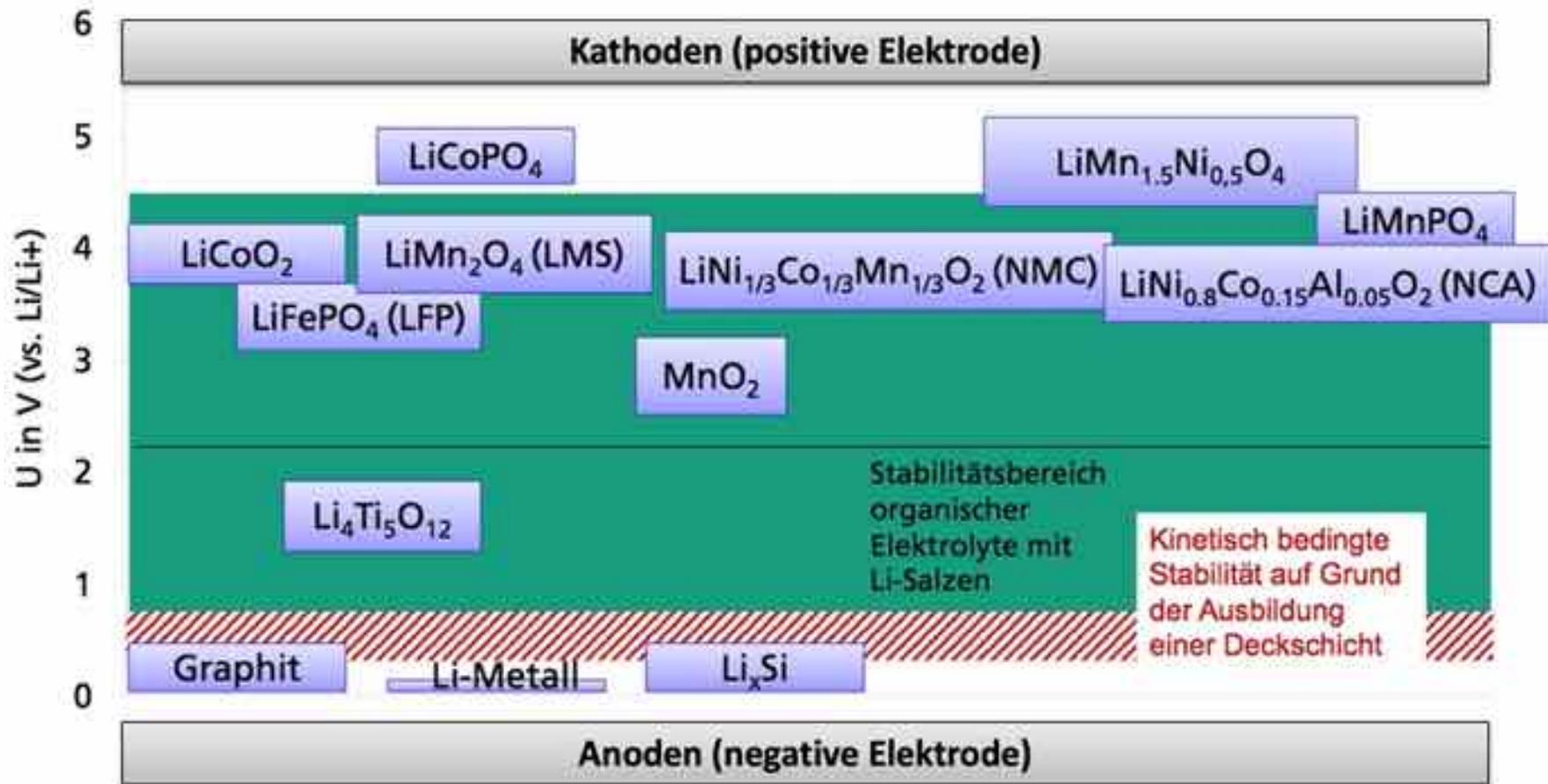
Preise für komplette Batteriemodule



Quelle: <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/electric-cars-battery-life-materials-cost>, März 2018

Moderne Elektrofahrzeuge

Aber das Problem mit den Rohstoffen und dem Gewicht!



$$W = Q \cdot U$$

Höhere Spannung = anderes Kathodenmaterial

Höhere Ladung = Mehr Lithium in der Anode

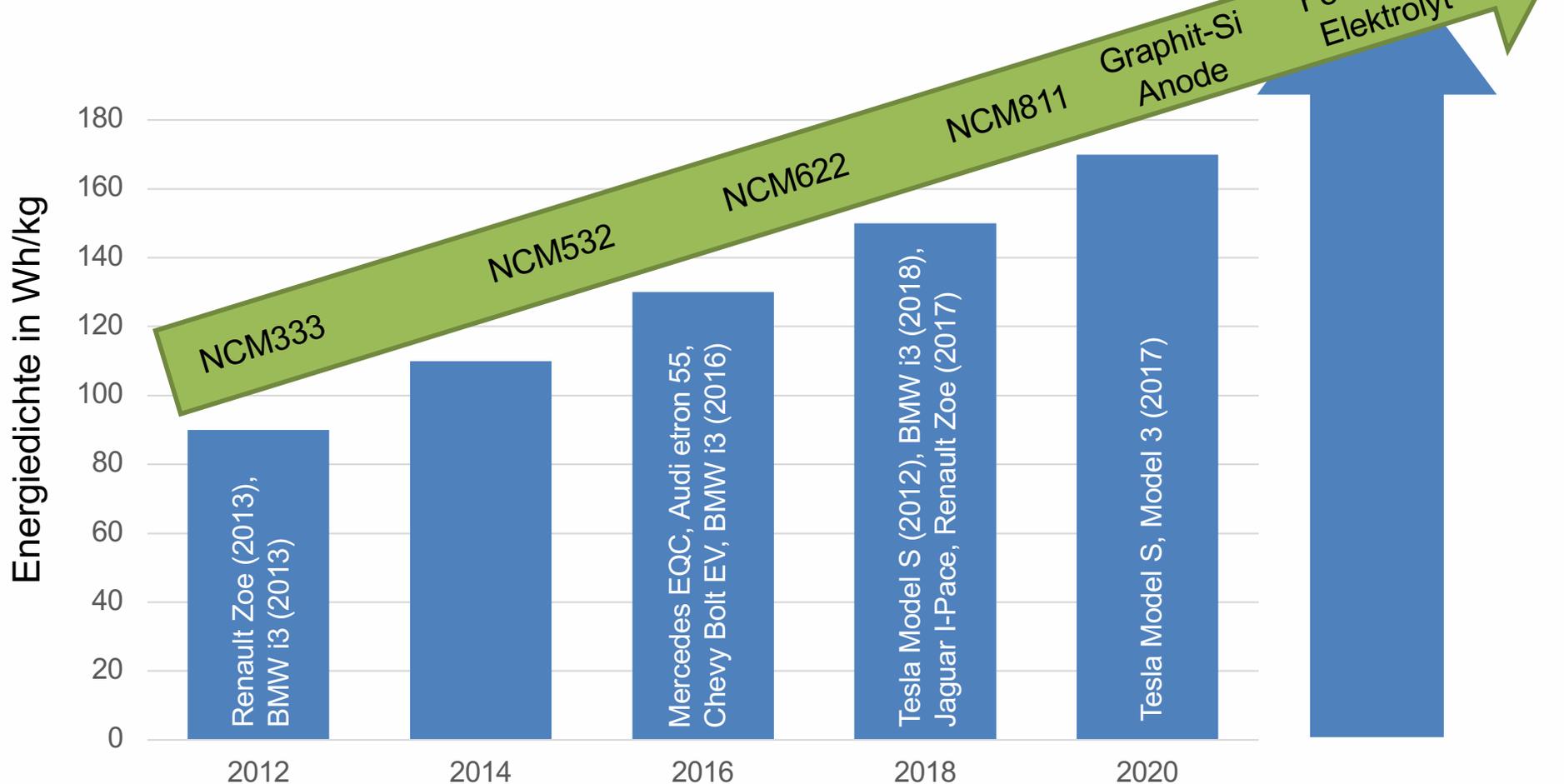
Quelle: M. Holzapfel, „Stand der Batterieentwicklung“, Vortrag REM2030, 24.10.2013

Moderne Elektrofahrzeuge

Aber das Problem mit den Rohstoffen und dem Gewicht!

