



Elektromobilität

Technik, Ökologie, Wirtschaftlichkeit, Zukunft





Mobilität ohne fossile Brennstoffe (CO₂ neutral ?)

Mit EE-Strom direkt, indirekt

- Batterie-Fahrzeug (Strom direkt laden)
- Brennstoffzellen Fahrzeug mit Wasserstoff (Power to Gas P2G)
- Verbrenner mit synthetischen Kraftstoffen aus EE (Power to Fuel, Power to Liquid, E-Fuels)



Ohne EE-Strom

- Biomasse-Treibstoffe, → Potential zu gering Lebensmittelkonkurrenz, Umwelt

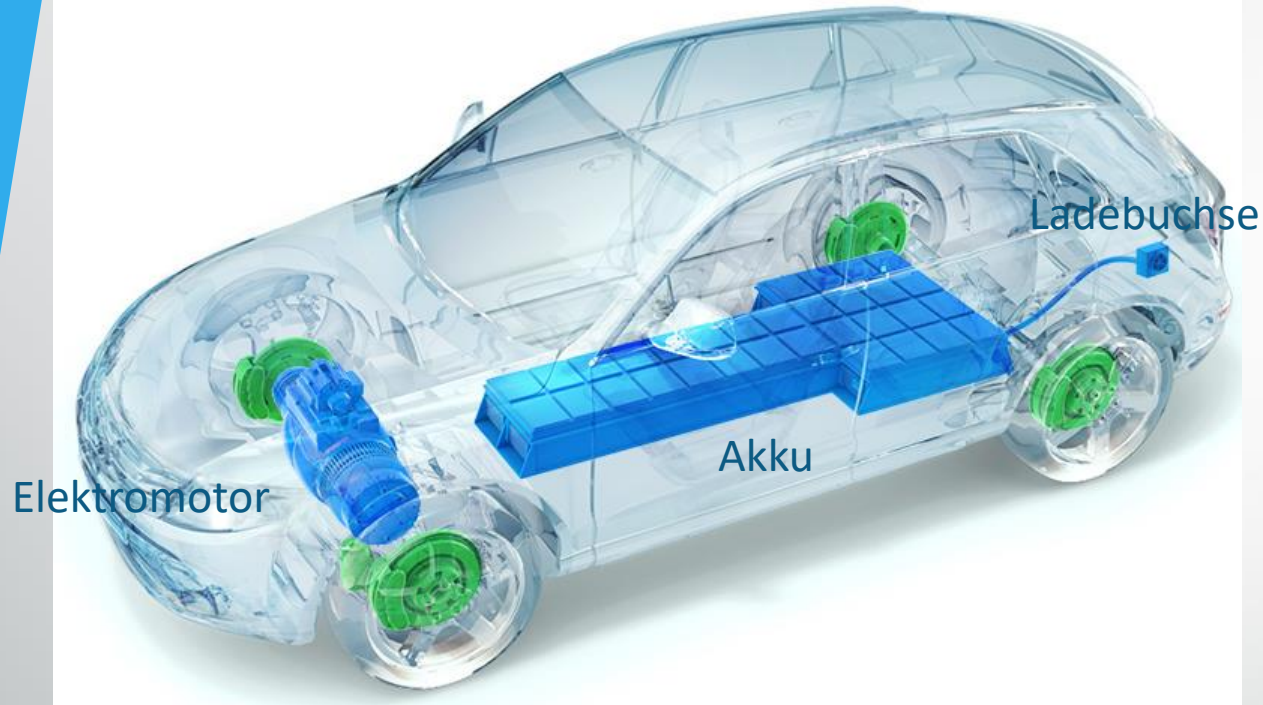




Arten der E-Fahrzeuge

- Das reine Elektroauto (BEV) „Battery Electric Vehicle“
 - Plug-In-Hybrid (PHEV). „Plug-In-Hybrid Electric Vehicle“
-
- Brennstoffzellen (Wasserstoff) Fahrzeug (FCEV)

Das reine Elektroauto (BEV)



Reine Elektrofahrzeuge sind ausschließlich mit einem Elektromotor ausgestattet und beziehen die für den Antrieb benötigte Energie aus der Batterie, die über das Stromnetz aufgeladen wird.

Bremsenergie wird zurückgewonnen (**Rekuperation**).

Beispiel VW ID3

Akku mit 45, 58, 77 kWh

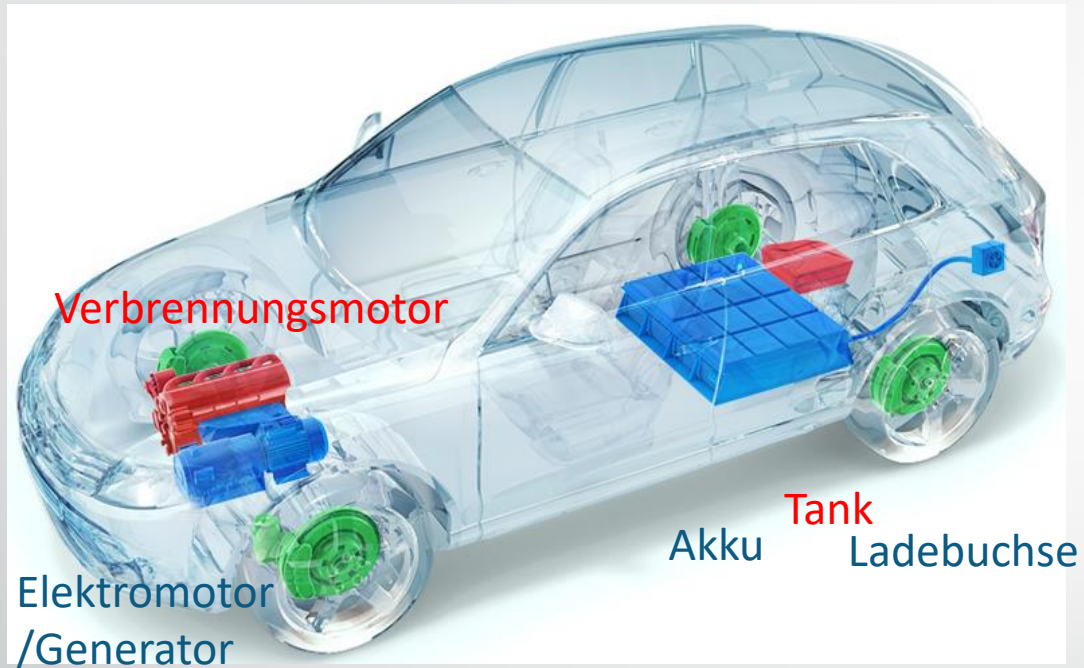
Verbrauch 14...19 kWh/100 km

WLTP Standard

17,0 - 15,4 kWh/100 km

Reichweite 58 kWh 300...420 km

Plug in Hybrid (PHEV) „Steckdosenhybrid“

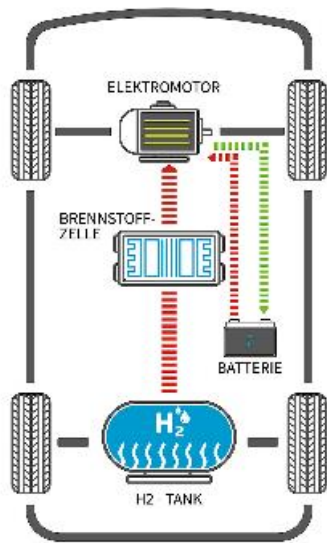


Verbrennungsmotor und Elektromotor

rel. kleiner Akku, der aus dem Stromnetz geladen wird.
Geringe elektrische Reichweite z.B. 50 km,
normale, große Reichweite mit dem Verbrennungsmotor



Beispiel VW Golf GTE
Verbrennungsmotor 110 kW
Batterie 8,7kWh, Elektromotor 75 kW
elektrische Reichweite 50 km



