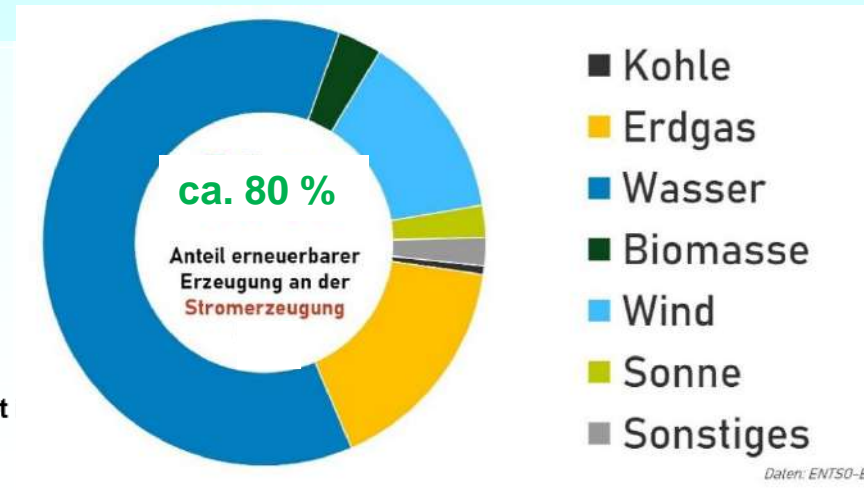
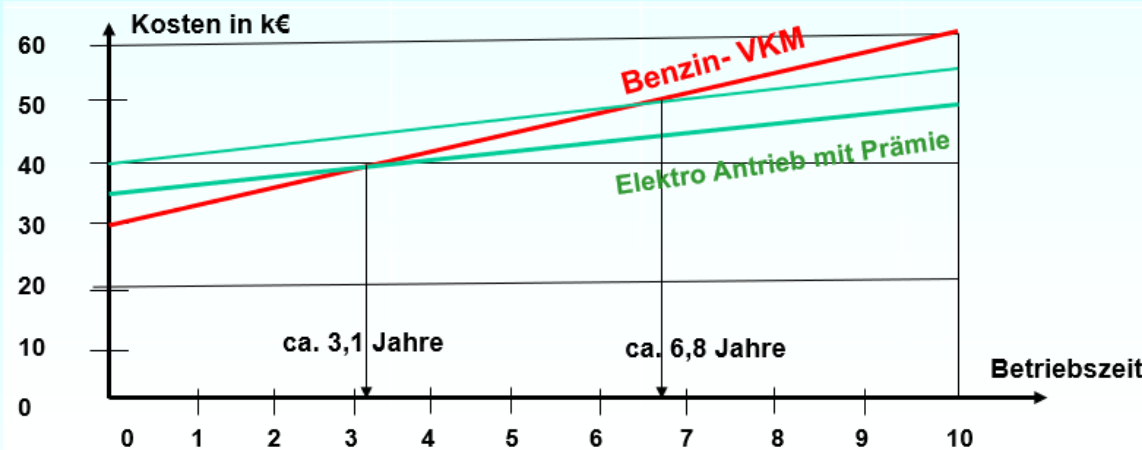


## Die Zukunft der Elektromobilität in Deutschland und Europa



**Univ.- Prof. Dr. phil. Dr.-Ing. habil. Harald Neudorfer**

Institut für elektrische Energiewandlung / TU – Darmstadt

Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe / TU – Wien

Allgemein beedeter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger

Staatlich befugter und beedeter Ziviltechniker für Elektrotechnik



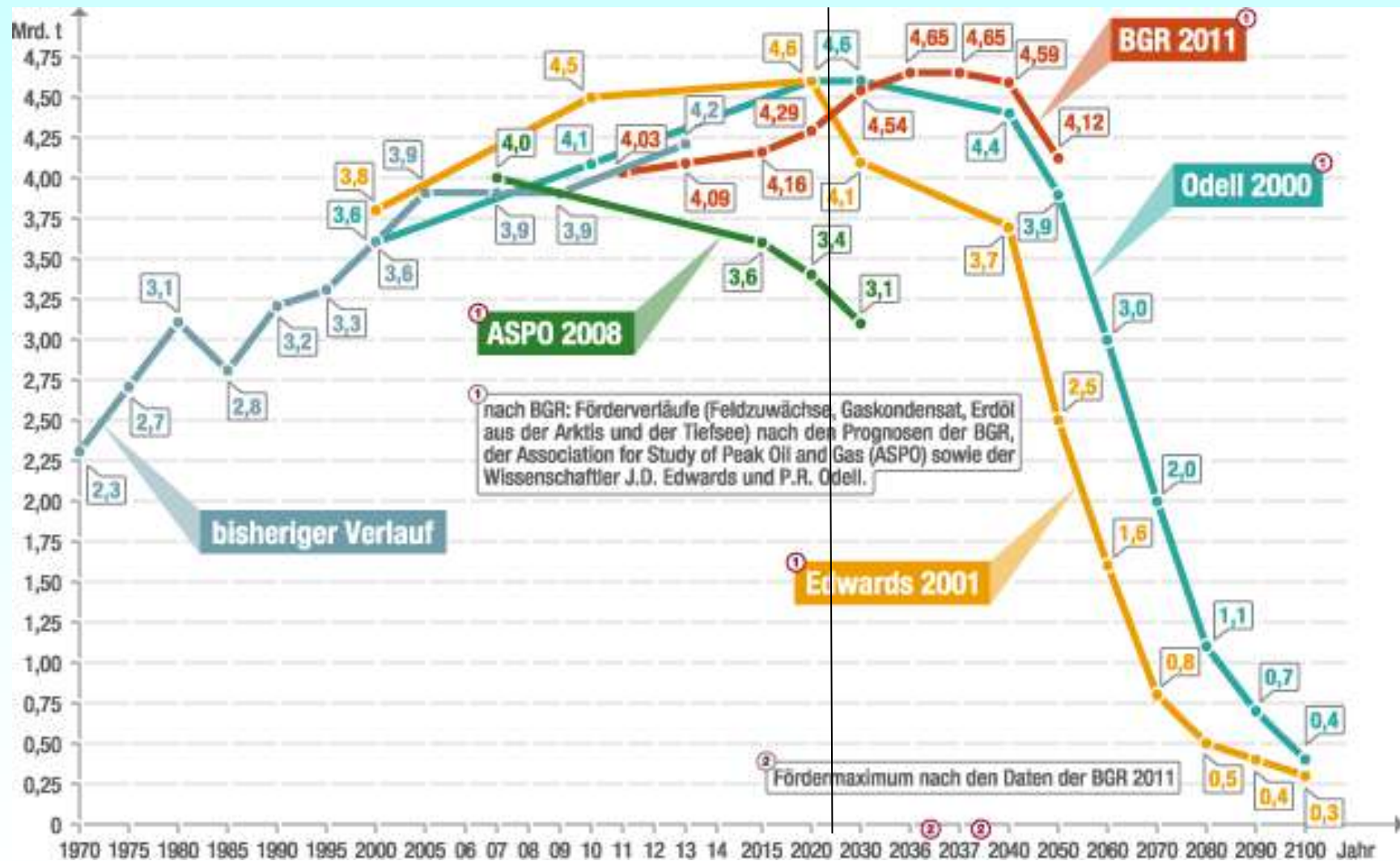
# Vortragsübersicht

---

- 1 Motivation zur Elektromobilität
- 2 Vergleich von alternativen Antriebstechnologien für PKW's
- 3 Stand E- Fahrzeuge in Deutschland und EU, Nutzungsdauer
- 4 Energiebilanz – CO<sub>2</sub> Bilanz Vergleich VKM – E- PKW
- 5 Stromerzeugung in Deutschland und EU
- 6 Ladetechnologie und deren Infrastruktur
- 7 Wasserstofftechnologie
- 8 Energiespeicher Rohstoffe
- 9 Elektrische Maschinen Rohstoffe
- 10 Amortisationsberechnung PKW
- 11 Zusammenfassung



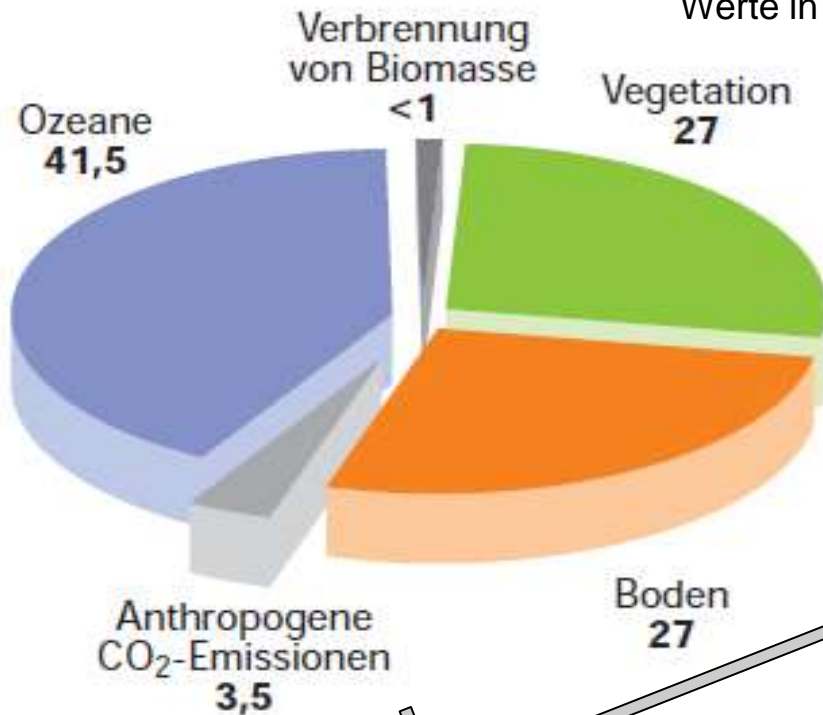
# 1 Prognosen der weltweiten Erdölförderung