Energiedichte BEV-Batterien auf Systemebene

ermittelt anhand von verfügbaren PKW in Serienproduktion

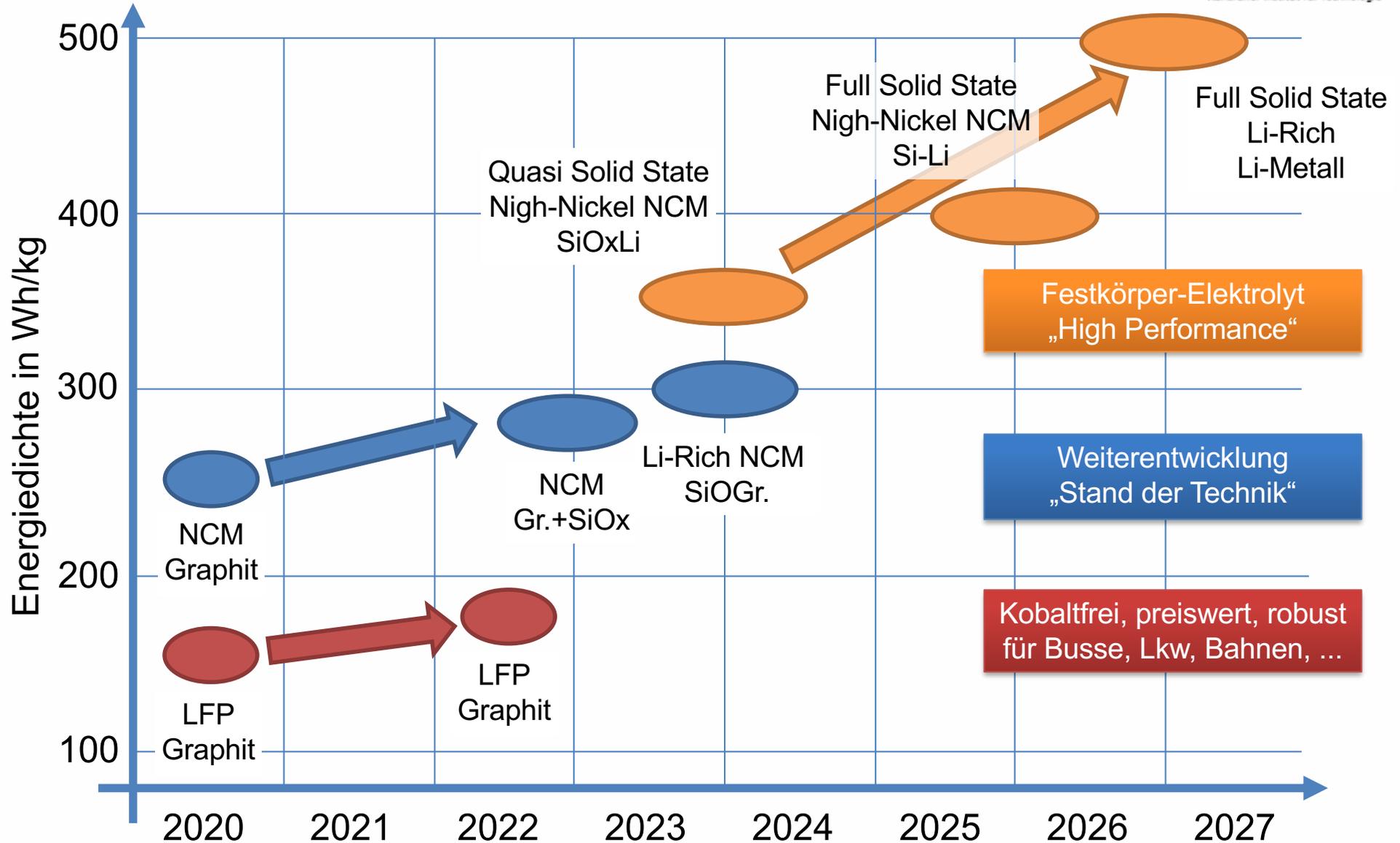


Systemgewicht = Kompletter Batterie-Pack incl. Zellen, Gehäuse, Kühlung, BMS, Sicherheitstechnik, ...

Tesla nutzt NCA-Rundzellen mit NCM811 Material, Systemgewicht 168 Wh/kg

Moderne Elektrofahrzeuge

Aber das Problem mit den Rohstoffen und dem Gewicht!



Quelle: SVOLT, The Automotive Battery 2020, September 2020, München

Moderne Elektrofahrzeuge

Aber das Problem mit den Rohstoffen und dem Gewicht!

TESLA'S BIG BET ON LFP PAYS OFF

Battery capacity deployed (MWh)	Total – Nov, Dec 2020, Jan 2021
Global	48.5K
Global LFP	6.9K
LFP global share (%)	14.3
Tesla	12.5K
Tesla global share (%)	25.8
Model 3	7.9K
Model 3 global share (%)	16.4
LFP Model 3	2.6K
LFP Model 3 global share (%)	5.4
LFP Model 3 global LFP share (%)	37.9
LFP Model 3 Tesla share (%)	21

Weltweite Produktion
von Batterien im Quartal
11/20, 12/20, 01/21
in MWh
Stand 03/2021

Source: Adamas Intelligence Battery Capacity and Battery Metals Tracker
MWh deployed in newly-sold full battery electric vehicles

Source: Adamas Intelligence

- LFP Batterien sind preiswert, sehr sicher und haben eine hohe Lebensdauer
- Einsatz in stationären Speichern, in einfachen Pkw, in Lkw, Bussen, Bahnen
- Tesla setzt seit Oktober 2020 LFP-Batterien (Hersteller CATL) im Model 3 ein

Moderne Elektrofahrzeuge

Aber das Problem mit den Rohstoffen und dem Gewicht!

Lithium	Fördermenge 2019 in tsd. Tonnen	Reserven in tsd. Tonnen	Ressourcen in tsd. Tonnen
Weltweit	77	17.000	80.000
Argentinien	6,4	1.700	17.000
Australien	42	2.800	6.300
Bolivien	-		21.000
Brasilien	0,3	95	400
Chile	18	8.600	9.000
China	7,5	1.000	4.500
Deutschland	-		2.500
Finnland	-		50
Kanada	0,2	370	1.700
Kazakhstan	-		50
Kongo	-		3.000
Mali	-		1.000
Mexiko	-		1.700
Namibia	-		9
Österreich	-		50
Peru	-	-	130
Portugal	1,2	60	250
Russland	-		1.000
Serbien	-		1.000
Simbabwe	1,6	230	540
Spanien	-		300
Tschechien	-		1.300
USA	-	630	6.800
Sonstige	-	1.100	

PKW-Bestand in der gesamten Welt:
Ca. 1,2 Mrd. Fahrzeuge



Pro 10 kWh Batterie
ca. 1,7 kg Lithium*
= 13 kg Li für **75 kWh Batterie**

17 Mio. t **Reserven**
= **1,3 Mrd. Pkw Batterien**

80 Mio. t **Ressourcen**
= **6,2 Mrd. Pkw Batterien**



zuzüglich Recycling!