Brennstoffzellen Stack

Drucktank bis 700 Bar

1 kg H₂ reicht für 100 km

Brennstoffzellen-Fahrzeug Wasserstoff-Fahrzeug FCEV = Fuel Cell Electric Vehicle

Es gibt noch sehr wenige Fahrzeuge

Beispiel Toyota Mirai, Hyundai,
in Deutschland nur Prototypen

Voraussichtliche Einsatzbereiche
Öffentlicher Nahverkehr, Busse, Bahn



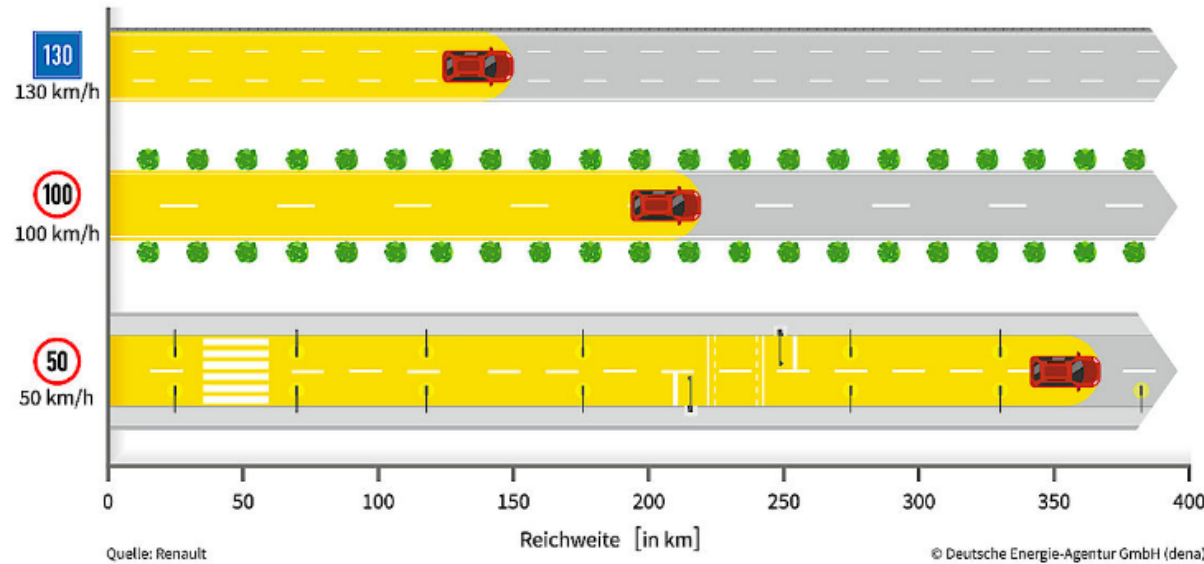
BEV: Hauptproblem ist die Batterie (Akku)

- Energieinhalt (kWh) Tesla 250Wh/kg → 400 Wh/kg (laut Musk bis 2025)
Diesel 12000 Wh/kg Wasserstoff 33000 Wh/kg !!!!
- Gewicht 200 ... 700 kg
- Kosten 115 ... 80 € pro kWh sinkende Tendenz (Stromspeicher PV)
- Lebensdauer: VW gibt für **acht Jahre oder bis zu 160.000 Kilometern Fahrleistung**, je nachdem welches Ereignis zuerst eintritt, eine Garantie, dass die nutzbare Kapazität der Batterie 70% nicht unterschreitet.

Jetzt 1,3 Millionen Kilometer: Deutscher Tesla-Fan mit Model S von 2014 fährt und fährt



Reichweite eines BEV bei unterschiedlicher Geschwindigkeit

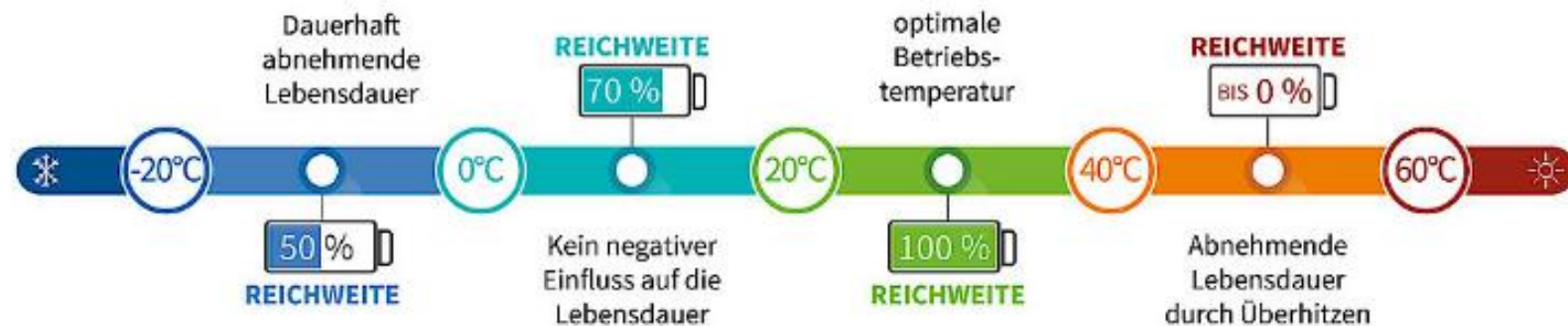


Reichweite der BEVs

hängt ab von

- der Größe der Batterie
- Fahrweise, Geschwindigkeit !!!!
Der Energieverbrauch gegen den Luftwiderstand steigt mit dem Quadrat der Geschwindigkeit (100 → 140 → Faktor 2)
- Temperatur
- Zusatzverbraucher: Klima, Heizung

Auswirkungen der Batterietemperatur auf Reichweite und Lebensdauer





Kosten und Vorteile Batteriefahrzeug BEV

Die Anschaffungskosten sind wegen der teuren Batterie (noch) höher als beim Verbrenner, aber



- 10 Jahre keine KFZ Steuer bis 2030
- geringe Wartungskosten, keine Ölwechsel
- Energiekosten geringer
- Bremsen halten länger (Rekuperation)

- tolles Fahrgefühl, geringes Geräusch
- volles Drehmoment aus dem Start



Öko- bzw. CO₂ Bilanz

Vergleich Batterieauto mit Verbrenner (Benzin, Diesel)

Es gibt Aussagen:

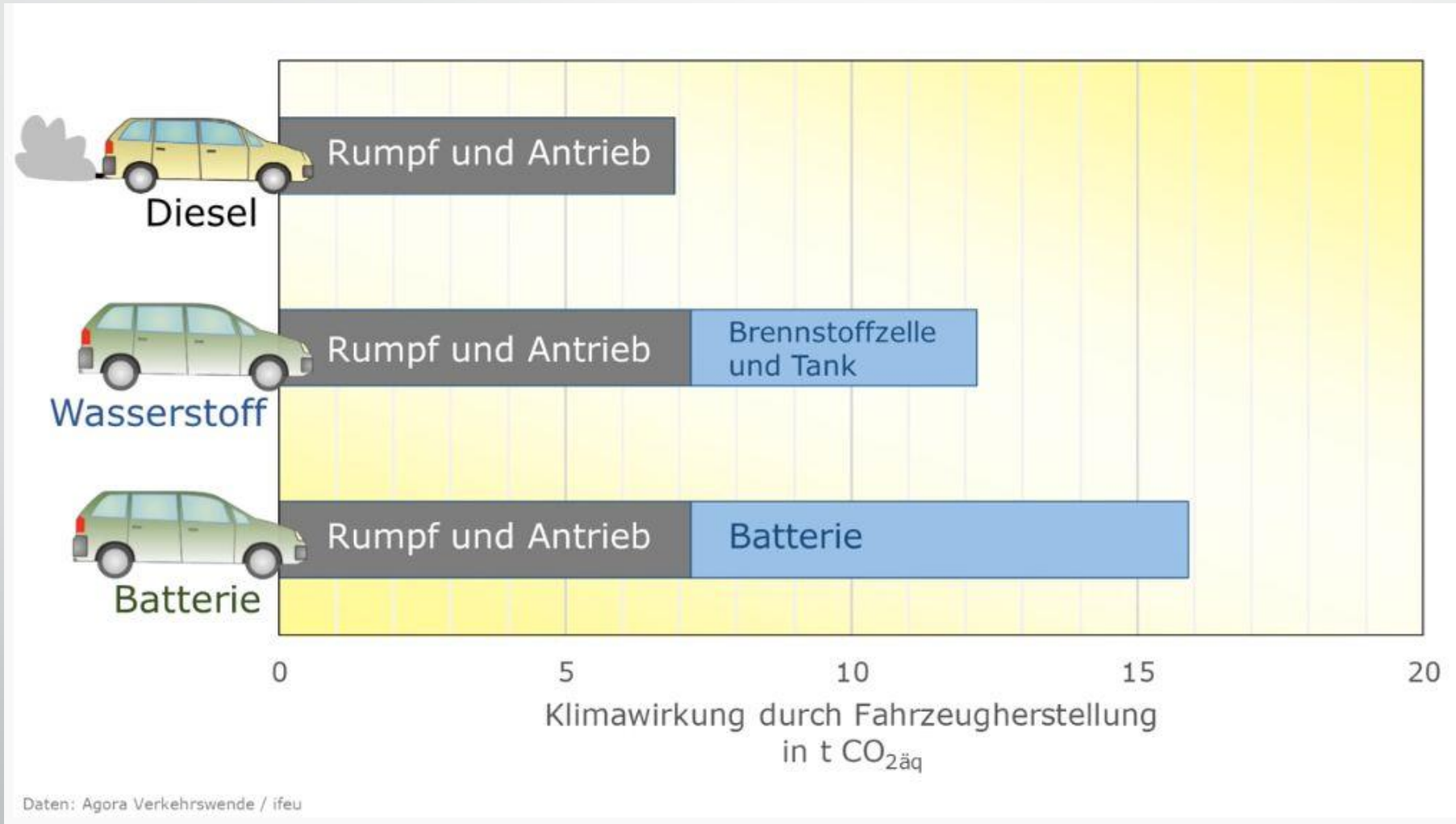


- Die Batterieherstellung und der Ladestrom (aus Kohlekraftwerken) erzeugen viel mehr CO₂ als ein entsprechender Verbrenner.
- Li und Kobalt werden umweltschädlich und prekär gefördert
- Erst nach 80 000 km soll das E-Auto besser sein.
- Die gebrauchten Akkus sind teurer Sondermüll.