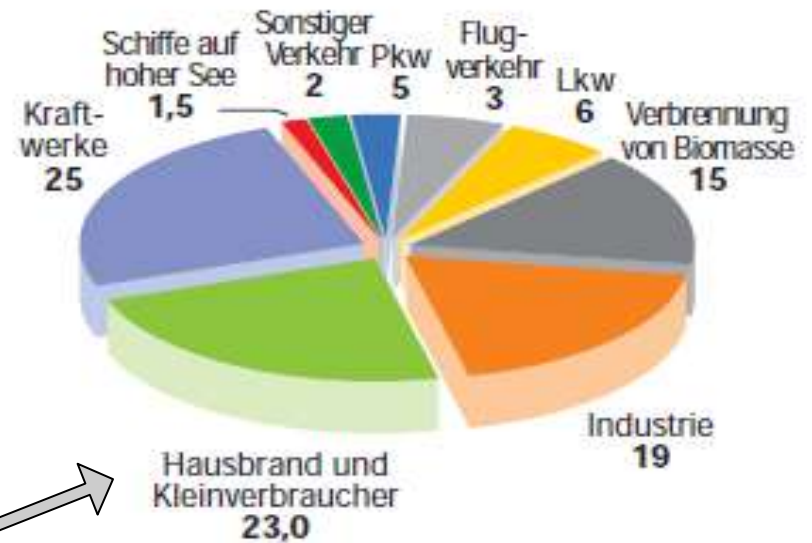
# 1 Globale CO<sub>2</sub>-Emissionen

Gesamt CO<sub>2</sub>-Emissionen  
Ca. 808 Gt/Jahr

Angaben der  
Werte in %



Anthropogene CO<sub>2</sub>-Emissionen  
Insgesamt ca. 35,9 Gt/Jahr



Verkehr gesamt 18,5 %

Quelle: Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA): Jahresbericht Auto 2008, Frankfurt, 2008 (<http://www.vda.de/de/downloads/489/>)



# 2 Vergleich von alternativen Antriebstechnologien für PKWs

## Hybridfahrzeuge - Konzepte - Vergleich

Hybridvarianten	Micro/Mild	Voll	Plug-in	Elektro*	BSZ**
Anschaffungskosten	-	--	--	--	--
Variable Kosten	+	+	+	++	-
CO <sub>2</sub> -Einsparung	+	+	+	++	++
Infrastrukturausbau	+	+	-	--	--
Fahreigenschaften	+/-	+	+/-	+/-	+/-
Zeit bis Marktreife	seit 1998	seit 1997	seit 2010	seit 2011	seit 2018

\* Elektrofahrzeuge mit Strom aus erneuerbaren Energien

\*\* Brennstoffzelle (Wasserstoff aus erneuerbarer Energie)

Serienfahrzeuge, keine Pilot- oder Feldversuchsfahrzeuge





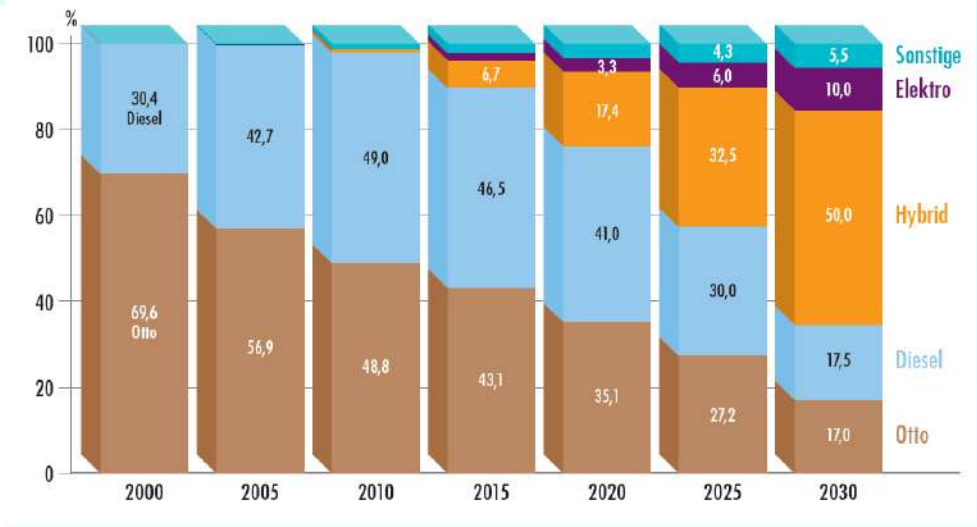
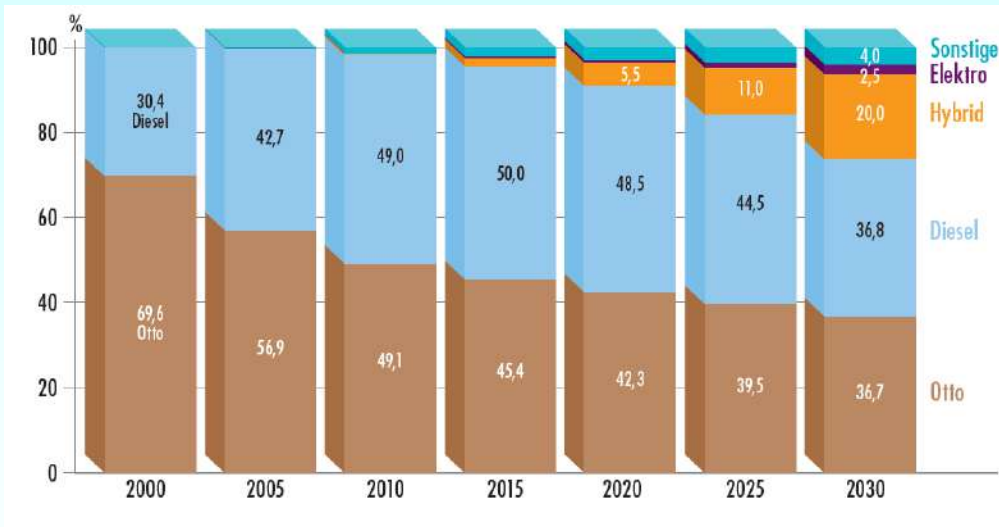
# 3 Neuzulassungen nach Antriebsarten, Prognose Shell 2009

Neuzulassungen 2022 in Deutschland: 2.651.357 PKW, davon 17,7 % Elektro und 31,2 % Hybride (darunter 13,7 % Plug-in-Hybride)

Quelle: KBA

Neuzulassungen nach Antriebsarten bei Szenario 1

Neuzulassungen nach Antriebsarten bei Szenario 2



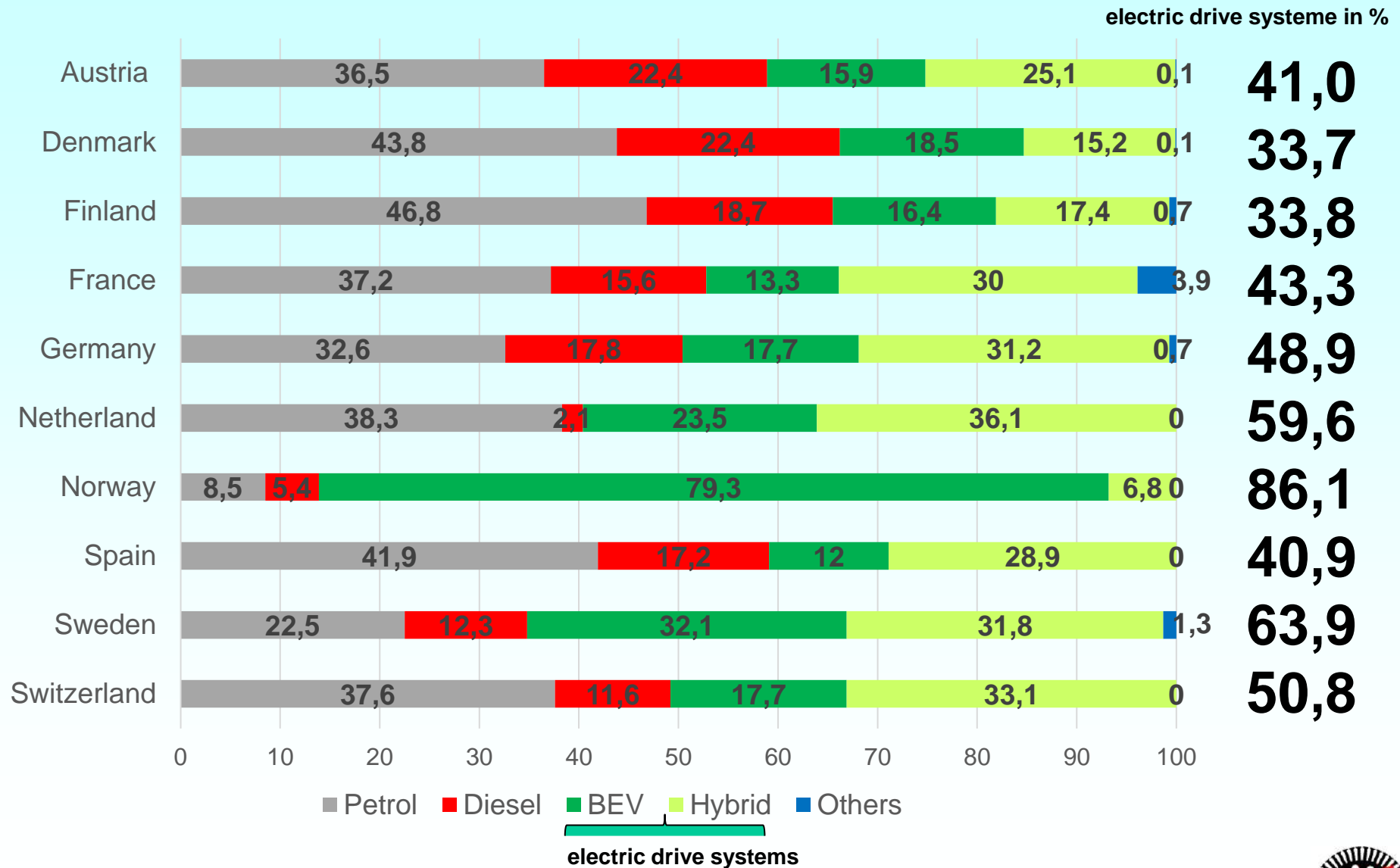
Anteil von Hybrid- und Elektrofahrzeugen im Jahr 2030: 22,5 %

Anteil von Hybrid- und Elektrofahrzeugen im Jahr 2030 : 60 % (ca. 2 Mill. PKW)