→ **Das Lithium für Batterien wird uns nie ausgehen!**

* Tesla/Panasonic ca. 63 kg Li₂Co₃ für 70 kWh Battery Pack Model S, davon sind 12 kg oder 0,17 kg/kWh reines Lithium

Quelle: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 2020

Moderne Elektrofahrzeuge

Aber das Problem mit den Rohstoffen und dem Gewicht!

~~Seltene Erden~~

- Nutzung in manchen Varianten von **Elektromotoren** (PMSM)
→ Kann leicht ersetzt werden (ASM, FESM)
- Nutzung in manchen Varianten von **Windturbinen** (PMSM)
→ Kann leicht ersetzt werden (DGASM)
- Nutzung in manchen Varianten von **Photozellen** (CdTe, Cu(In,Ga)Se₂)
→ Kann leicht ersetzt werden (Mono- und polykristallines Silizium cSi)
- Keine Nutzung in **Lithium-Ionen Akkus**

~~Kobalt~~

- Stark rückläufige Nutzung in **Lithium-Ionen Akkus**.
Bei aktuellen Batterien (NCA-Panasonic/Tesla) nur noch 0,6 kg pro 10 kWh.
- Keine Nutzung in **Windturbinen, Photovoltaik, Elektromotoren**
- Komponente in Schnellarbeitsstählen HSSE (5 bis 8% Legierungsanteil)
→ Unverzichtbar für die Herstellung von Verbrennungsmotoren und komplexen Automatikgetrieben

Lithium

- Unverzichtbar für **Lithium-Ionen Akkus**, derzeit rund 0,6 kg pro 10 kWh
- Keine Nutzung in **Windturbinen, Photovoltaik, Elektromotoren**

~~Platin~~

- Nutzung in **Brennstoffzellen**, soll durch Kobalt (!) ersetzt werden
- Keine Nutzung in **Windturbinen, Photovoltaik, Elektromotoren, Li-Ion Akkus**

Aluminium, Eisen, Kupfer, Silizium, Lithium und Kohlenstoff/Graphit
sind die wirklichen Rohstoffe der Energiewende!

Moderne Elektrofahrzeuge

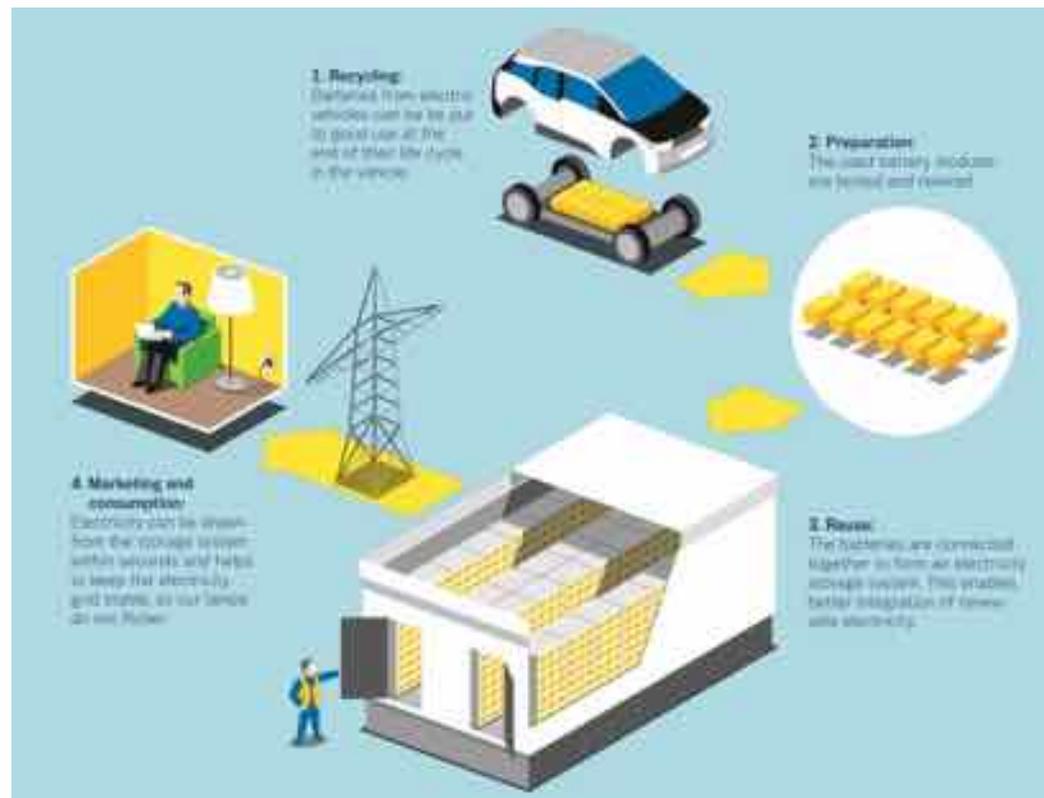
Aber das Problem mit den Rohstoffen und dem Gewicht!

2nd Life

Second-life EV battery market to grow to \$4.2 billion by 2025

Circular Energy Storage, a London-based research and consulting group, reports a strong business case for reconstituted electric vehicle batteries for energy storage applications. As the EV and static storage system markets grow rapidly, synergies could be a useful tool for continued cost optimization.

Quelle: <https://www.pv-magazine.com/2018/08/03/second-life-ev-battery-market-to-grow-to-4-2-billion-by-2025/>

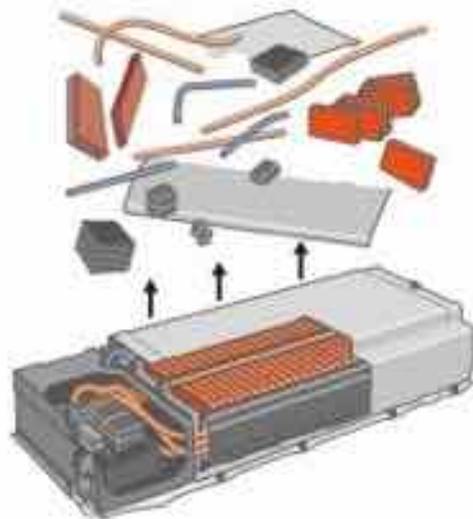


Bildquelle: Bosch

Recycling

Recyclingprozess für Lithium-Ionen-Batterien

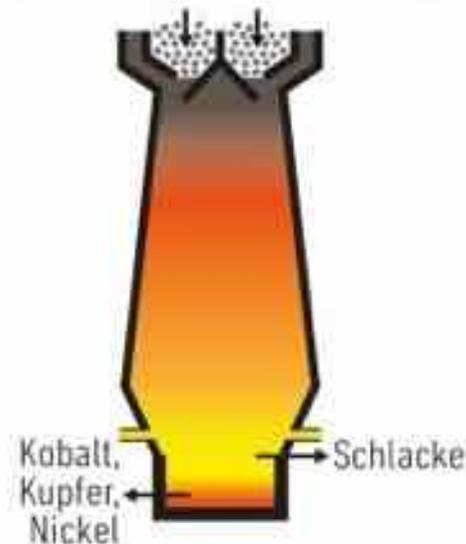
Demontage



Großflächige Bauteile (Stahl, Alu, Kupferleitungen) werden direkt ins Materialrecycling gegeben.