Grunddaten zur Berechnung der CO₂ Bilanz beim Vergleich BEV mit Verbrenner

- CO₂ Emission bei der Spritverbrennung
Nach UBA (2017) betragen die THG-Emissionen (Treibhausgas)
unter Berücksichtigung der Vorketten (Förderung, Raffinade, Transport usw.)
bei **Diesel 3,08 kgCO₂eq/l**
bei **Benzin 2,73 kgCO₂eq/l.**
- CO₂ Bilanz der Batterieherstellung:
Schwedisches Umweltforschungsinstitut IVL gibt 2019 **61 bis 106 kg CO₂-eq/kWh Batt.**
Uni Eindhoven 2020 **75 kg CO₂-eq/kWh Batt.**
- CO₂ Emission pro kWh Fahrstrom bei heutigem Strommix ca. **0,4 kgCO₂/kWh**
EE-Ladestrom **0 kgCO₂/kWh**





CO₂ Ausstoß pro km

5,5 $\frac{\text{l Diesel}}{100 \text{ km}}$



145
 $\frac{\text{g CO}_2}{\text{km}}$



Verbrenner

Strommix
0,4 $\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$



80
 $\frac{\text{g CO}_2}{\text{km}}$



20 $\frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}}$



BEV

100%
Regenerativ

0
 $\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$



0
 $\frac{\text{g CO}_2}{\text{km}}$



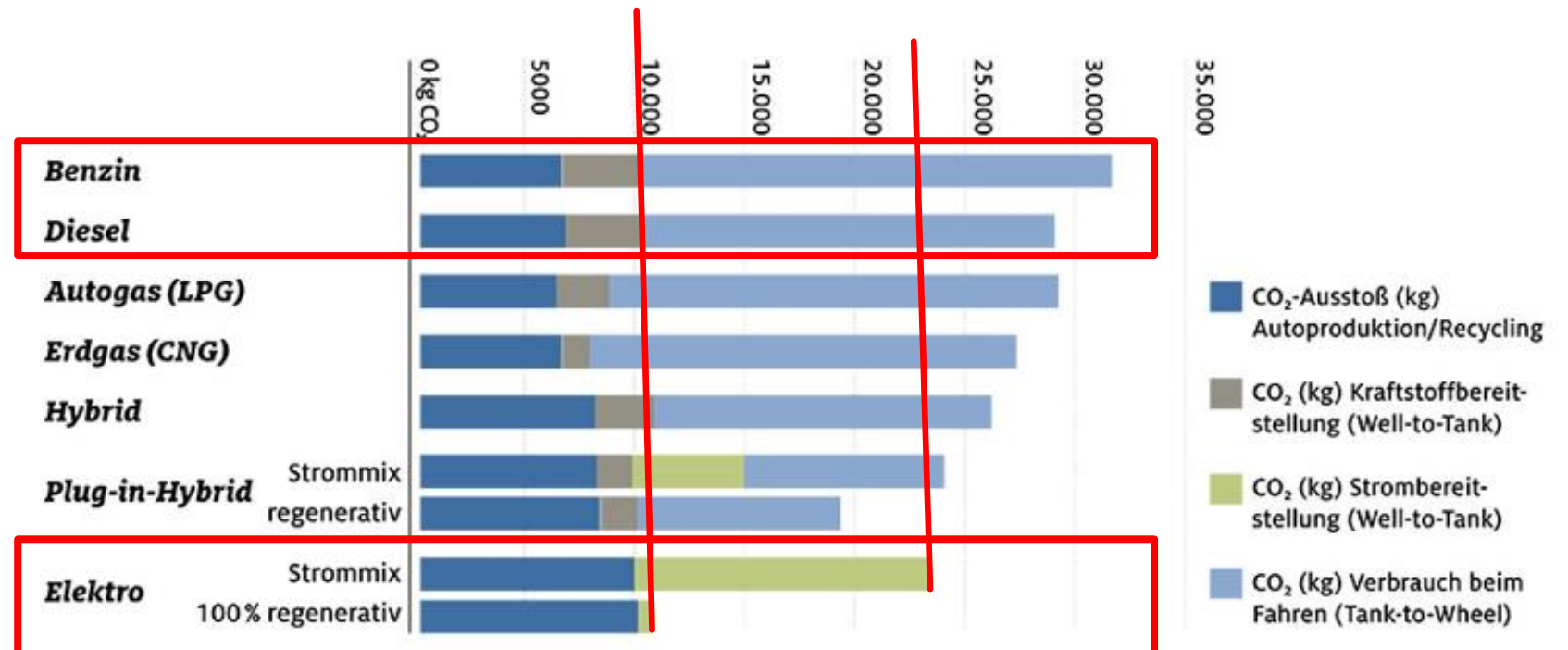
Vergleich BEV <> Verbrenner

Die Klimabilanz des ADAC (2018)

berücksichtigt alle Kohlendioxid-Emissionen von der Rohstoffproduktion über Herstellung, Betrieb und Wartung bis zur Entsorgung eines Fahrzeugs (Laufleistung 150 000 km)



Klimabilanz Untere Mittelklasse (Kompaktwagen)





Reicht der Strom für die BEV Mobilität ??

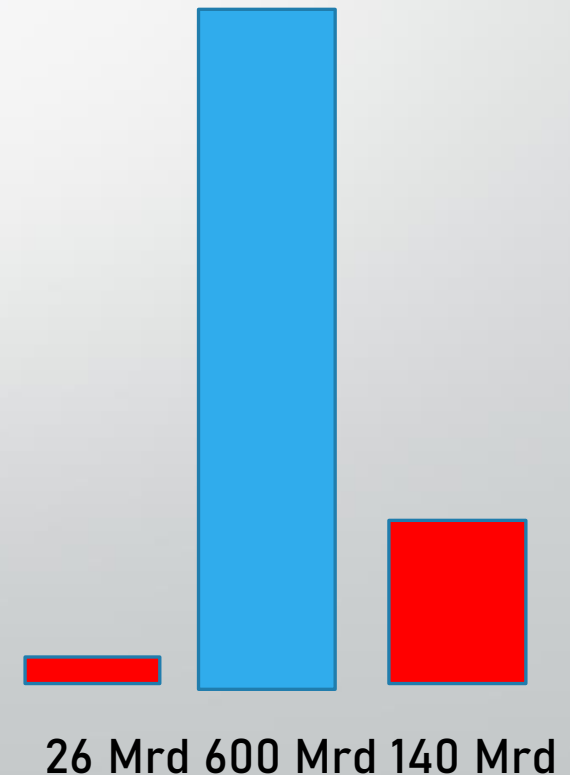
Deutscher Stromverbrauch beträgt **ca. 600 Mrd kWh pro Jahr**

10 Mio. E-Fahrzeuge (BEV) Mittelklasse mit einem Verbrauch von 20 kWh/100km und einer Jahresfahrleistung von 13.000km haben einen Stromverbrauch von **26 Mrd kWh pro Jahr**

Alle PKW km elektrisch gefahren: **140 Mrd kWh pro Jahr**

Es kann zu Netzengpässen bezüglich der Leistung kommen
(wenn viele gleichzeitig laden wollen)

- Lastmanagement
- laden mit geringer Leistung über Nacht
- oder am Arbeitsplatz



Zwei Problemstoffe in den Batterien



Lithium



Umweltschäden, Wasserverbrauch

Kobalt



Kongo prekäre Produktion, Kinderarbeit !!