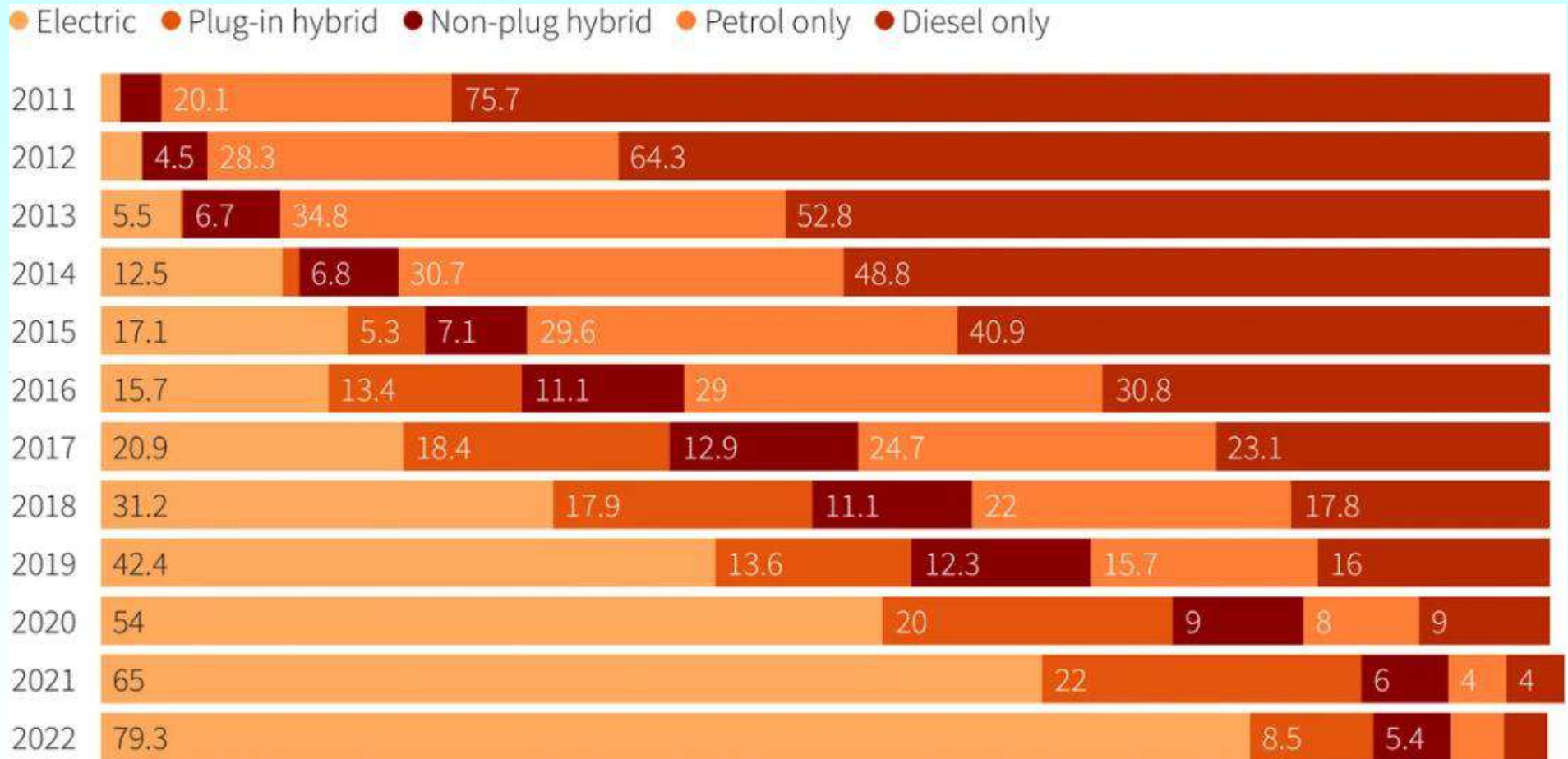
Quelle: Shell PKW Szenarien bis 2030, Hamburg 2009



# 3 Pkw-Neuzulassungen im Jahr 2022 (2021) nach Antriebsart in einigen Ländern Europas



# 3 Neuwagenverkäufe nach Antriebsart in Norwegen 2011-2022



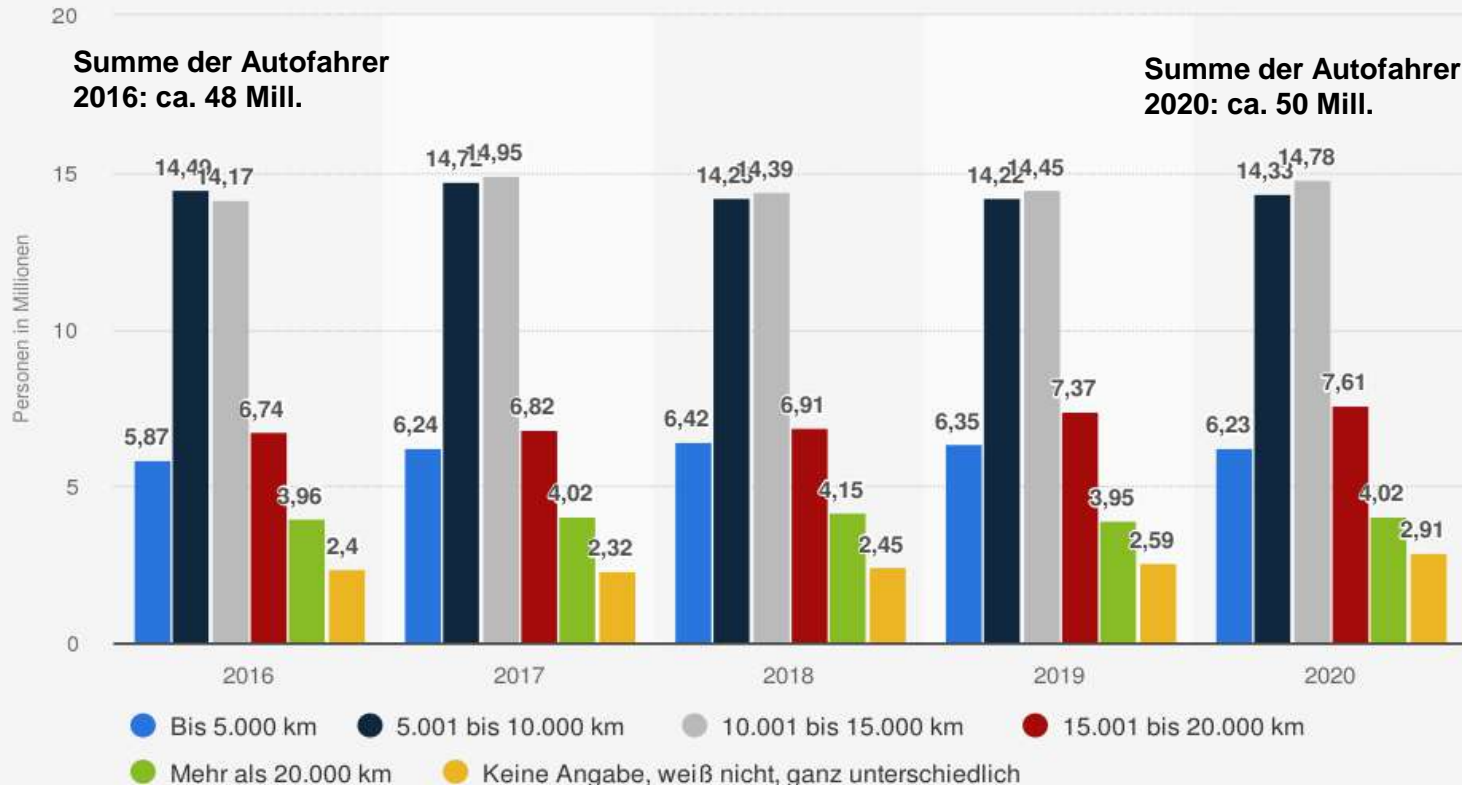
Source: Norwegian Road Federation (OFV) | Reuters, Jan 2, 2022 | By Victoria Klesty





# 3 Notwendige Reichweite für künftige E-Fahrzeuge: Wegelängen von PKWs in Deutschland

Autofahrer in Deutschland nach selbst gefahrenen Kilometern pro Jahr von 2016 bis 2020 (Personen in Millionen)



Quelle  
VuMA  
© Statista 2021

Weitere Informationen:  
Deutschland; IFAK; GfK Media and Communication Research; forsa  
marplan; ab 14 Jahre; deutschsprachige PKW-Fahrer; Face-to-Face-  
Interviews

**ca. 41 % < 10.000 km**  
**ca. 70 % < 15.000 km**  
**ca. 85 % < 20.000 km**

Quelle: Statista. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/> (Zugriff am: 21. März 2021).



### 3 Nutzungsdauer / Betriebsstunden – PKW

---

Weglänge pro Jahr	km	15.000	25.000
Nutzungsdauer	Jahre	15	10
Gesamtweglänge	km	225.000	250.000
Durchschnittliche Geschwindigkeit	km/h	50	50
Betriebszeit (in Bewegung)	Stunden	4500	5000
Gesamtzeit (1 Jahr: 8760 Stunden)	Stunden	131.400	87.600
Nutzungszeit (in Bewegung)	%	3,4	5,7
Stehzeit	%	96,6	94,3

**Ergebnis: PKW in Bewegung: ca. 5 %**  
**PKW in Stillstand: ca. 95 %**

Komponenten in PKW werden für eine Betriebszeit von ca. 4000 - 6000 Stunden ausgelegt  
(ausgenommen Verschleißteile)