Quelle: FAZ-Recherche/FAZ.-Grafik Kaiser

Hochofen



Zellen werden komplett eingeschmolzen und dabei Kobalt, Kupfer und Nickel abgetrennt.

Lithium-Gewinnung



Aus der verbleibenden Schlacke wird Lithiumcarbonat mit Hilfe eines hydrometallurgischen Verfahrens gewonnen.

Quelle: FAZ, Johannes Winterhagen, *Wohin mit den alten Akkus der E-Autos?*, 10.01.2018

Moderne Elektrofahrzeuge

Aber das Problem mit den Rohstoffen und dem Gewicht!

Recycling



Bild: Lithium-Ionen-Recyclinganlage Bremerhaven

Redux Recycling GmbH: Zwei Standorte (Offenbach am Main, Bremerhaven),
Kapazität für 46 Mio. t Batterien pro Jahr, Gründung 1997, 80 Mitarbeiter.

Quelle: Saubermacher AG

Problemfall Lithium-Ionen Akku? Einige Fakten:

- Li-Ion Akkus enthalten **keine Seltenerdmaterialien**.
- Der Kobaltanteil wurde in aktuellen Zellen bereits erheblich reduziert⁽¹⁾. **Mittelfristig** werden Autobatterien **gar kein Kobalt mehr** enthalten⁽²⁾. Viele Heimspeicher-Batterien (LiFePO) und manche Elektroautos (Tesla M3 SR) enthalten heute schon kein Kobalt mehr.
- Lithium ist **in sehr großen Mengen** in der Erdkruste in vielen verschiedenen Ländern und noch mehr im Salzwasser der Meere vorhanden - hier gibt es überhaupt keine Knappheit und auch keine grundsätzlichen ethischen/ökologischen Probleme bei der Förderung. Die Förderung und Aufbereitung von Lithium ist nicht grundsätzlich umweltschädlicher als die von Kupfer oder Bauxit/Aluminium, der Wasserverbrauch ist vergleichsweise gering!
- Elektroautos mit Lithium-Ionen Akkus sind **sicherer** als PKWs mit Benzin oder Diesel. Brände durch Gewalteinwirkung entstehen erst nach minutenlanger Verzögerung und können mit Wasser gelöscht werden. Explosionen nach Unfällen, wie sie bei Benzin- und Diesel-PKW häufig vorkommen, sind bisher nicht bekannt geworden.
- Die Lebensdauer von modernen Batterien in BEVs liegt über **200 Tsd. km**⁽³⁾.
- Autobatterien können später als Heimspeicher oder in Großanlagen zur Netzstützung weiterverwendet werden (**Second Life**), außerdem ist nahezu vollständiges **Recycling** möglich. Dadurch sinken die anteiligen CO₂-Emissionen bei der Produktion erheblich.

(1) Tesla/Panasonic nutzt im Model 3 rund 4,5 kg Kobalt pro Auto gegenüber 11 kg früher (NCM811-Zellen), das sind 0,6 kg pro 10 kWh.

(2) Tesla liefert bereits vollständig Kobalt-freie Autos aus.

(3) Tesla gewährt eine Garantie von 8 Jahren auf den Antriebsstrang einschließlich der Batterie – bei Batterien ab 85 kWh ohne km-Beschränkung, bei kleineren Batterien bis 200.000 km. Es fahren Tesla Model S mit 200.000 Meilen (320.000 km) und der ersten Batterie.

Sonne im Tank

Das Auto wird neu erfunden

Inhalt

Einleitung – Warum überhaupt Elektromobilität?

Praxis – Was ist der aktuelle Stand (Laden, Reichweite, Fahrzeuge)?

Batterien – Die sind doch so umweltschädlich!

Infrastruktur – Elektromobilität geht doch gar nicht!

Ausblick – Wie geht's weiter?

Energieversorgung

Woher kommt der ganze Strom?



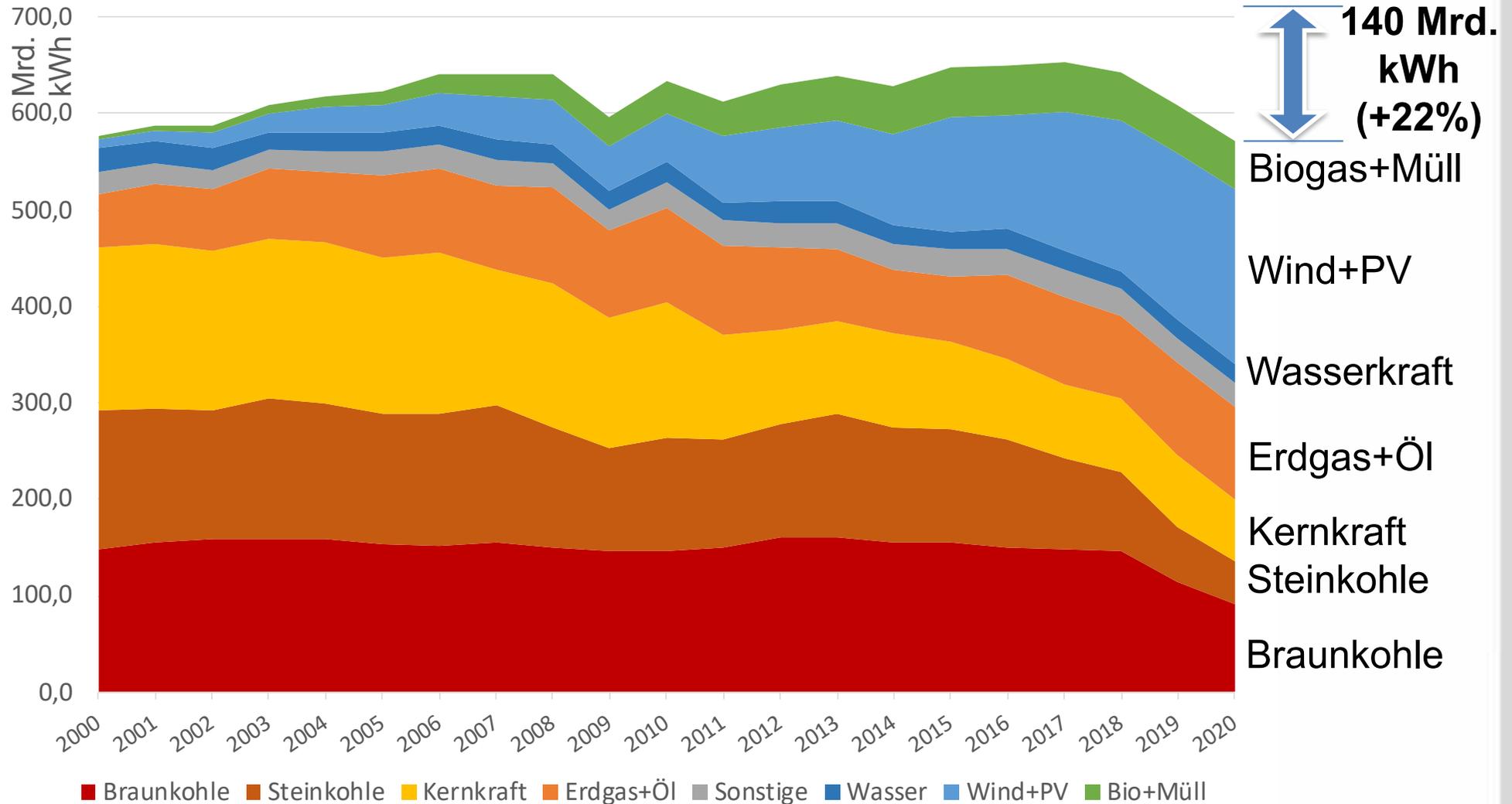
- **626 Mrd. PKW-km** wurden 2020 in Deutschland gefahren (Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt)
- Der mittlere Energieverbrauch eines BEV wird mit **20 kWh/100 km** abgeschätzt und der Ladewirkungsgrad (Elektronik, Batterie) mit **90%**
- Daraus ergibt sich ein **Strombedarf von 140 Mrd. kWh** pro Jahr, um alle in Deutschland angemeldeten PKW elektrisch zu betreiben

Bildquelle: Umweltbundesamt

Energieversorgung

Woher kommt der ganze Strom?

