

# *E-Mobilität*

Wie lade ich mein E-Auto, wie weit komme ich und was kostet es?

# Inhalt

- Begriffsdefinitionen
- Verbrauch / Batteriegröße / Reichweite
- Arten des Ladens
- Stecker-Typen
- Ladekosten – Übersicht
- Laden unterwegs
- Laden zuhause: Ladezeiten / Wallboxgröße
- Laden zuhause: Energieflüsse (*PV Anlage – Batterie – Netz – Haus – Wallbox – E-Auto*)
- Laden zuhause: Ladestrategien mit PV Anlage und Speicher
- Wallbox-Anforderungen
- Gesamtkosten-Vergleich: E-Auto (ID4) – Verbrenner (Tiguan)
- Langzeiterfahrung
- Bi-direktionales Laden
- Zukünftige Entwicklungen (Neueste Batterie-Entwicklungen, Vergleich: Batterie – H2 – E-Fuels)
- Zusammenfassung

# Begriffe

## ➤ Strom/Spannung/Leistung/Energie

- Stromstärke: **Ampere** [A]
- Spannung: **Volt** [V]
- Leistung: **Watt**, Kilowatt, Megawatt [W, kW, MW], Berechnung: Strom \* Spannung
- Energie: Wattstunde, **Kilowattstunde** [kWh], Berechnung: Leistung \* Zeit
- Beispiel: 3 Phasen \* 230 V \* 16 A = 11 kW (typische Leistung einer Wallbox)

## ➤ Wechselstrom/Gleichstrom

- **AC: Wechselstrom** (typ. 50 Hz) – engl. **A**lternating **C**urrent
- **DC: Gleichstrom** – engl. **D**irect **C**urrent

## ➤ **AC⚡DC** Hardrock-Band aus den 70er Jahren: „Highway to Hell“ – gilt nicht für E-Mobilität 😊

16 kWh entspricht  
ca. 1,6 Liter Diesel

# Verbrauch / Batteriegröße / Reichweite

## ➤ Verbrauch:

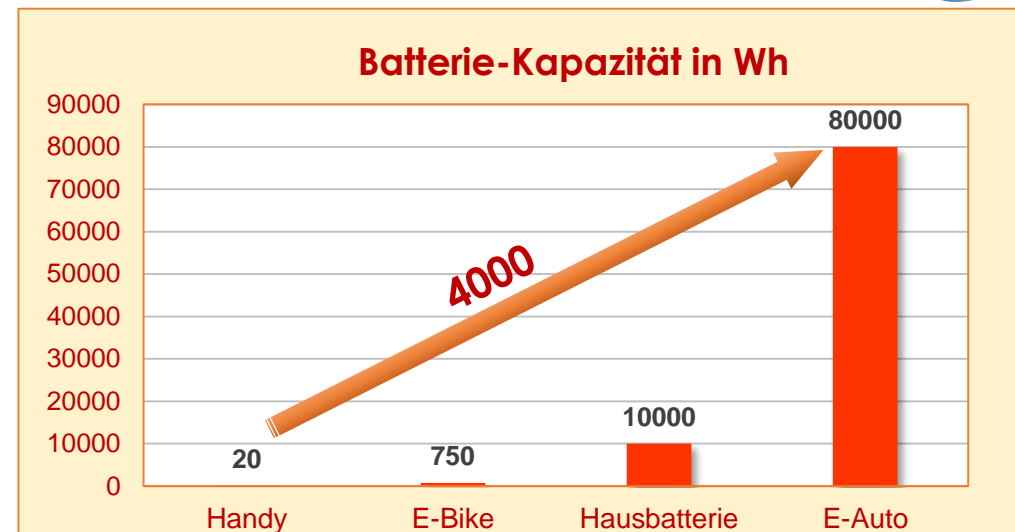
- Mittlerer Verbrauch: **16 kWh/100 km** (Erfahrungswert ID.4)
- Jahreszeit: Heizung braucht viel Energie (~ 20 kWh/100 km)
- Fahrweise: Autobahn braucht viel Energie (~ 20 kWh/100 km)

## ➤ Realistisch nutzbare Kapazität

- Standard Hersteller-Empfehlung:
  - nicht über 80% aufladen, direkt vor einer Fahrt aber 100% möglich
  - nicht länger bei 10% stehen lassen (besonders bei kalten Temperaturen)
- Realistisch nutzbare Kapazität ca. 90 % (10% ... 100%)
- Normalbetrieb ca. 70% (10% ... 80%)

## ➤ Reichweite (16 .. 20 kWh/100km)

- Batteriekapazität: **60 kWh**
  - Sommer, 80% Nutzung: 300 km
  - Winter, 70% Nutzung: 210 km
- Batteriekapazität: **80 kWh**
  - Sommer, 80% Nutzung: 400 km
  - Winter, 70% Nutzung: 280 km