# 3 Nutzungszeit / Stehzeit durchschnittlicher Arbeitstag

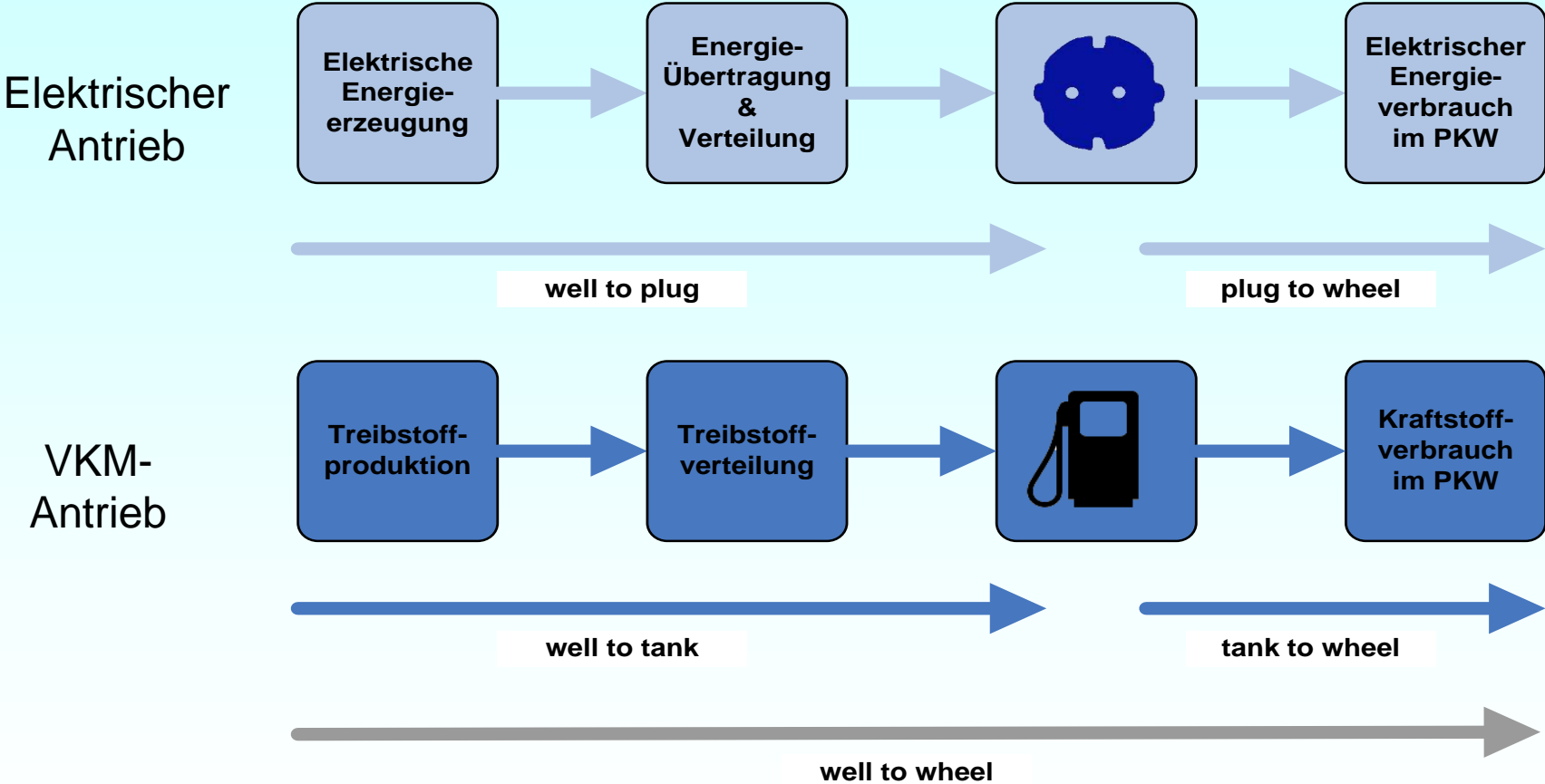
Fahrstrecke zu Hause – Firma	km	20	40	60
Durchschnittliche Geschwindigkeit	km/h	50	55	60
Fahrstrecke Summe	km	60	100	140
Energiebedarf Ladung (Wirkungsg. Batt u. Lad)	kWh	13,2	22	30,8
Energiekosten pro Tag (0,35 €/kWh Neukunde)	€	4,6	7,7	10,5
Benzin/Dieselbedarf (6,67 l/100 km)	l	4,0	6,6	9,3
Energiekosten pro Tag (1,70 €/l)	€	6,8	11,2	15,8
Wegstecke pro Jahr 220 Arbeitstagen	km	13 200	22 000	30 800
Energiekosten pro Jahr (7,7 €/100 km) ca.	€	1.016	1.694	2.372
Energiekosten pro Jahr (11,2 €/100 km) ca.	€	1.478	2.464	3.450

**Kosteneinsparung im Betrieb:**

**ca. 45 %**



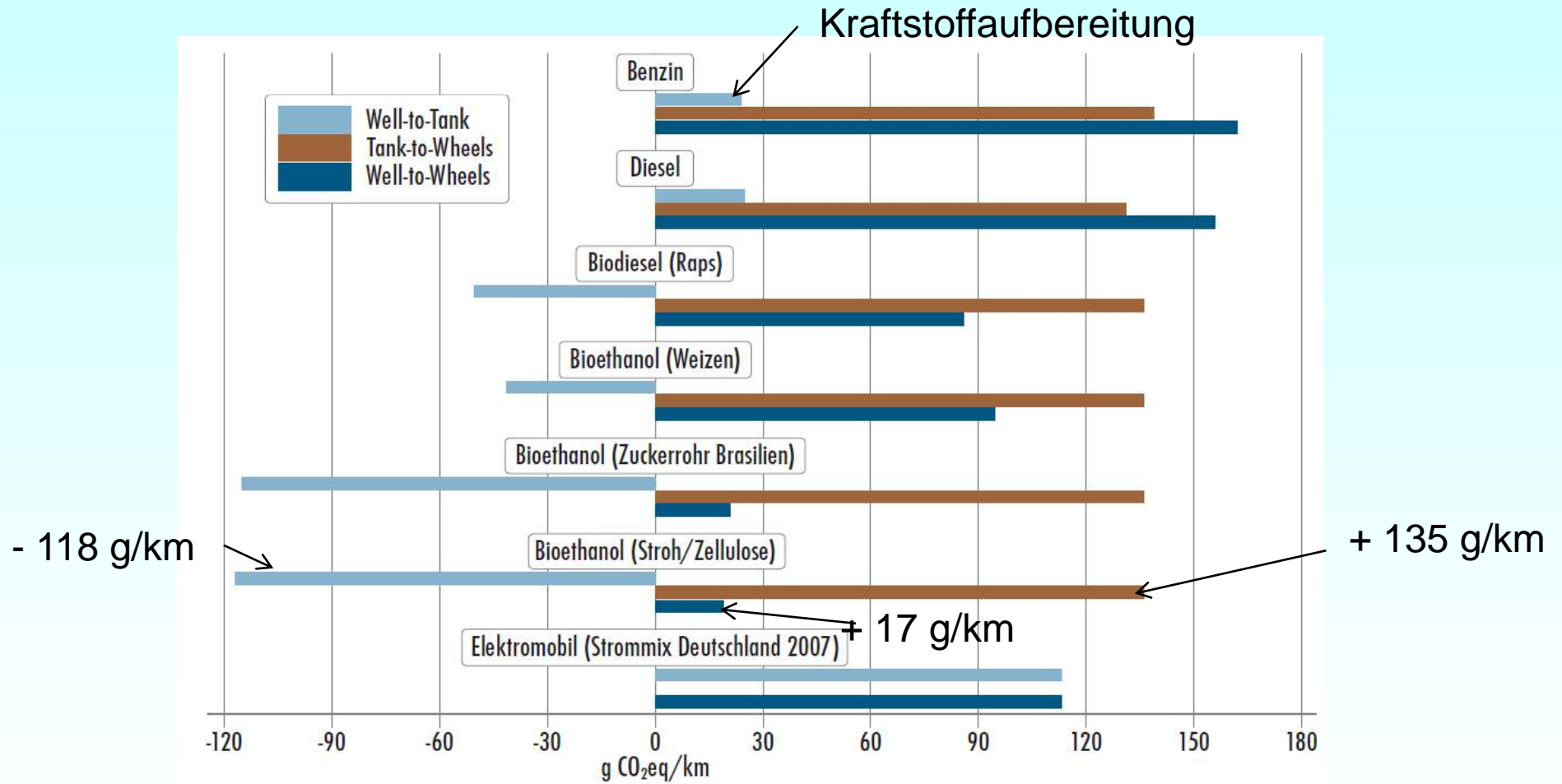
# 4 Energieträger – von der Quelle zum Rad



Quelle: Engel, T.: Plug-in Hybrids, Studie zur Abschätzung des Potentials zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im PKW-Verkehr bei verstärkter Nutzung von elektrischen Antrieben im Zusammenhang mit Plug-in Hybrid Fahrzeugen, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. (DGS) und Bundesverband für Solare Mobilität (bsm), München/Münster, 2007.



# 4 CO<sub>2</sub>-Bilanz für Kraftstoffe im „Well-to-Wheel-Vergleich“



Quelle: Shell PKW Szenarien bis 2030, Hamburg, 2009



# 4 Luftemissionen bei der Stromerzeugung bzw. beim E-Fahrzeug

Luftemissionen nach Erzeugung in  $\text{g/kWh}_{\text{out}}$  (abgegebene Energie beim Kraftwerk) bzw. für das vorgestellte E-Fahrzeug in  $\text{g/km}$