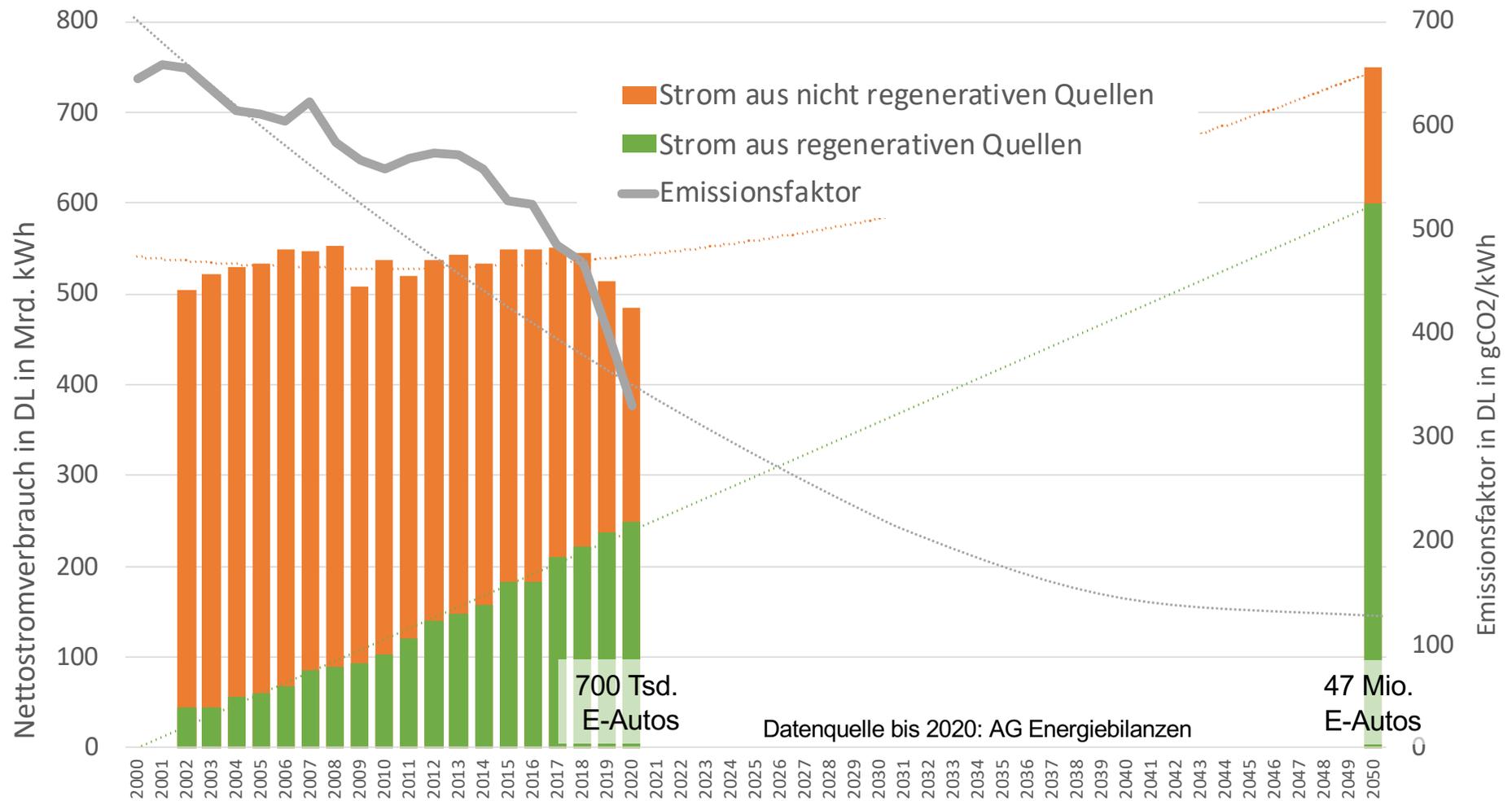
Bruttostromerzeugung in Deutschland



Datenquelle: AG Energiebilanzen

Energieversorgung

Sollten wir nicht zuerst die Kohlekraftwerke ersetzen?!



Wir sind auf einem guten und realistischen Weg, bis 2050 alle Pkw elektrisch zu fahren und die Stromproduktion regenerativ umzustellen und den Emissionsfaktor zu verbessern.

Beispielrechnung PV-Anlagen anstatt Braunkohletagebau



Fläche Braunkohletagebau in DL ca. 2.300 km²

Ertrag Photovoltaik ca. 1.000 kWh/a pro kWp

Modulleistung ca. 400 Wp bei 1,6 m² Flächenbedarf

→ **Gesamtproduktion rund 580 Mrd. kWh/a**

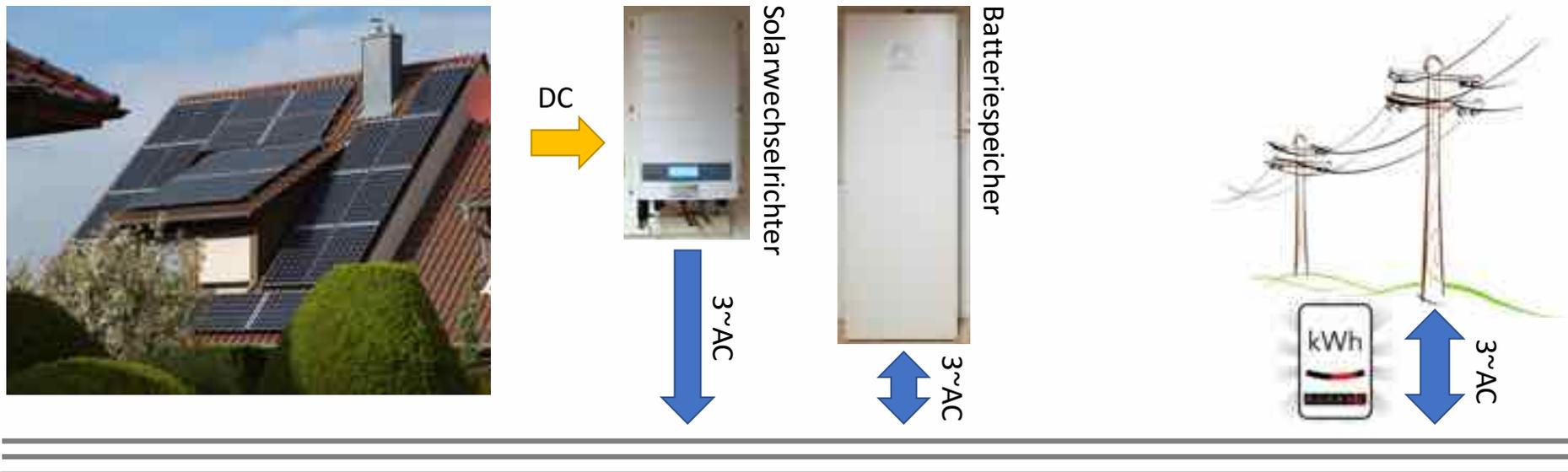
Der gesamte deutsche Strombedarf (512 Mrd. kWh in 2019) incl. des zusätzlichen Strombedarfs für alle Pkw (140 Mrd. kWh) lässt sich kostengünstig über regenerativ erzeugten Strom direkt aus DL decken.