Li und Kobalt werden in vielen anderen Bereichen schon lange verwendet
Li wird auch anders gefördert, Bergbau, Projekt geothermisch im Rheingraben
Batterien ohne Kobalt (LFP, Lithiumeisenphosphat) schon bei TESLA
Batterien mit Natrium statt Lithium Fa. CATL arbeitet daran



Ziele der Batterieentwicklung

- höhere Energiedichte (Wh/kg und Wh/l) → größere Reichweite, leichter
- höhere Ladeleistung → kürzere Ladezeit, Schnellladefähigkeit
- niedrigere Kosten → wichtig auch für EE-Speicher
- problemlose Materialien → kein Li, Co, Cu
- längere Lebensdauer, (Ladezyklen)
- größerer Temperaturbereich → auch bei tiefen Temperaturen
- höhere Sicherheit (Unfall, Brand)

Entwicklung der Batterietechnik

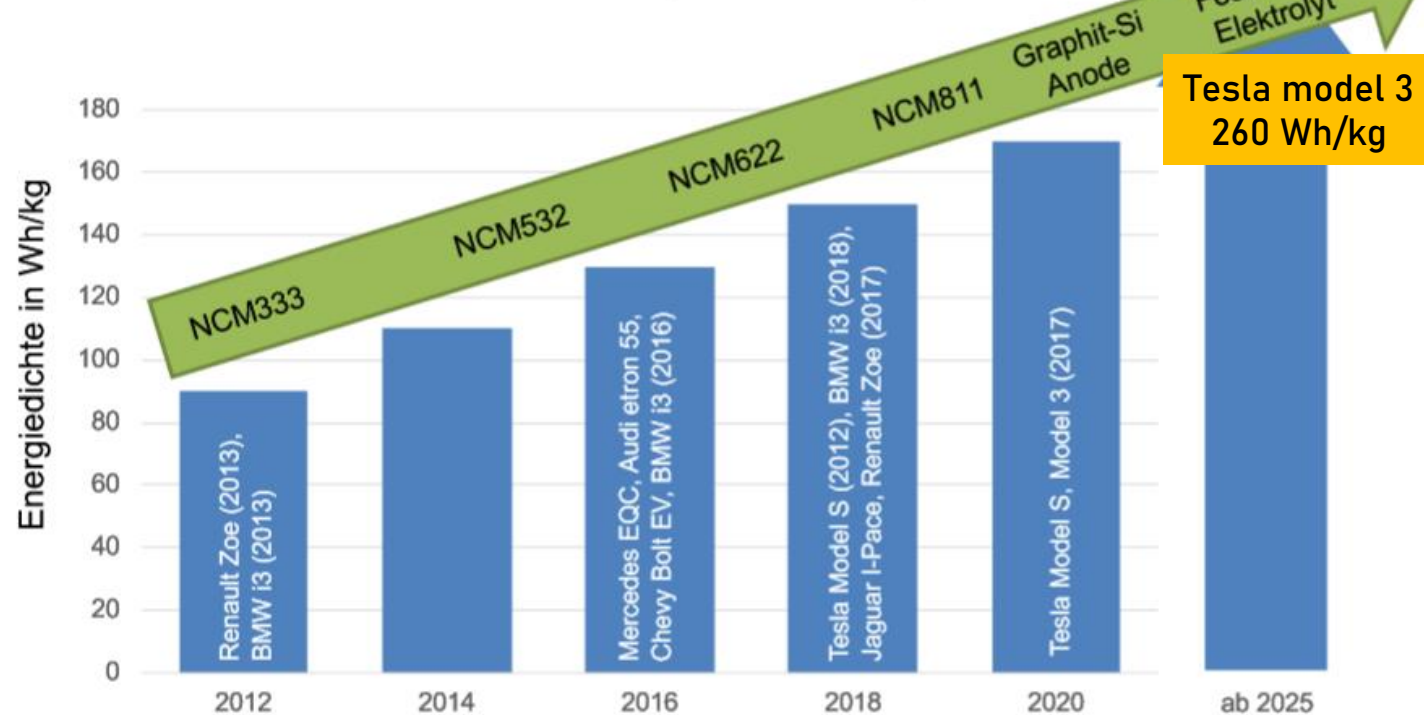


Moderne Elektrofahrzeuge
Aber das Problem mit den Rohstoffen und dem Gewicht!



Energiedichte BEV-Batterien auf Systemebene

ermittelt anhand von verfügbaren PKW in Serienproduktion



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

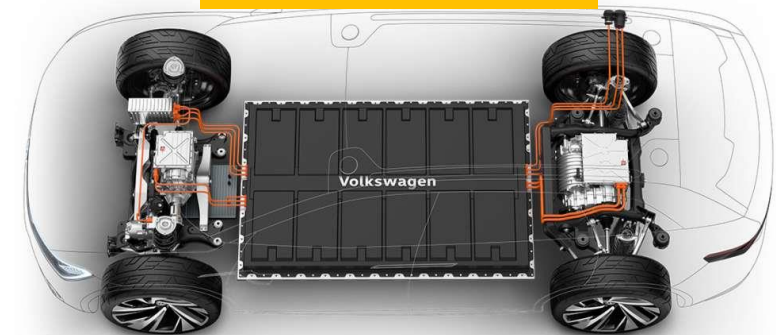
Tesla nutzt NCA-Rundzellen mit NCM811 Material, Systemgewicht 168 Wh/kg

Angekündigt 2025
Tesla 400 Wh/kg

Zelle



Batterie-System



Neuer Silizium-Akku verzehnfacht die mögliche Energiedichte

Heise Online 27.4.2018

An der Kieler Uni ist sie gebaut worden: Eine Siliziumanode mit zehnfacher Ladekapazität gegenüber heutiger Lithium-Ionen-Technik. Obendrein dauert der Ladevorgang nur wenige Minuten – mittlerweile sind 500 Ladungen und Entladungen am Institut belegt.

Regionales
Energieforum
Isny



NATRIUM-IONEN-BATTERIE VON CATL (2023)

So gut ist die Billig-Batterie ohne Lithium

Der chinesische Batterie-Spezialist CATL, mit dem Hersteller wie BMW und Mercedes zusammenarbeiten, hat für 2023 eine neue Zellchemie angekündigt, die nicht nur ohne Kobalt und Nickel, sondern auch ohne Lithium auskommt. Anfang 2022 haben die Chinesen zudem offenbar ein Patent angemeldet, das die überschaubare Energiedichte der ersten Natriumbatterie um 25 Prozent steigern soll.

NEUARTIGE AKKU-TECHNOLOGIE 04.01.2019, 15:07 Uhr

Magnesium-Luft-Batterien versprechen vierfache Reichweite für Elektroautos

Magnesium-Luft-Batterien sind ideale Stromspeicher, im Prinzip jedenfalls. Sie haben eine hohe Kapazität, der Rohstoff ist in ausreichenden Mengen vorhanden und sie können weder brennen noch explodieren. Die Lebensdauer ist jedoch gering. Das wird jetzt geändert.

INNOLITH ENERGY BATTERY VERSPRICHT AKKU FÜR 1.000 KILOMETER 05.04.2019, 09:16 Uhr

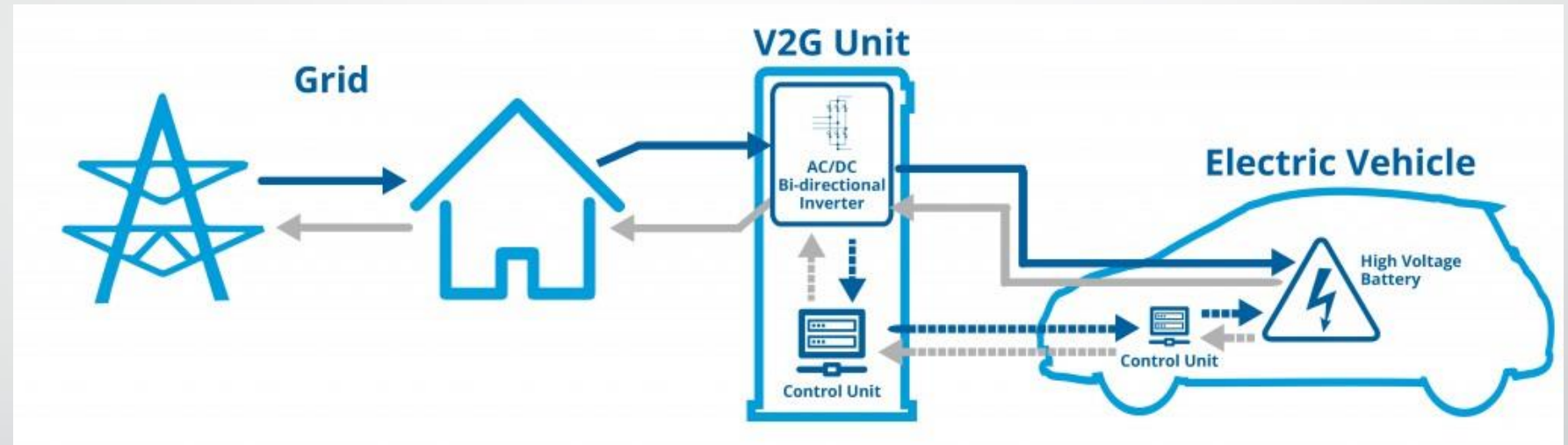
Superbatterie: Schafft Deutschland den Durchbruch für das E-Auto?

Hoffnungstechnologie Feststoffbatterie: Wann kommt die E-Auto-Revolution endlich in Serie?