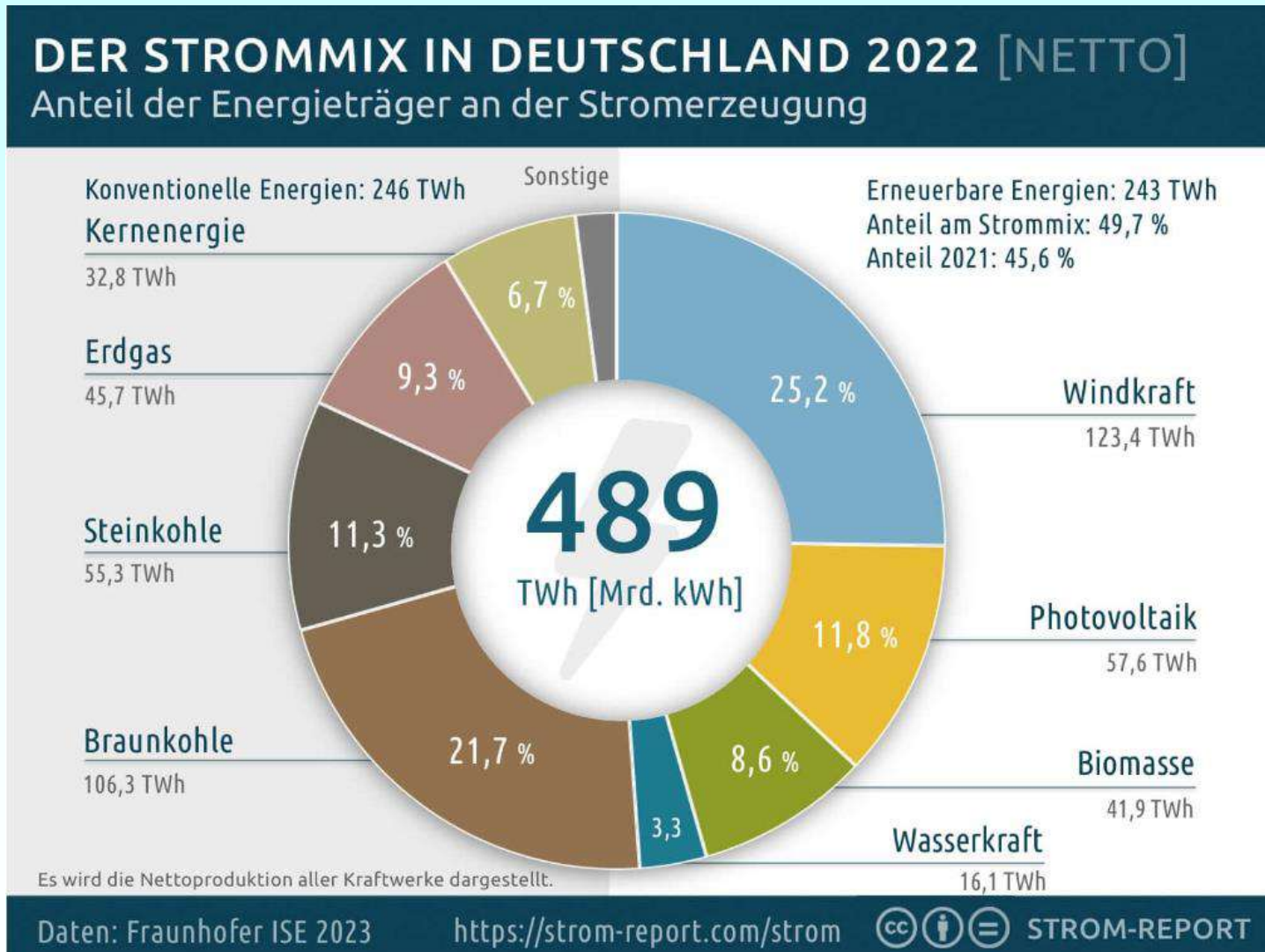
	$\text{CO}_2$ $\text{g/kWh}_{\text{out}}$	$\text{CO}_2$ $\text{g/km}$		$\text{CO}_2$ $\text{g/kWh}_{\text{out}}$	$\text{CO}_2$ $\text{g/km}$
Norwegen	14	3	Italien	522	116
<b>Schweiz</b>	<b>39</b>	<b>9</b>	<b>Deutschland</b>	<b>594</b>	<b>132</b>
Schweden	74	17	Indien	681	151
Frankreich	97	22	USA	691	154
<b>Österreich</b>	<b>225</b>	<b>50</b>	China	697	155
Kanada	261	58	Russland	718	160
Spanien	469	104	Australien	843	187
Großbritannien	515	114	Polen	967	215

Quelle Emissionen nach Erzeugung: Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.): GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) - Version 4.2, Stand Oktober 2004. <http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm>

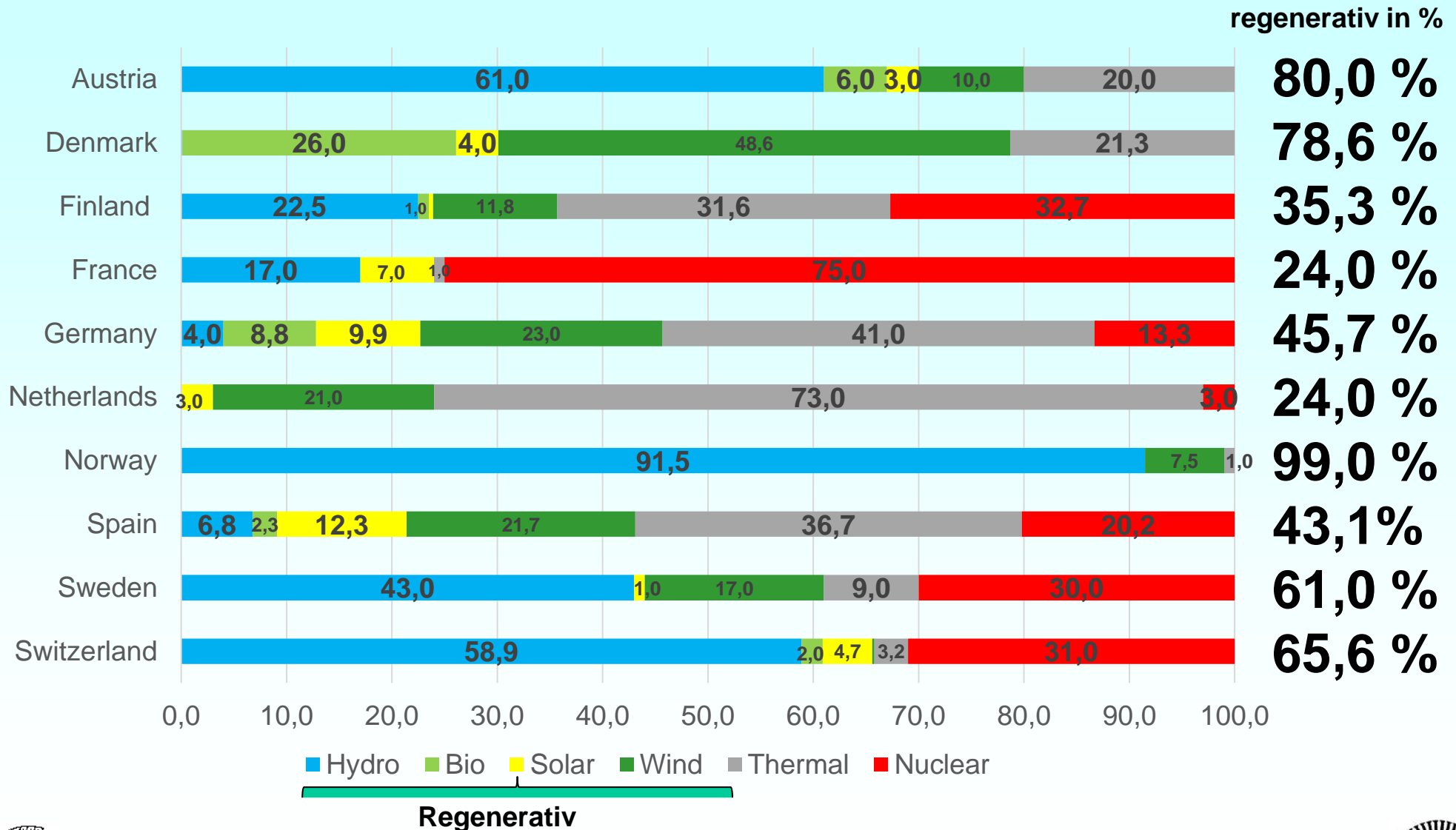





# 5 Zusammensetzung der Stromerzeugung in D (2022)



# 5 Zusammensetzung der Stromerzeugung in einigen Ländern Europas (2021)



# 6 Ladetechnologie

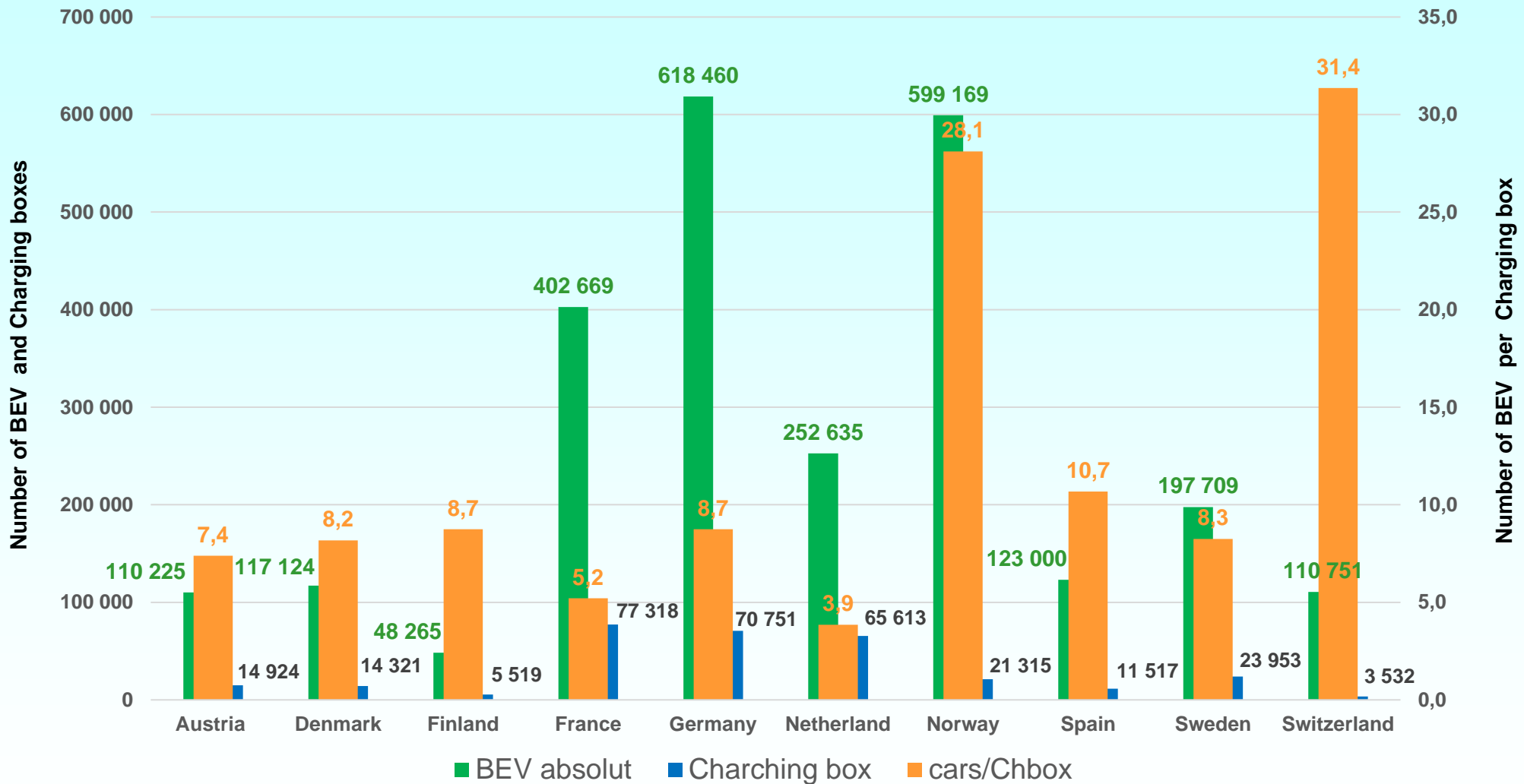
STECKERTYP	 SCHUKO	 CEE	 CEE	 TYP 1	 TYP 2	 TYP 2	 CCS	 CHAdeMo
Spannung	230 V	230 V	400 V	230 V	400 V	400 V	bis 1.000 V	bis 1.000 V
Strom	10 A	16 A	16/32 A	16 A	16 A	16/32/63 A	bis 500 A	bis 400 A
Phase AC/DC	1 ph. AC	1 ph. AC	3 ph. AC	1 ph. AC	1 ph. AC	3 ph. AC <sup>2</sup>	DC	DC
Leistung	2,3 kW	3,7 kW <sup>1</sup>	11/22 kW	3,7 kW <sup>1</sup>	3,7 kW <sup>1</sup>	11/22/43 kW <sup>3</sup>	50 bis 350 kW	50 bis 400 kW
Ladedauer Akku 50 kWh <sup>4</sup>	22:00 h	13:30 h	4:40/2:20 h	13:30 h	13:30 h	4:40/2:20/1:10	ca. 55 min bei 50 kW auf 80%	ca. 55 min bei 50 kW auf 80%