Bildquellen: Wikipedia, EnBW

Energieversorgung

Dezentrale Energieerzeugung

Netzstabilisierung durch lokale Erzeugung und lokalen Verbrauch



Ladestation Elektroauto

3~AC



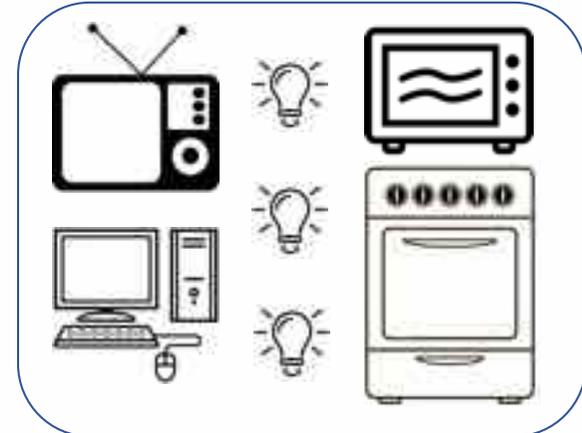
PV-gesteuerte Funksteckdose

1~AC



1~AC

Haushaltsverbraucher



Energieversorgung

Was sagen die Stromerzeuger?



Deutschlands größter Netzbetreiber Eon gibt Entwarnung:

Der Ausbau der Netze selbst für einen E-Auto-Anteil von 100 Prozent ist technisch kein Problem. Und die Kosten für die Infrastruktur sind viel niedriger als erwartet.

Tagesspiegel Background, 22.05.2019



Ein FDP-Fraktionschef sieht Probleme für das Stromnetz und bei der Stromproduktion. Der **zusätzliche Strombedarf** für eine große Zahl Elektroautos ist **aus Sicht des Energiekonzerns EnBW kein Problem**. Das Unternehmen widersprach damit am Montag auf Anfrage Aussagen des FDP-Politikers Hans-Ulrich Rülke. Für eine Million E-Autos in Deutschland werden nach EnBW-Angeboten rund 0,4 Prozent Strom zusätzlich benötigt. **"Der Strombedarf ist aus heutiger Sicht keine Herausforderung für die Elektromobilität"**, sagte EnBW-Sprecher Heiko Willrett. Heise online, 9.08.2019

Energieversorgung

Wie bekommen wir die CO₂-Emissionen auf null?

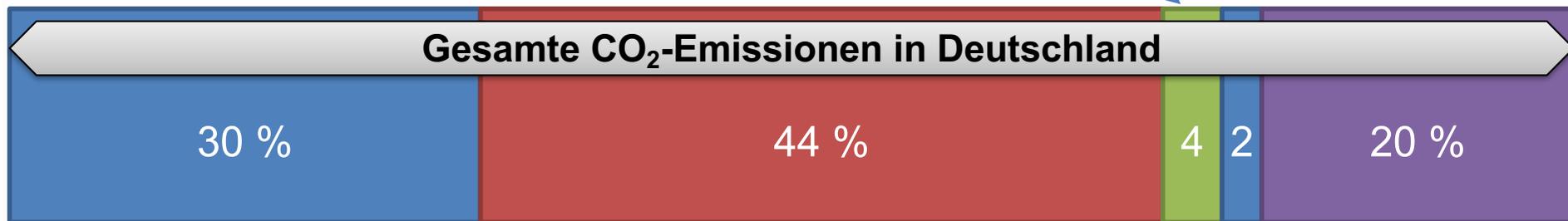
Wichtig: Wir müssen nur die genutzte Energie durch Strom ersetzen, nicht die gesamte importierte Energie (Öl, Gas). Strom ist in vielen Anwendungen effizienter als Verbrennung (u.a. Wärmepumpe).

Effizienzmaßnahmen

Höhere Wirkungsgrade technischer Geräte, Dämmung und Isolierung von Gebäuden, ...

Carbon Capture
z.B. Zementindustrie

Strombasierte Kraftstoffe (Wasserstoff oder synthetische Brennstoffe)
Energiequelle und Rohstoff für Frachttransport, Stahlproduktion, Ersatz von grauem Wasserstoff, ...



Elektrifizierung & Stromsektor
Umstellung auf regenerativ erzeugten Strom als Energiequelle, z.B. Elektroautos, Wärmepumpen, ...

Biomasse
Begrenzte Menge

Quelle: In Anlehnung an Informationen der RWE AG, November 2020

Sonne im Tank

Das Auto wird neu erfunden

Inhalt

Einleitung – Warum überhaupt Elektromobilität?

Praxis – Was ist der aktuelle Stand (Laden, Reichweite, Fahrzeuge)?

Batterien – Die sind doch so umweltschädlich!

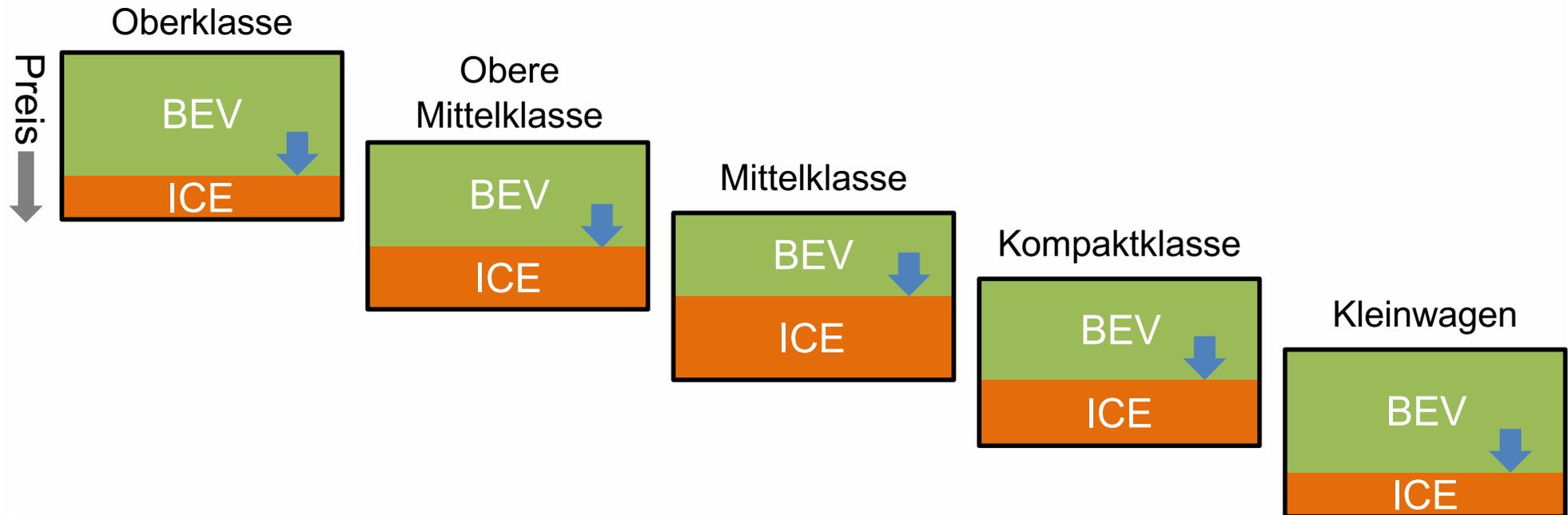
Infrastruktur – Elektromobilität geht doch gar nicht!