Vehicle to Grid V2G



BEVs sind mit dem Stromnetz verbunden und können bidirektional arbeiten, laden und rückspeisen in das Netz (Grid)



Viele Autobatterien am Netz bilden einen **Schwarm-Stromspeicher**

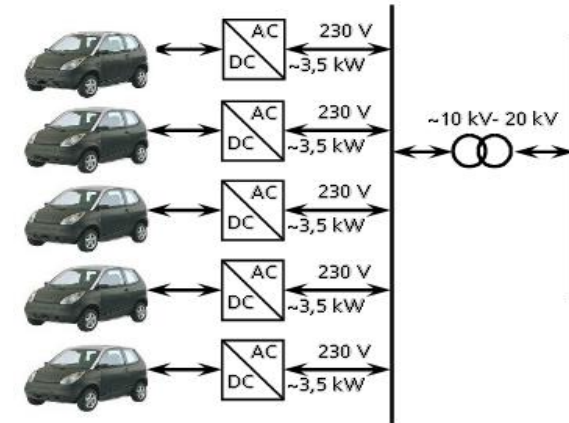
Kann netzdienlich arbeiten,
Stromüberschuss speichern (billig kaufen)
bei Mangel abgeben (teuer verkaufen)

Vehicle to Grid V2G



Beispiel

4,5 Mio BEVs stellen je eine Leistung von 3,5 kW
und eine Energie von 8,5kWh zur Verfügung



Alle installierten
Pumpspeicherwerke in Deutschland:

Speicherleistung: > 7 GW*
Kapazität: > 40 GWh*

Speicherpotenzial 4,5 Mio. EV
(10 % in D):

Speicherleistung: 13,4 GW
Kapazität: 38,3 GWh

► Bereits 10% Durchdringung mit E-Fahrzeugen kann allen deutschen Pumpspeicherwerken in Leistung und Kapazität entsprechen. Nicht in Speicherdauer + Vollaststunden

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Pumpspeicherkraftwerk>; 12.5.2012



VEHICLE-TO-GRID

Nissan

NISSAN testet die Effektivität der Vehicle-to-Grid-Technologie (V2G) in verschiedenen europäischen Städten und plant einen weiteren Einsatz auf dem gesamten Kontinent. Mit V2G könnten die Besitzer das NISSAN Elektrofahrzeug an das Stromnetz anschließen, um zu günstigen Tarifen bei geringer Nachfrage aufzuladen, und sie haben die Möglichkeit, den in der Fahrzeugbatterie gespeicherten Strom in Zeiten hoher Nachfrage wieder in das Netz einzuspeisen, um einen Gewinn zu machen.

Regionales
Energieforum
Isny



RENAULT WEITET V2G-FELDVERSUCH AUS

Elektroautos als Stromspender

Renault

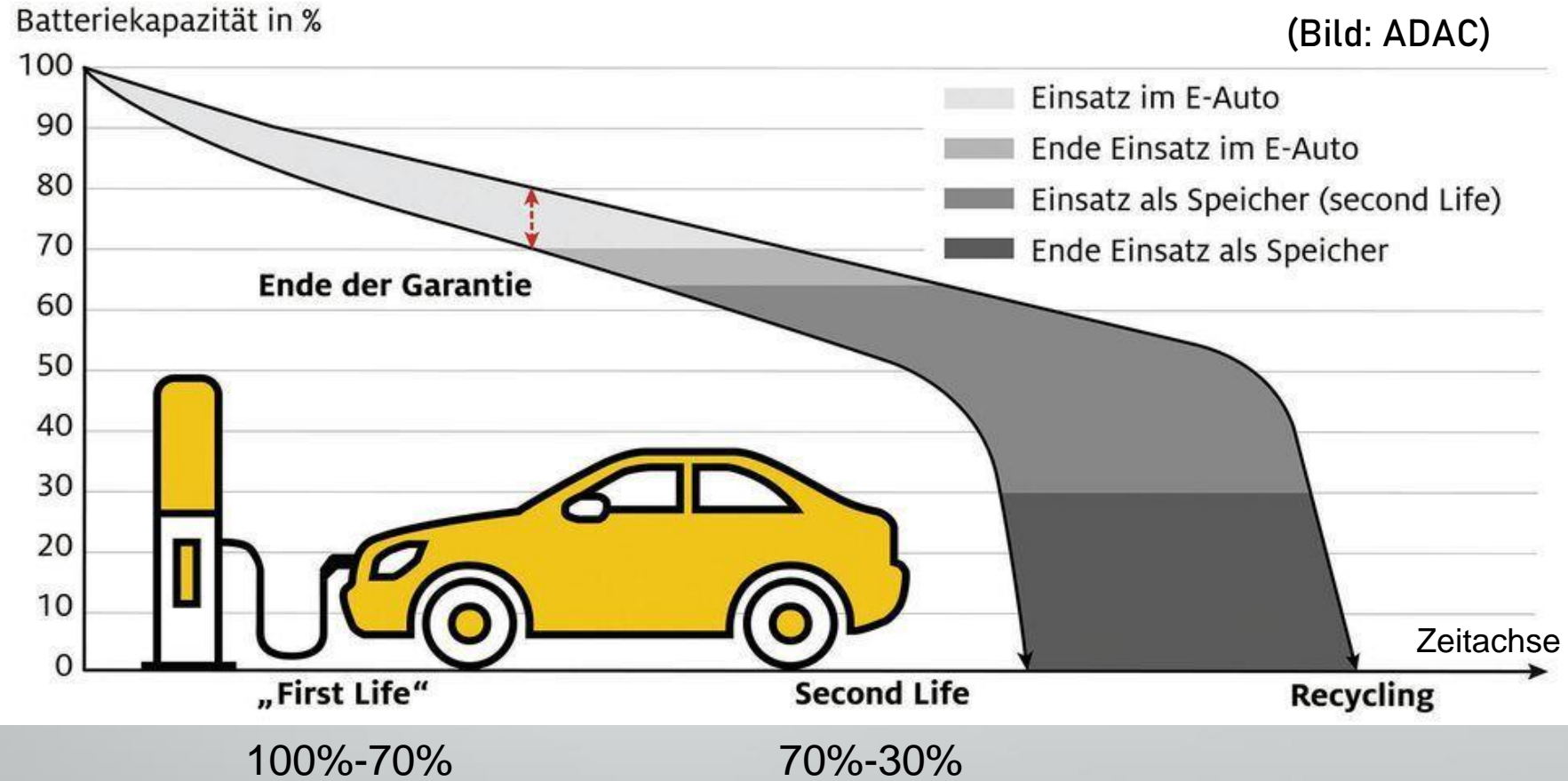
Elektroautos können mit der V2G-Technologie auch als dezentrale Stromspeicher eingesetzt werden, um das Netz zu entlasten. Einen entsprechenden Feldversuch weitet Renault jetzt mit 15 weiteren Zoe aus.

Auch an öffentlichen Ladestationen können Autos Strom abgeben, wenn die Ladepunkte entsprechend umgerüstet sind. Das wurde nach Porto Santo jetzt auch in der niederländischen Stadt Utrecht erledigt, weitere Stationen in Frankreich, Deutschland, der Schweiz, Schweden und Dänemark sollen folgen. Für die praxisnahen Versuche stellt Renault 15 V2G-fähige Renault Zoe zur Verfügung

Second life von Batterien verbessert die Klimabilanz



Lebenszyklus einer E-Auto-Batterie



Akkus mit einer geringeren (Rest-) Kapazität können zu großen Paketen gebündelt und in stationärer Form **als Energiespeicher für erneuerbare Energiequellen weiterleben.**

Second life von Batterien verbessert die Klimabilanz



Vattenfall nimmt 22-Megawatt-Speicher aus Autobatterien in Betrieb

Der Großspeicher besteht aus **500 BMW-i3-Batterien** und ist mit einem Windpark in Wales kombiniert. Er soll künftig das britische Stromnetz stabilisieren.