- 1) Um eine Netzschiefelast zu vermeiden, ist 1-phasiges Laden in Österreich nur mit maximal 3,7 kW erlaubt.  
 2) Einige wenige Fahrzeuge laden 2-phasig, sie erzielen dann maximal 7,4 kW Ladeleistung.  
 3) Tesla verwendet ebenfalls einen Typ-2-Stecker, erzielt mit anderer Pin-Belegung aber bis 150 kW Ladeleistung an Superchargern.  
 4) Ladedauer gerundet am Beispiel eines 50 kWh großen Akkus

Quelle: electric WOW



# 6 Ladeinfrastruktur in einigen Ländern Europas 2022



# 7 Wasserstofftechnologie

	Fahrzeug mit ...		
	Brennstoffzelle	Traktionsbatterie	Ottomotor
Fahrzeugtyp	Mercedes-B-Klasse, Brennstoffzellenfahrzeug	Mercedes-B-Klasse Electric Drive mit Traktionsbatterie	Mercedes-B-Klasse mit Ottomotor
Verbrauch pro 100 km	1 kg	20 kWh	6,6 l
Kraftstoffpreis	13,85 €/kg	0,35 €/kWh	1,7 €/ (Superbenzin)
Kosten für 100 km	13,85 €	7 €	11,2 €

1 kg Wasserstoff kostet April 2022 9,50 Euro. Dies ist der Wasserstoffpreis, den der Kunde an der Tankstelle zu zahlen hat, also einschließlich der Investitionen für Aufbau und Betrieb der Wasserstofftankstelle, allerdings ohne Berücksichtigung der staatlichen Subventionierung und der höheren Kosten für die Anschaffung des Fahrzeuges.

Mineralöl und Wasserstoff werden in Deutschland steuerlich unterschiedlich behandelt: Auf Wasserstoff wird keine Mineralöl- bzw. Energiesteuer erhoben



# 7 Wasserstofftechnologie

## Zum Vergleich: Wirkungsgrade bei Elektrofahrzeugen

Bei Aufladung mit Ökostrom aus Eigenerzeugung ergibt sich:

Für **batteriegetriebene Elektrofahrzeuge** mit der Energiekette

Photovoltaikanlage/Wechselrichter → Netzübertragung → Akku im Fahrzeug → Wechselrichter → Elektromotor

ein **Wirkungsgrad** von  $0,9 \times 0,94 \times 0,94 \times 0,98 \times 0,96 = \mathbf{0,75}$

Für **Elektrofahrzeuge mit Brennstoffzelle** mit der Energiekette

Photovoltaikanlage/Wechselrichter → Netzübertragung/Gleichrichtung → Elektrolyse → Verdichtung auf 700 bar → Brennstoffzelle → Wechselrichter/Elektromotor

**Wirkungsgrad** von  $0,9 \times 0,93 \times 0,8 \times 0,88 \times 0,6 \times 0,98 \times 0,96 = \mathbf{0,33}$





# 8 Batterietechnik

## Primärzellen unterschiedlicher Elemente

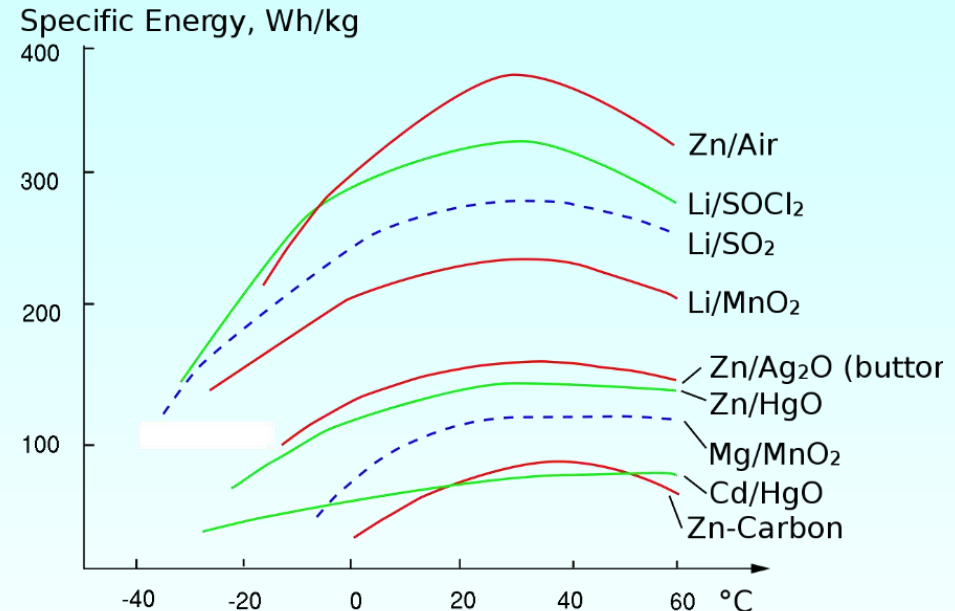
### •Standardbatterien

(Basis: Zink-Mangan)

- Alkali-Mangan-Batterie; 1,5 V Nennspannung pro Zelle
- Zinkchlorid-Batterie; 1,5 V pro Zelle (nahezu vollständig durch Alkali-Mangan-Batterie ersetzt)
- Zink-Kohle-Batterie; 1,5 V pro Zelle (in Europa nahezu vollständig durch Alkali-Mangan-Batterie ersetzt, abgesehen von einigen größeren Bauformen wie z. B. Laternenbatterien)

### •Spezialbatterien

- Zink-Luft-Batterie; 1,4 V pro Zelle
- Quecksilberoxid-Zink-Batterie; 1,35 V pro Zelle
- Silberoxid-Zink-Batterie; 1,55 V pro Zelle
- Nickel-Oxyhydroxid-Batterie; 1,7 V pro Zelle
- Lithiumbatterien; je nach Kathodenmaterial 1,8 V ( $\text{FeS}_2$ ) bis 3,7 V ( $\text{SOCl}_2$ )
- Lithium-Eisensulfid-Batterie; 1,5 V pro Zelle
- Aluminium-Luft-Batterie; 1,2 V pro Zelle



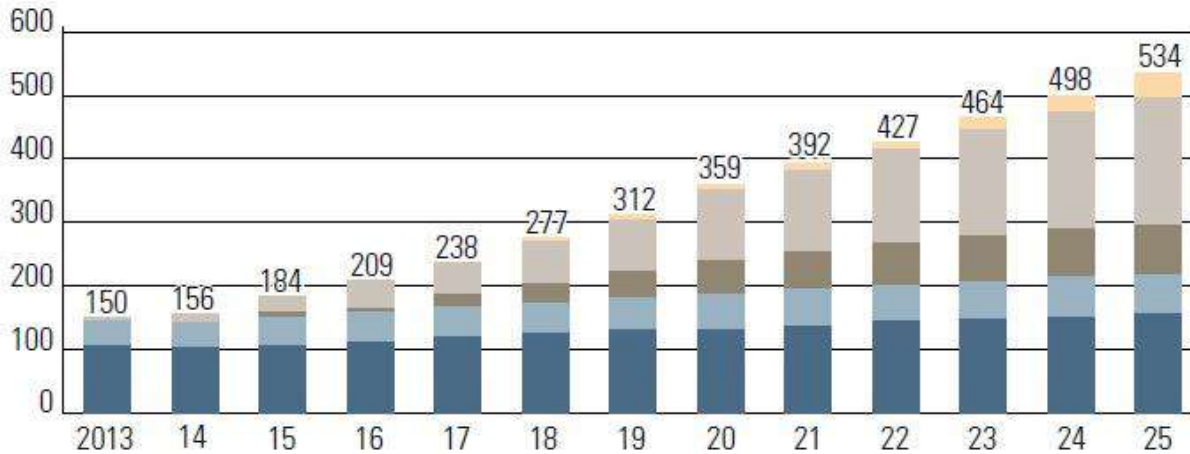
Spezifische Energiedichte (Wh/kg) verschiedener Primärzellen als Funktion der Temperatur