Ausblick – Wie geht's weiter?

PKW 2.0

Disruptive Innovation

Durchschnittspreis Neuwagen in DL 2018: > 30.000 €

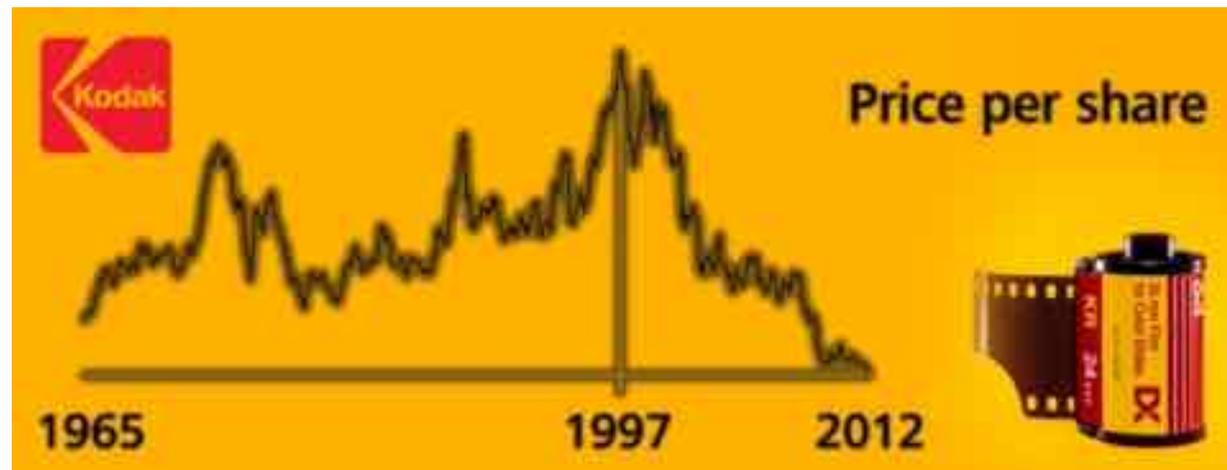


- BEVs werden mittelfristig jedes Marktsegment von oben (höchste Preise) aufrollen.
- Große Anteile BEV zuerst im Bereich Oberklasse und obere Mittelklasse (höhere Preise, große Reichweite) sowie bei Stadtautos (geringe Reichweite)
- Geringere Anteile BEV in der Mittelklasse (große Reichweite und preissensitiv)
- Für ICEs bleiben jeweils nur die Low-End Märkte
- Aufwändige Hybridfahrzeuge (PHEV, FHEV) verschwinden vom Markt, da zu teuer und zu wenige Vorteile gegenüber BEV

PKW 2.0

Disruptive Innovation

Kennen Sie die noch?

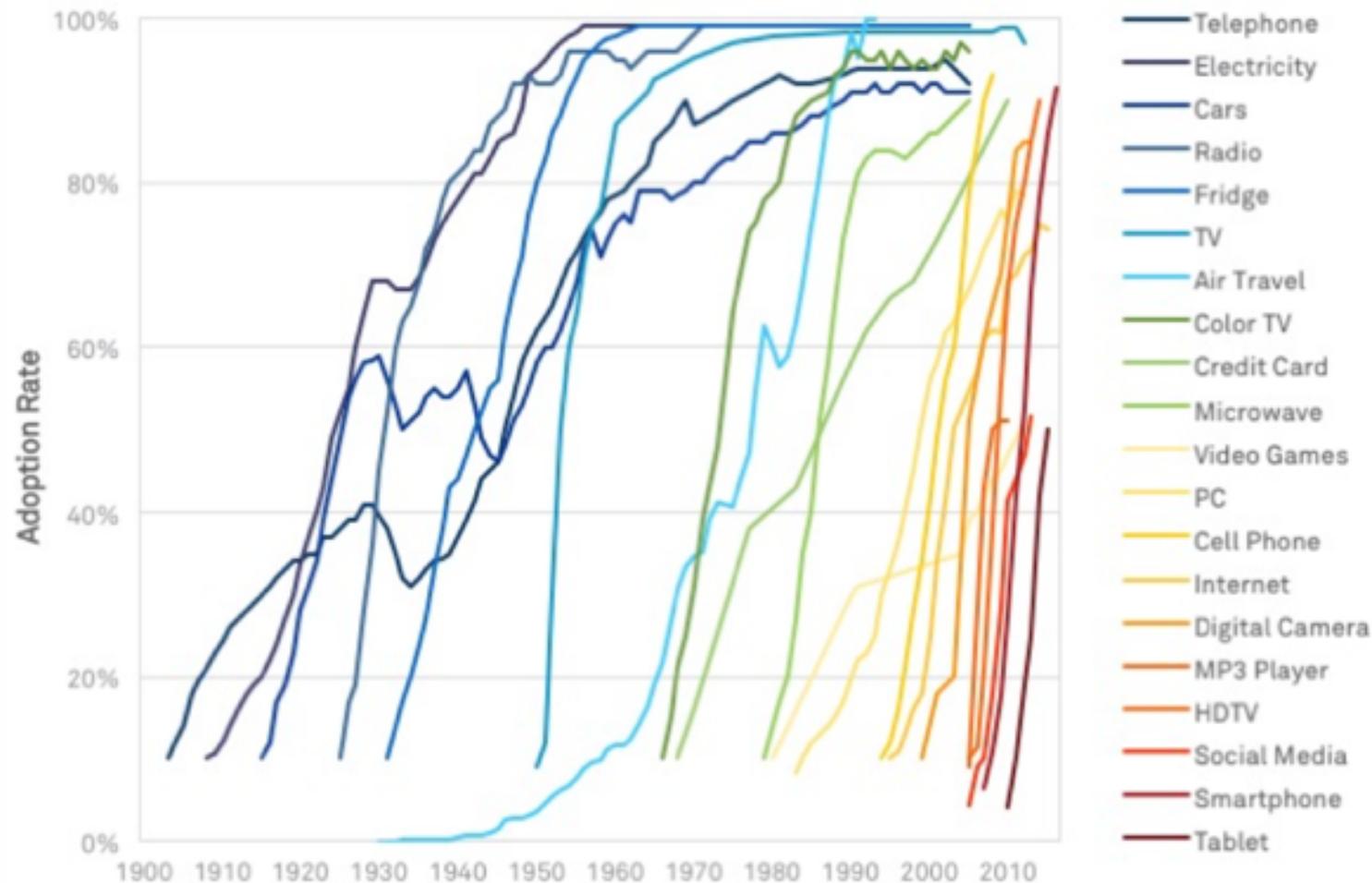


Der Niedergang setzte bei beiden ein,
als die Umsätze am höchsten waren
und sich beide unangreifbar wähnten...