Herdecke: RWE nimmt großen Second Life-Speicher mit Audi-Akkus in Betrieb **aus 60 Batterien mit einer Kapazität von 4,5 MWh**

Batterie Recycling



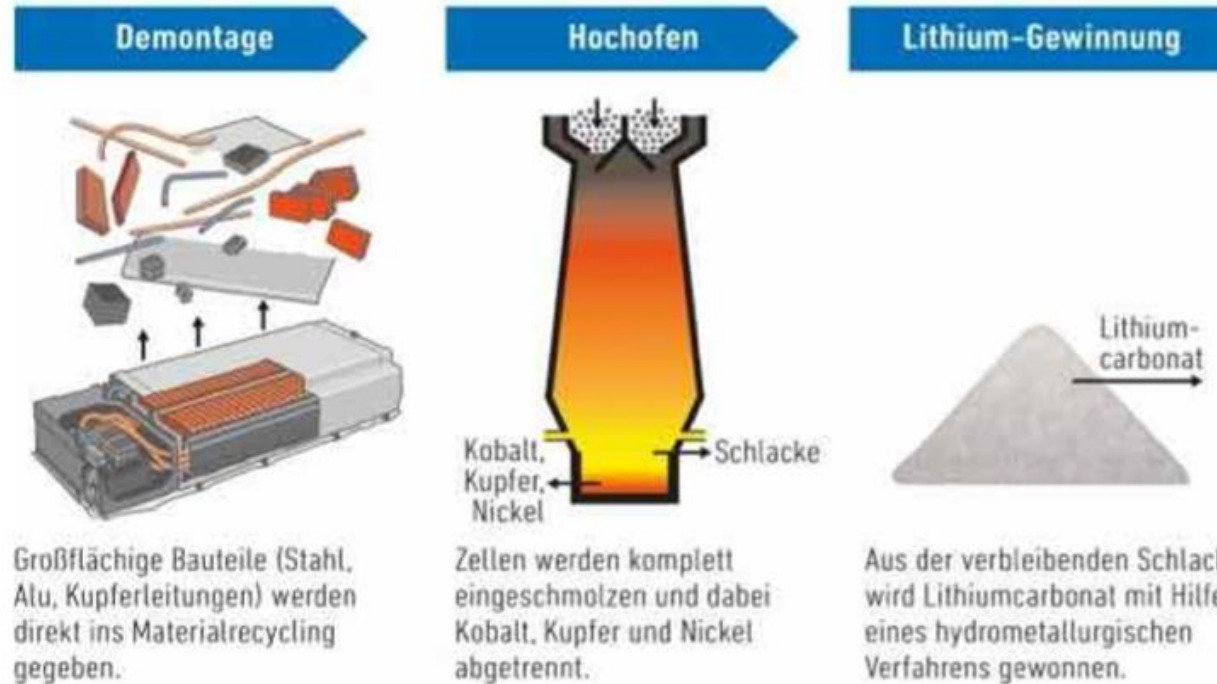
Moderne Elektrofahrzeuge

Aber das Problem mit den Rohstoffen und dem Gewicht!



Recycling

Recyclingprozess für Lithium-Ionen-Batterien



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

Quelle: FAZ-Recherche/FAZ.-Grafik Kaiser

Kobalt, Kupfer, Nickel

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

Lithium-carbonat

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



Batterie Recycling

Kobalt, Nickel, Mangan und Lithium wiederverwendet

So läuft der Recycling-Prozess

In Salzgitter entsteht die erste Pilotanlage des VW
Konzerns für Batterie-Recycling



Quelle VW

Ladetechnik



- Wechselstromladung ↔ Gleichstromladung
- Ladesäule, Wallbox, Steckdose
- Steckertypen
- Ladeleistung, Ladedauer
- Ladeinfrastruktur

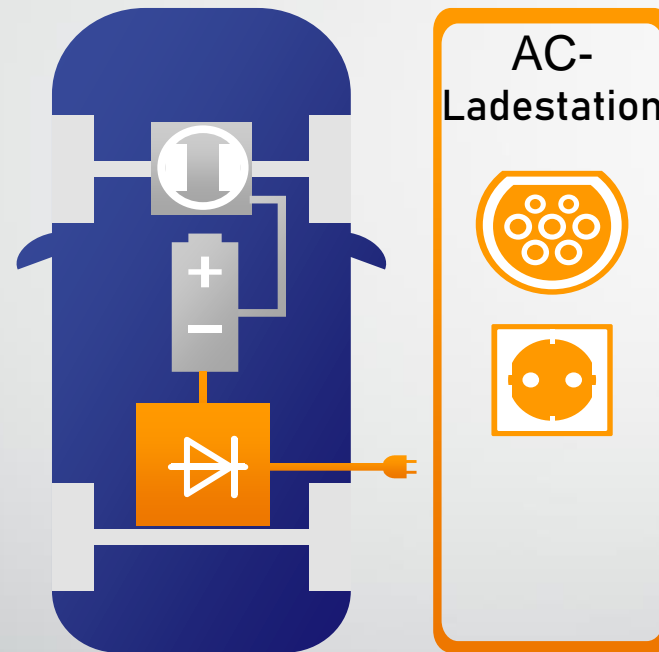




Ladetechnik

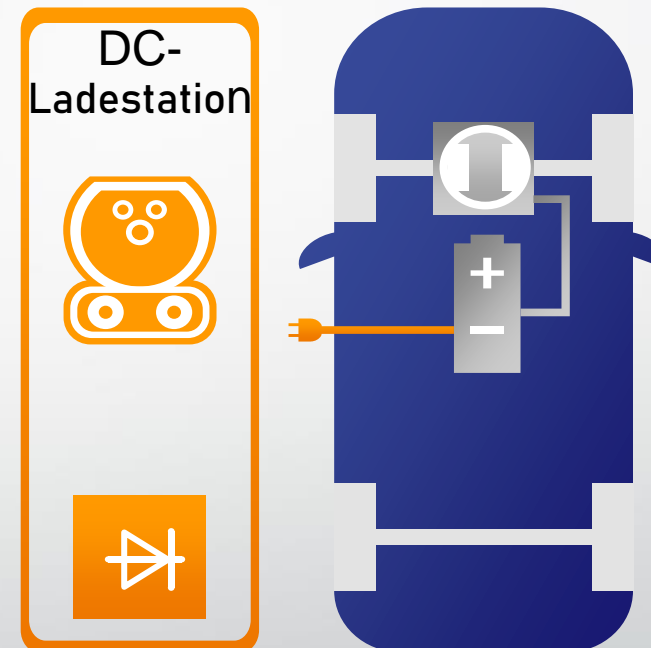
Wechselstromladung AC <> Gleichstromladung DC

AC Ladung Gleichrichter im Fahrzeug



Der Gleichrichter ist im Fahrzeug
Daher **nicht sehr große Ladeleistungen**
z.B. **max. 22 kW**, hängt vom Fahrzeug ab.
Ladestation ist einfach, im einfachsten
Fall Steckdose 2,3 kW

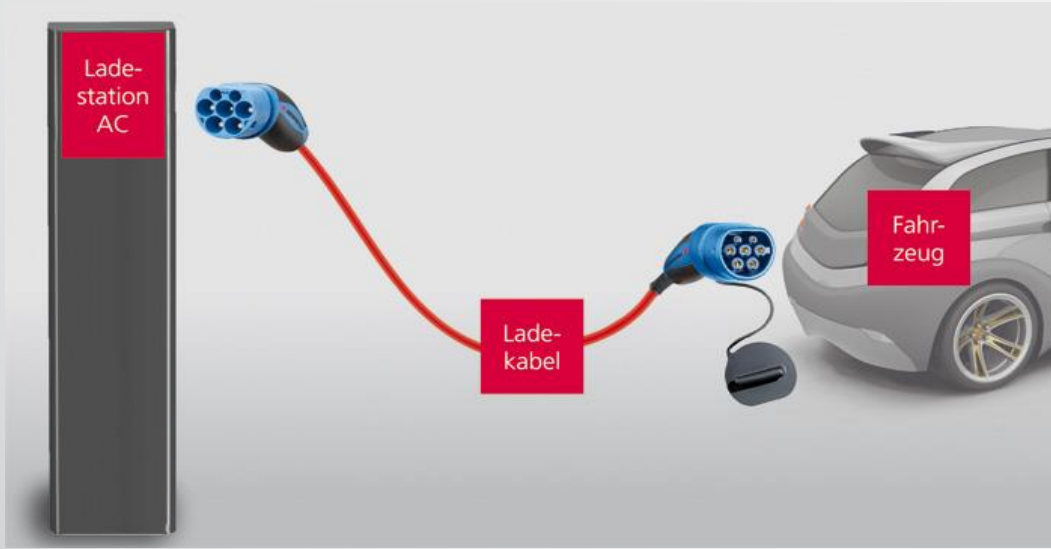
DC Ladung Gleichrichter in Ladeinfrastruktur



Der Gleichrichter ist in der Ladestation
Sehr große Ladeleistungen **bis 350kW**
und größer, **Schnellladetechnik**
Ladestation ist aufwendig und teuer

Bilder von EnBW

AC-Ladung



Öffentliche Ladestation typisch bis 22kW

Typ 2 Stecker Standard



Private Ladestation
Wallbox z.B. bis 11kW
Garage, Hauswand...
Viele Hersteller

AC-Ladung privat ohne Wallbox



Ladesteckvorrichtung
gemäß IEC 62196-2

CEE 16 A einphasig, bis 32 A
dreiphasig, SCHUKO® oder
andere länderspezifische
Steckvorrichtungen



Die Kommunikation zwischen Elektroauto
und Ladeanschluss übernimmt dabei die **ICCB**
(**In-Cable Control Box**).

bis zu 22 kW

Adapter



einphasig
bis 2,3kW
230V, 10A



einphasig
bis 3,7kW
230V, 16A



NRGkick



dreiphasig
bis 11kW
16 A

Neu !!!!!!!