# 8 Energiespeicher Rohmaterialien

Nachfrage nach Lithium nach Anwendung, in 1000 t Lithiumcarbonat-Äquivalent

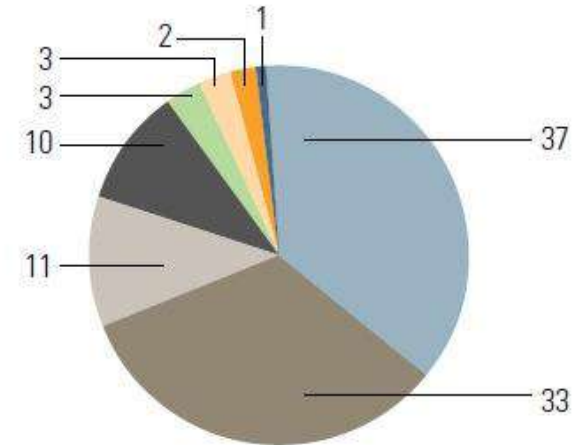
■ Nachfrage Nicht-Batterie-Anwendungen    ■ Konventionelle Batterien (Elektronikgeräte usw.)  
■ E-Bikes    ■ Elektrofahrzeuge    ■ Stromspeicherung



QUELLE: DEUTSCHE BANK RESEARCH

Lithium kommt aus wenigen Ländern  
Globaler Marktanteil 2015, in %

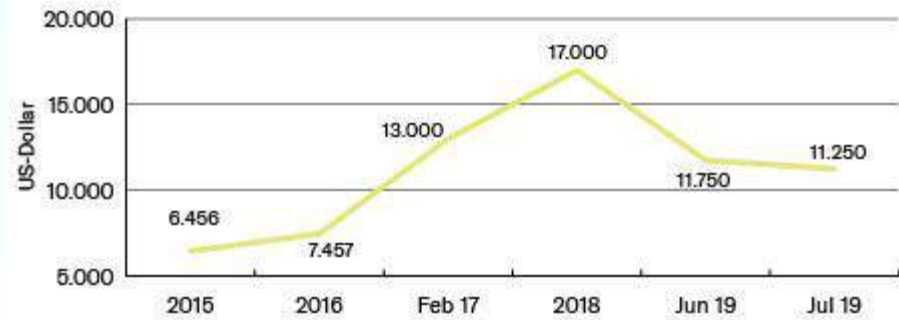
■ Chile    ■ Australien    ■ Argentinien    ■ China  
■ USA    ■ Simbabwe    ■ Portugal    ■ Brasilien



NZZ-Infografik/lvg.

## Lithiumbedarf für Batterien

## Preisentwicklung von Lithium



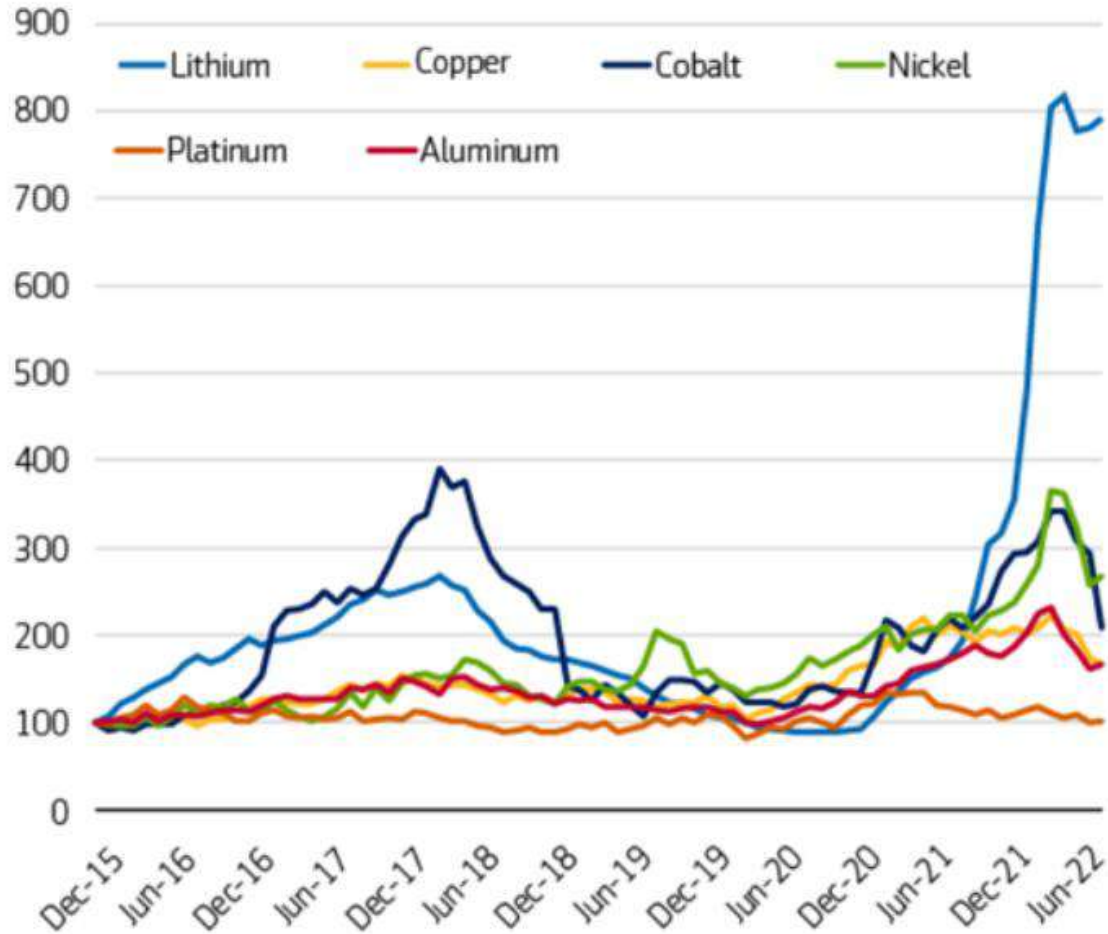
— Preis pro Tonne Lithiumcarbonat

Quelle: Rödl & Partner



# 8 Energiespeicher Rohmaterialien

## Preisentwicklung wichtiger Rohstoffe für Elektromobilität



### Preis für Lithium pro Tonne in USD:

2015	ca. 6.500,-
2016	ca. 7.500,-
2017	ca. 13.000,-
2018	ca. 17.000,-
2019	ca. 11.500,-
2020	ca. 6.000,-
2021	ca. 25.000,-
<b>2022/04</b>	<b>ca. 73.000,-</b>
<b>2022/12</b>	<b>ca. 80.000,-</b>
2023/04	ca. 30.000,-

Quelle: Reuters

Quelle: DI das Investment



# 9 Elektrische Maschinen Rohmaterialien

---

## Verfügbarkeit von Rohstoffen für Permanentmagnet - Maschinen

**Seltene Erden:** 17 Metalle Vorkommen in der Erdkruste weit häufiger als Edelmetalle, jedoch ist die Aufbereitung sehr aufwändig

14 Metalle Lanthanoide (OZ 58 -71), La, Sc, Y (Nebengruppe IIIb)

*(für PM) Cerium Cr, Dysprosium Dy, Erbium Er, Europium Eu, Gadolinium Gd, Holmium Ho, Lanthan La, Lutetium Lu, Neodym Nd, Praseodym Pr, Promethium Pm, Samarium Sm, Scandium Sc, Terbium Tb, Thulium Tm, Ytterbium Yb, Yttrium Y*

**Wachstum von 1997 – 2007: 20- fache \***

**Katalysatoren für Raffination: 25 %**

**Glas,- Keramikindustrie 20 %**

**Metallurgie 10%**

**Weltweiter Bedarf 2021: 200.000 t**

**Batterien 13 %**

**Permanentmagnete 25 %**

**Bildschirmindustrie 6 %**

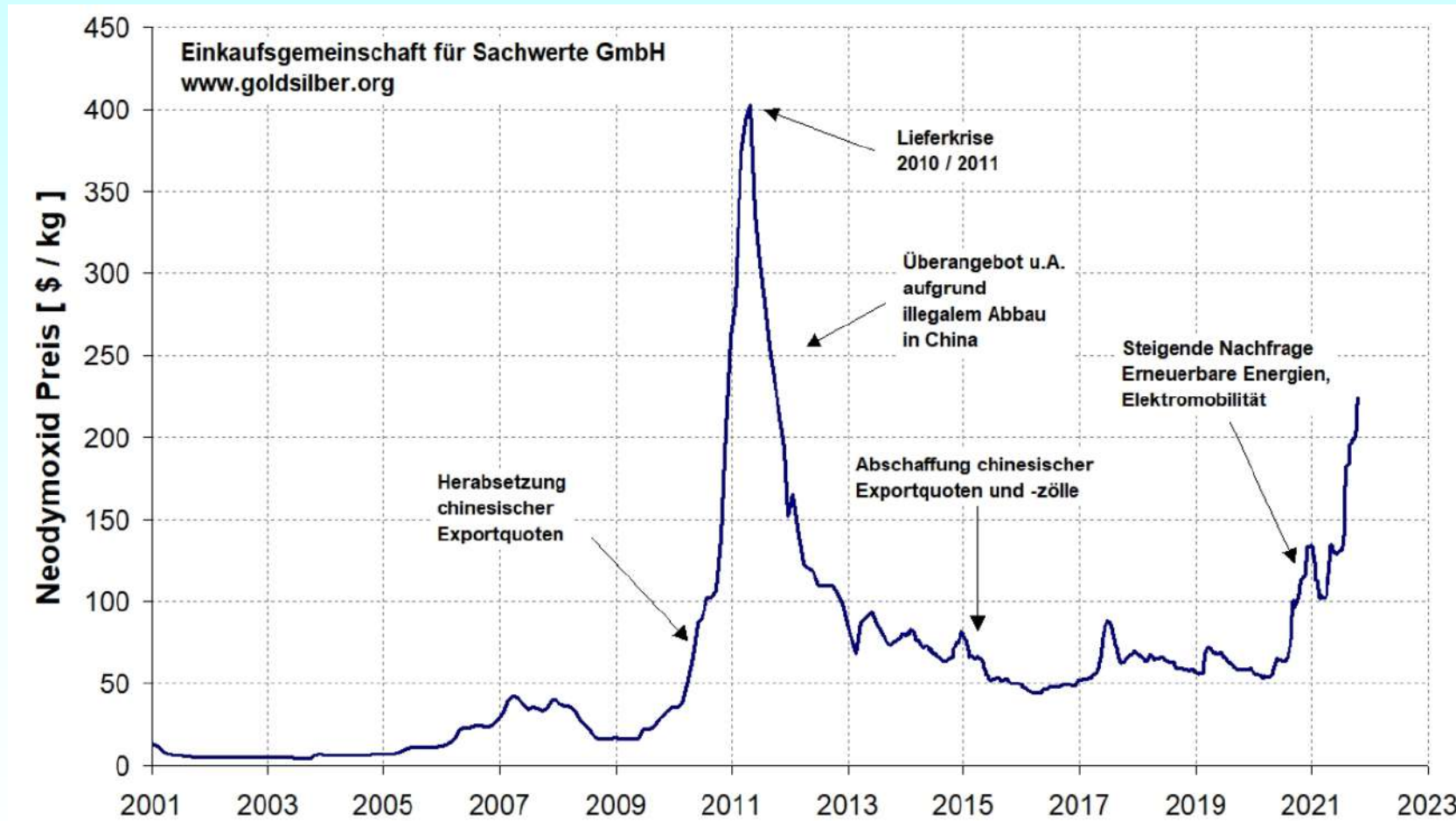
**Atomindustrie 1 %**

\* Quelle: Prof. Dr. Jüstel, Uni Münster 2010 mit Ergänzungen bzw. Aktualisierung