Bildquellen: Nokia, M.Zellerhoff/wikimedia.org

PKW 2.0

Disruptive Innovation



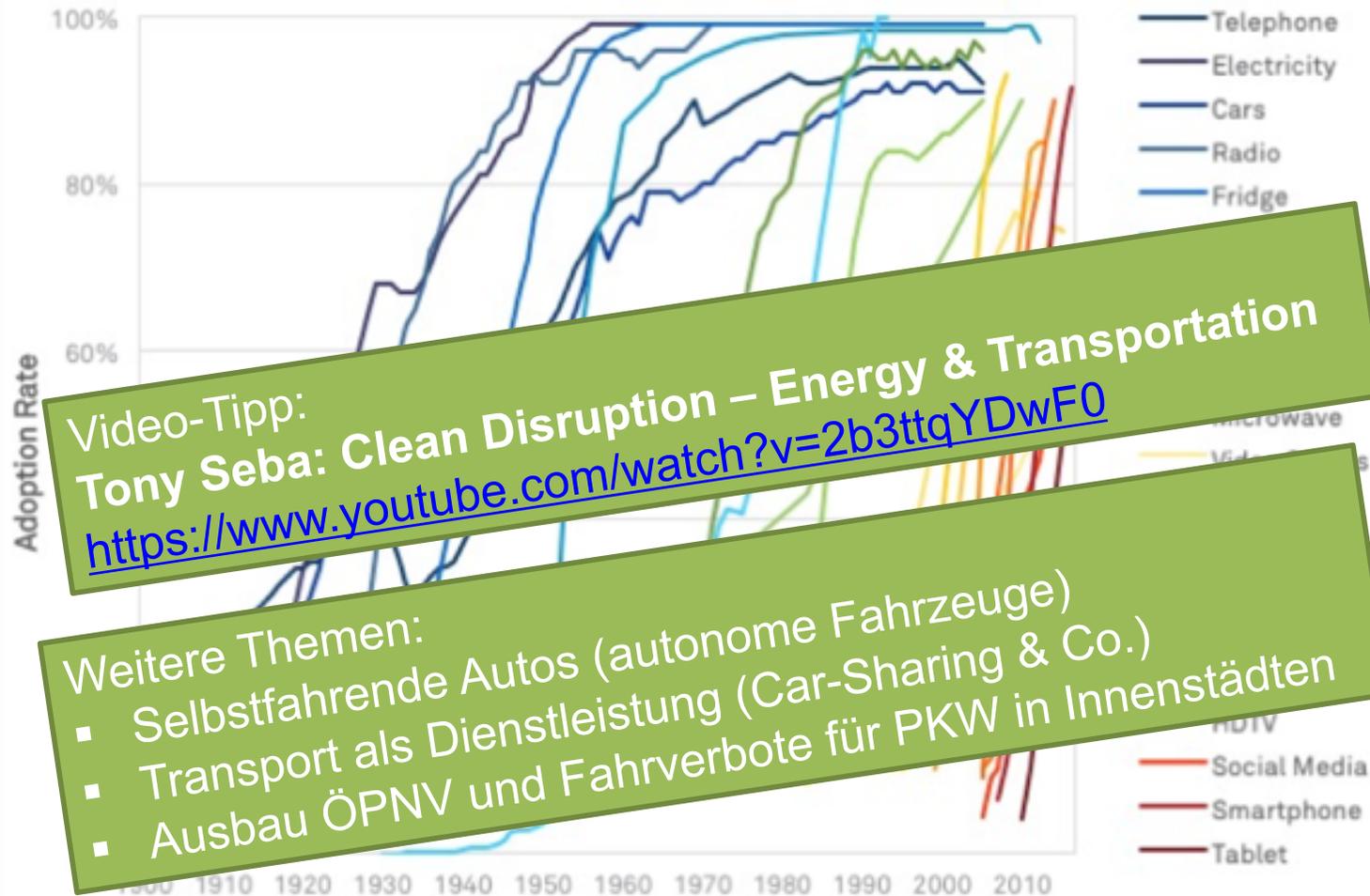
Innovation verläuft immer S-förmig, nie linear!

Wenn der Tipping-Point erst überschritten ist, geht es ganz schnell...

Quelle: Asymco, BlackRock

PKW 2.0

Disruptive Innovation



Innovation verläuft immer S-förmig, nie linear!

Wenn der Tipping-Point erst überschritten ist, geht es ganz schnell...

Quelle: Asymco, BlackRock

Meine alte Prognosen aus 2017:

2017 Elektroautos (BEV) haben einen verschwindend geringen Marktanteil

2020 BEV mit **500 km Reichweite** werden von ersten Herstellern **preisgleich** zu konventionellen PKW angeboten

2023 BEV mit **500 km Reichweite** werden von vielen Herstellern **preisgleich oder billiger** als konventionelle PKW angeboten

2027 Alle großen Automobilhersteller fahren die Produktion von Otto- und Dieselmotoren massiv herunter, weil sich die Autos nicht mehr verkaufen

Schaun' mer' mal, wie der Kaiser immer sagte 😊

Werbeblock

Grundlagenbuch Elektromobilität

Grundlagen der Elektromobilität

Um dem steigenden CO₂-Gehalt der Atmosphäre, der primär durch anthropogene Emissionen verursacht ist, zu begegnen, sind zahlreiche Neuausrichtungen unserer Gesellschaft notwendig. Davon ist in besonderem Maße der Bereich Mobilität betroffen. Neben politischen Weichenstellungen geht es auch um die technischen Umsetzungen, die in diesem Buch erläutert werden. Es ist als Lehrbuch konzipiert, das einen Bogen über die Elektromobilität von den Anfängen und Grundlagen der Elektrotechnik, über hybride und elektrische Antriebsstränge bis hin zu Batteriespeichern, Elektromotoren, Leistungselektronik sowie Energie-, Umwelt- und Infrastrukturaspekten spannt.

Zahlreiche Grafiken und Beispiele verdeutlichen den Inhalt und veranschaulichen die Praxis der technischen Umsetzung. Das Buch eignet sich gleichermaßen für Studierende ingenieurwissenschaftlicher Fächer und interessierte Leser mit technischem Vorwissen.

Aus dem Inhalt

- Elektrische und hybride Fahrzeugantriebe
- Fahrwiderstände und Energieverbrauch
- Energiespeicher
- Elektrische Maschinen – Synchron- und Asynchronmotoren
- Leistungselektronik
- Ladesysteme
- Energieversorgung
- Umwelteinflüsse
- Kostenbetrachtungen

Die Zielgruppe

- Studierende der Fächer Energietechnik, Energiewirtschaft, Energieversorgung, Fahrzeugtechnik, Elektrotechnik, Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen
- Dozenten mit Lehrveranstaltungen zum Thema in oben genannten Fächern
- Leser mit Allgemeinwissen in Technik und Mathematik

Über den Autor

Prof. Dr.-Ing. Martin Doppelbauer war in leitender Funktion in der elektrotechnischen Industrie tätig, bevor er 2011 dem Ruf an das Elektrotechnische Institut am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) folgte.

ISBN 978-3-658-29729-9



► springer-vieweg.de



Grundlagen der Elektromobilität

Doppelbauer

Martin Doppelbauer

Grundlagen der Elektromobilität

Technik, Praxis, Energie und Umwelt

LEHRBUCH

 Springer Vieweg

Vielen Dank für Ihr Interesse – Fragen?