Regionales
Energieforum
Isny



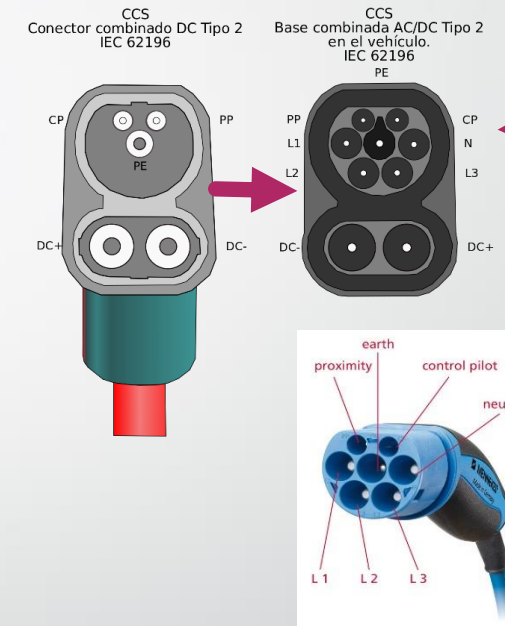
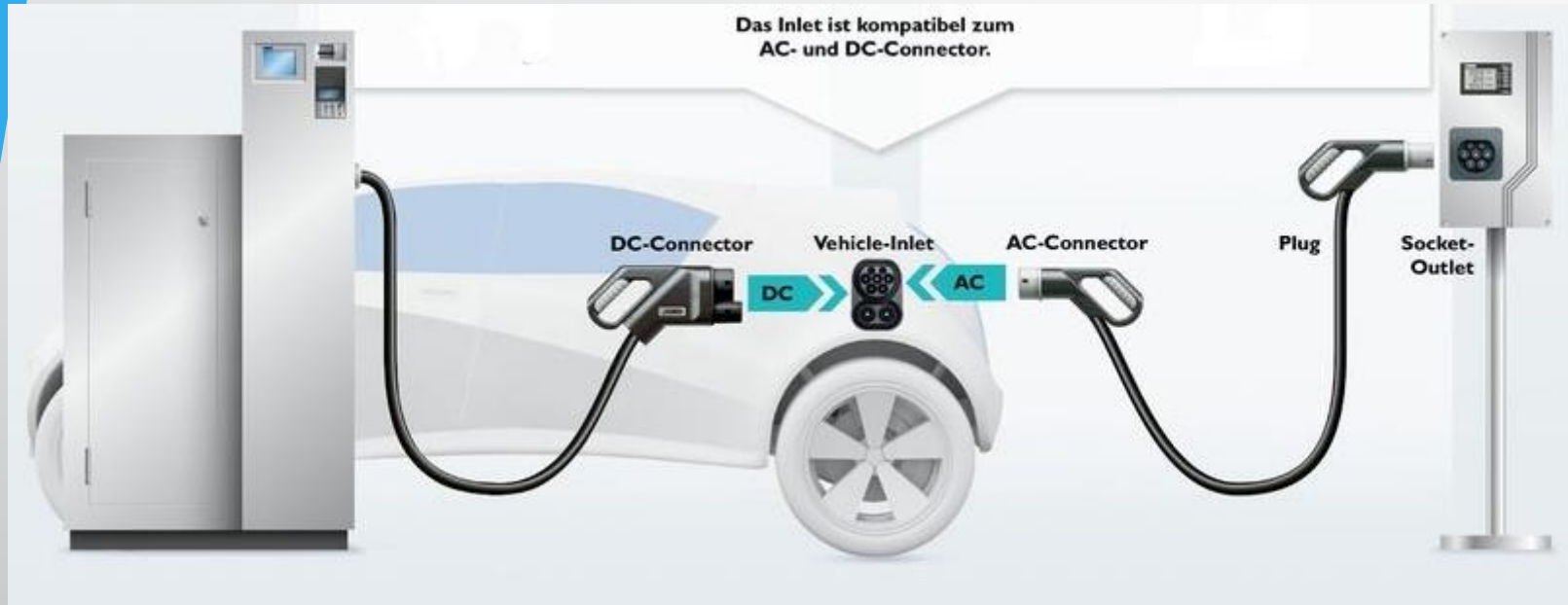
Lademöglichkeit in Mehrfamilienhäusern mit Eigentumswohnungen und Mietwohnungen

Das Bundesjustizministerium hat die Reform des Wohnungseigentumsgesetzes (WEG) eingeleitet.

- Sowohl **Wohnungseigentümer** als auch **Mieter** sollen ein Recht auf den Einbau von Ladeinfrastruktur haben.
- Der Gesetzgeber will ihnen einen **Rechtsanspruch** darauf einräumen – und zwar sowohl auf die Ersteinrichtung als auch auf Maßnahmen zur Verbesserung oder Erhaltung einer bereits vorhandenen Lademöglichkeit.
- Wohnungseigentümer etwa sollen in Zukunft **nicht länger die Zustimmung aller Miteigentümer** einholen müssen, wenn sie an ihrem Stellplatz eine Wallbox für ihr E-Auto installieren wollen.



Combined Charging System (CCS) AC und/oder DC Ladung



Das Combined Charging System (CCS) ist ein kombiniertes Ladestecksystem für das Laden von Elektrofahrzeugen mit **Wechselstrom (AC)** und **Gleichstrom (DC)**. Über das Fahrzeug-Inlet kann man sowohl mit AC- als auch mit DC-Fahrzeug-Ladesteckern laden:

- Konventionelles AC-Laden über Nacht in der Garage oder an Parkplätzen bei längerer Parkdauer
- Schnelles DC-Laden in wenigen Minuten an Schnellladestationen



CHAdeMO Ladesystem



Bei japanischen Fahrzeugen wie Nissan Leaf

Gleichstromladung hoher Leistung

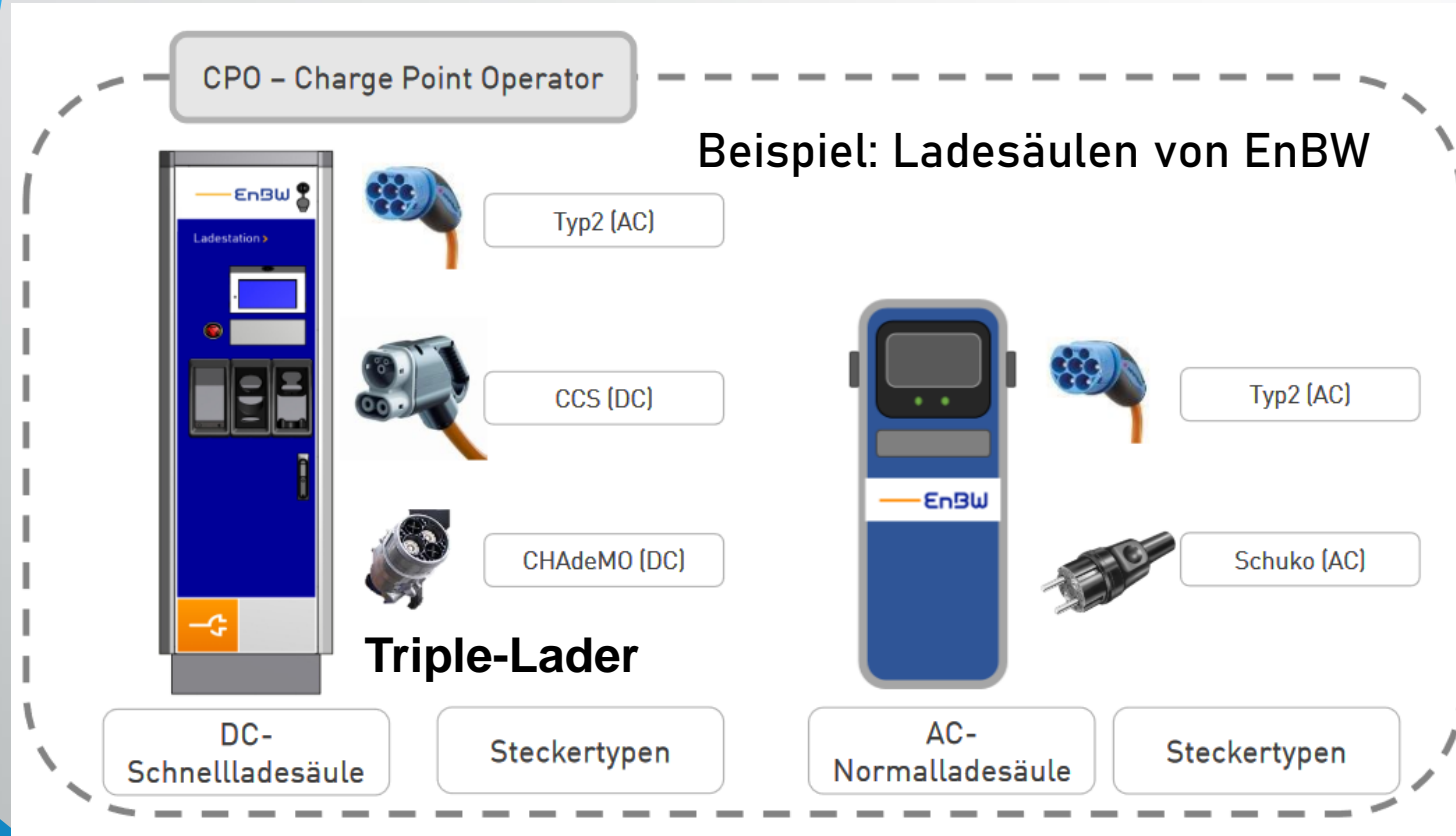
Kann bidirektional arbeiten, also Strom ins Netz rückspeisen V2G



CHAdeMO
Gleichstromladung
zwei getrennte Buchsen

Typ 2
Wechselstromladung

Beispiel Ladepunkte



Fast 700 Lademöglichkeiten entstehen 2020 in den Städten Dortmund, Iserlohn und Schwerte. Dazu rüsten die lokalen Stadtwerke Straßenlaternen um. Damit können auch Besitzer eines Elektroautos ohne eigene Garage leichter als bisher ihre Akkus füllen.
Leistung 3,4kW

Laden
Auf der Langstrecke – so nicht !