# 9 Elektrische Maschinen Rohmaterialien

## Weltmarktpreise der Rohstoffe für Permanentmagneten



Quelle: SACHWERTE  
EINKAUFSGEMEINSCHAFT





# 10 Amortisationsberechnung PKW Golf - Klasse / ID3

	Einheit	Benzin-VKM	E-Antrieb	Faktor
<b>Kaufpreis (Investition)</b>	€	30.000	40.000	1,4
Wegstrecke pro Jahr	km	15 000	15 000	
Energieverbrauch	je 100 km	6,67 l	20 kWh	
Kosten Energie / Einheit	€/Einheit	1,8 €/l	0,35 €/kWh	
Kosten Energie je 100 km (inkl. Wirkungsgrad Batt)	€/100 km	12,0 Treibstoff	7,0 Strom	0,58
Kosten Energie pro Jahr	€	1.800	1.050	0,58
Haftpflichtversicherung/Jahr*	€	300	300	1
Kraftfahrzeugsteuer (P =80kW)	€	520**	0	
Service und Rep- Kosten/Jahr	€	500	250	0,5
Energiekosten auf 10 Jahre	€	18.000	10.500	0,58
Versicherung auf 10 Jahre	€	3.000	3.000	1
KFZ- Steuer auf 10 Jahre	€	5.200	0	
Service auf 10 Jahre	€	5.000	2.500	0,5

\*Versicherung: Neuwagen, Haftpflicht, Ausgangsstufe, weiblich, 40 Jahre, Bezirk Baden, VW Golf

\*\* KFZ –Steuer:  $(P/kW - 64) \times 0,72 + CO_2 / g - 112 ) \times 0,72 = \text{KFZ St /€ pro Monat}$





# 10 Amortisationsberechnung PKW Golf – Klasse / ID3



## Life

Golf Life TSI

Benzin / 1.0 l / 81 kW (110 PS) / 6 Gang

Mondsteingrau

Räder, 17" Ventura

- ✓ Unlimited-Paket
- ✓ Fahrassistent "Travel Assist" -Paket
- ✓ Klimaanlage "Air Care Climatronic"

**ab 30.068,79 €**

ab 242,32 € mtl.



**Pro 150 kW**

**ab 41.390,- €**

ab 381,- € mtl.

150 kW (204 PS) ⓘ

Elektro

Automatik

### Serienausstattung (Highlights)

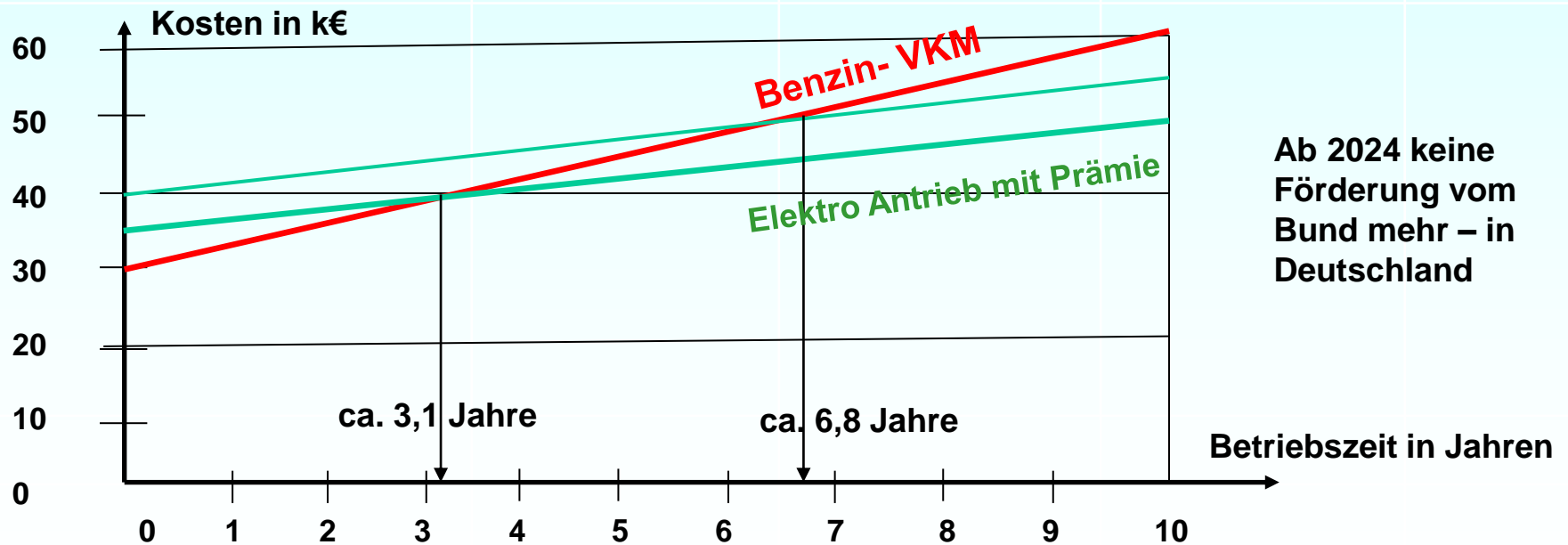
- ✓ Batterie 58 kWh
- ✓ 5-Sitzer
- ✓ 18 Zoll Stahlräder mit Radvollblenden
- ✓ LED-Scheinwerfer mit autom. Fahrlichtschaltung und Fernlichtregulierung "Light Assist"
- ✓ Radio "Ready 2 Discover Max", 12 Zoll Display

Quelle: konfigurator.volkswagen.at 10/2023



# 10 Amortisationsberechnung PKW Golf – Klasse / ID3

	Einheit	Benzin-VKM	E-Antrieb	Faktor
<b>Gesamtkosten über 10 Jahre</b>	€	61.200	56.000	0,91
Prämie Bund	€	0	5 000	
Prämie Land	€	0	x	
<b>Gesamtkosten inkl. Prämie</b>	€	<b>61.200</b>	<b>51.000</b>	0,83
Restwert nach 10 Jahren	€	4.000 ?	4.000 ?	



# Zusammenfassung

---

- **CO<sub>2</sub> Emissionsreduzierung und Reduzierung der Abhängigkeit**
- **2021: 13 % der Neuanmeldungen BEV, 95 % Stehzeit von E- PKW**
- **BEV haben auch im Lebenszyklus geringere CO2 Emission**
- **ca. 80 % der Stromerzeugung in Österreich regenerativ**
- **Keine einheitliches Steckersystem, Aufholbedarf bei Ladesäulen**
- **Wasserstoffherzeugung und Betrieb mit geringerem Wirkungsgrad**
- **Lithium, Cobalt, Mangan teurer Rohstoffe, Recycling notwendig**
- **Seltene Erden Elemente teurer Rohstoffe, Recycling notwendig**
- **BEV zahlt sich derzeit mit den staatlichen Prämien aus**



# Tätigkeiten, CV und Kontakt

## Univ.- Prof. Dr. phil. Dr. techn. habil. Harald Neudorfer



- Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger (Elektrische Maschinen, Anlagen, Geräte)
- Staatlich befugter und beeideter Zivilingenieur für Elektrotechnik
- Prof. am Institut für Elektrische Energiewandlung der TU- Darmstadt
- Lehrbeauftragter am Institut für Elektr. Energiesysteme und Elektr. Antriebe der TU- Wien
- Studium und Promotion an der TU- Wien: Elektrische Energietechnik
- Studium und Promotion an der Uni Klagenfurt: Philosophie, Psychologie und Pädagogik
- Habilitation an der TU- Darmstadt: Elektrische Maschinen und Antriebe

1982 – 2001	Technischer Angestellter, (BBC,ABB) Projektleiter und gewerberechlicher GF der DaimlerChrysler Rail System, Wr. Neudorf (Österreich)
2001 – 2006	Leitung Abteilung e- Drive Powertrain bei DaimlerChrysler, Stuttgart
2006 – 2019	Technischer Leiter und Prokurist der Traktionssysteme Austria GmbH TSA, Wr. Neudorf (Österreich)
Seit 2002	Seminarleiter und Vortragender auf dem Gebiet der Elektrischen Maschinen, Traktionsantrieben für Elektro und Hybridstraßenfahrzeuge für die Automobilindustrie (OEMs zu Zulieferfirmen), VDI, HdT, CADFEM

Kontaktdaten:

**Post:** A – 2514 Traiskirchen, Alfons Petzold Straße 28

**Mail:** [prof.dr.dr.neudorfer@emdrive.at](mailto:prof.dr.dr.neudorfer@emdrive.at)  
[hneudorfer@ew.tu-darmstadt.de](mailto:hneudorfer@ew.tu-darmstadt.de)  
[harald.neudorfer@tuwien.ac.at](mailto:harald.neudorfer@tuwien.ac.at)

**Tel:** +43 676 50 42 721 oder +43 2252 521 591



---

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Tel: 0043-2252 521 591

Handy: 0043-676 50 42 721

e-mail: [prof.dr.dr.neudorfer@emdrive.at](mailto:prof.dr.dr.neudorfer@emdrive.at)  
[hneudorfer@ew.tu-darmstadt.de](mailto:hneudorfer@ew.tu-darmstadt.de)  
[harald.neudorfer@tuwien.ac.at](mailto:harald.neudorfer@tuwien.ac.at)

Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger

Staatlich befugter und beeideter Ziviltechniker für Elektrotechnik

Professor an der **TU - Darmstadt** und Lehrbeauftragter an der **TU - Wien**