Bildquelle: Handelsblatt

Regionales
Energieforum
Isny



heute

Zukunft



Laden
Auf der Langstrecke – sondern so!



Bildquelle: Tesla Motors

Das Laden an der Autobahn wird nicht mehr an einzelnen Zapfsäulen stattfinden, neben denen man steht und wartet, sondern an Parkplätzen. Während des Ladevorgangs kann man im Shop einkaufen, Essen oder sich entspannen.

Während des Shoppens Strom tanken

IKEA, Aldi, Lidl, Kaufland & Co.
und auch andere Märkte machen
es den E-Autofahrern leicht.



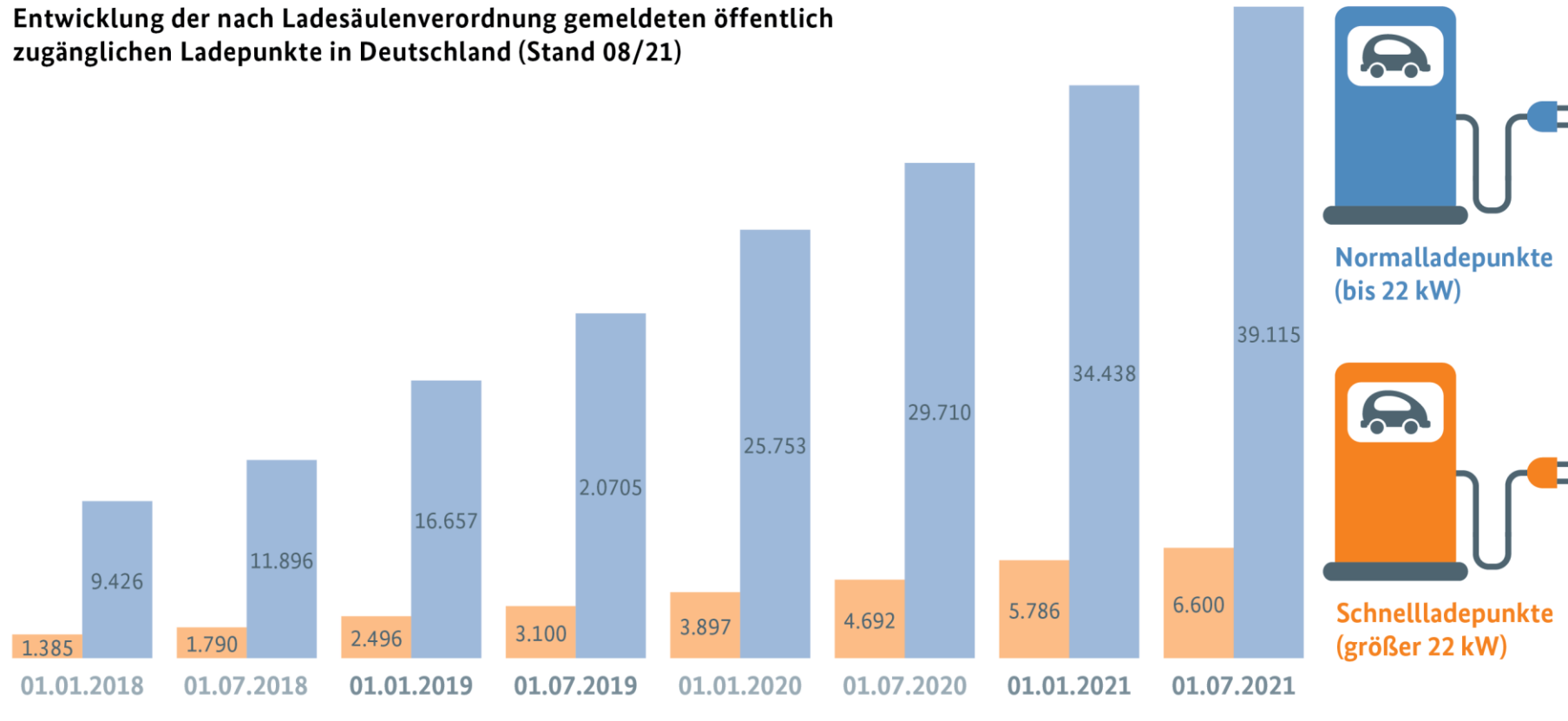
Dach mit 38 kW Solaranlage

EnBW Ladepark an der Autobahn A8 mit 8 Schnellladepunkten

Kann mit bis zu **300 kW Ladeleistung 100 Kilometer in fünf Minuten nachladen**



Entwicklung der nach Ladesäulenverordnung gemeldeten öffentlich zugänglichen Ladepunkte in Deutschland (Stand 08/21)



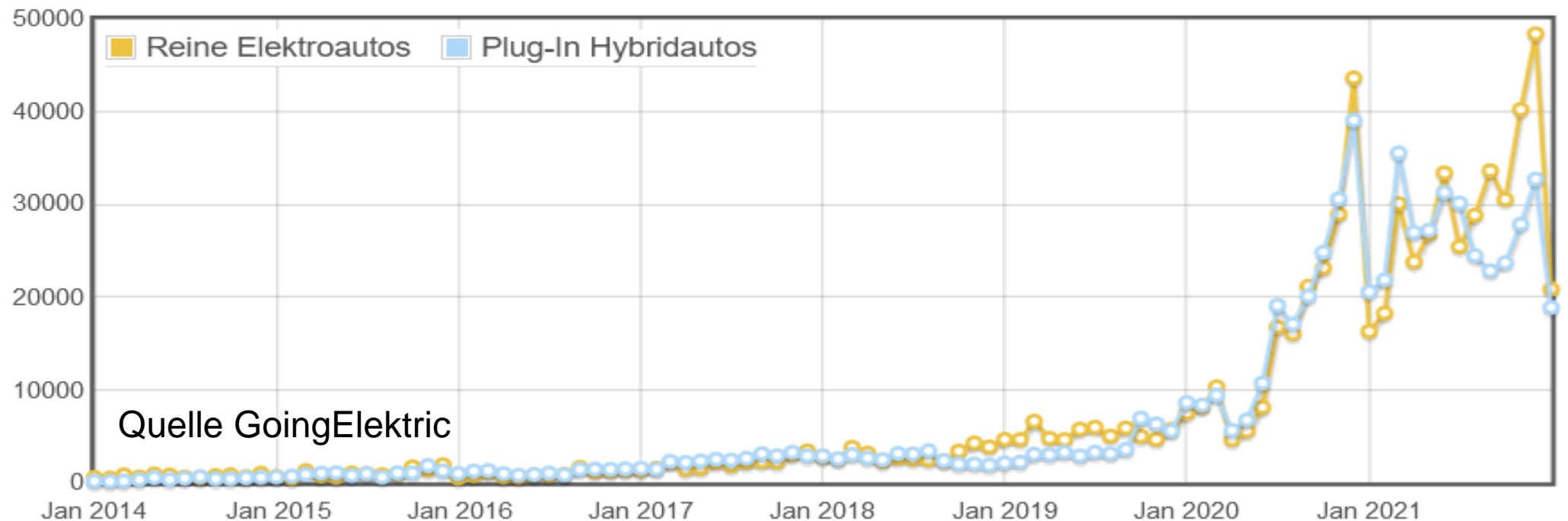
Bundesnetzagentur meldet am **1. Februar 2022** in Betrieb **47.111 Normalladepunkte** und **8.094 Schnellladepunkte**



Zulassungszahlen von Elektroautos und Plug-in Hybriden

Reine Elektroautos

Plug-In Hybridautos



2021 Zulassung von 2,6 Millionen **Autos**,
davon rund 356.000 reine **Elektroautos** (BEVs). (auto motor sport)



Danke für die Aufmerksamkeit

**Die Präsentation und weitere Informationen
finden Sie auf der Homepage von REFI**

<http://www.energieforum-isny.de/>