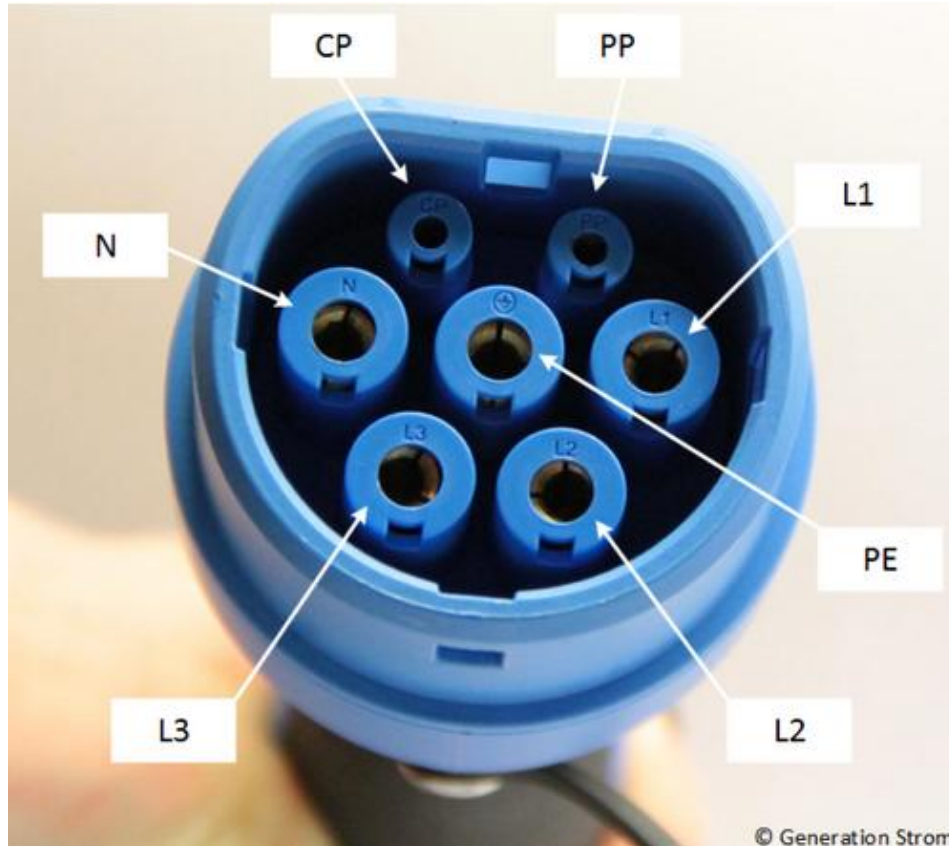
Batterie-Nutzung		100%		80%		70%	
		16	20	16	20	16	20
Batteriegröße (kWh)	30	188	150	150	120	131	105
	40	250	200	200	160	175	140
	50	313	250	250	200	219	175
	60	375	300	300	240	263	210
	70	438	350	350	280	306	245
	80	500	400	400	320	350	280
	90	563	450	450	360	394	315
	100	625	500	500	400	438	350

## Arten des Ladens

- Es gibt grundsätzlich zwei Arten von Strom, die zum Laden von Elektrofahrzeugen verwendet werden können, nämlich Wechselstrom und Gleichstrom.
- Der Strom aus dem Stromnetz ist immer Wechselstrom. Eine E-Autobatterie kann jedoch nur Gleichstrom aufnehmen. Das heißt, dass der Wechselstrom immer umgewandelt werden muss.
- Der Hauptunterschied zwischen AC- und DC-Laden ist der Ort, an dem der Wechselstrom umgewandelt wird. Er kann entweder außerhalb des Autos oder aber im Auto selbst umgewandelt werden.
- **DC-Laden (Gleichstrom):  $\geq 50$  kW**
  - Bei DC-Ladegeräten befindet sich der Stromwandler in der Ladestation selbst. Daher ist das DC-Ladegerät auch größer, aber gleichzeitig auch schneller beim Laden.
- **AC-Laden (Wechselstrom): 1,4 bis 22 kW (zuhause) oder max. 44 kW (Ladesäule)**
  - Beim AC-Laden hingegen beginnt der Wandlungsprozess erst im Auto. Elektrofahrzeuge haben einen eingebauten Umrichter, der als Bordlader bezeichnet wird. Er wandelt Wechselstrom in Gleichstrom um. Nach der Umwandlung des Stroms wird die Batterie des Elektroautos mit Gleichstrom aufgeladen.
- **Ladesäule:** Gerät mit einem oder mehreren **Ladepunkten** (Kabeln/Steckern), Aufteilung der Leistung
- **Wallbox:** Ladegerät für zu Hause (typischerweise 11 oder 22 kW)

# Stecker-Typen (Europa)

AC-Laden: Typ 2 (früher: „Mennekes“)



DC-Laden: CCS (Combined Charging System)

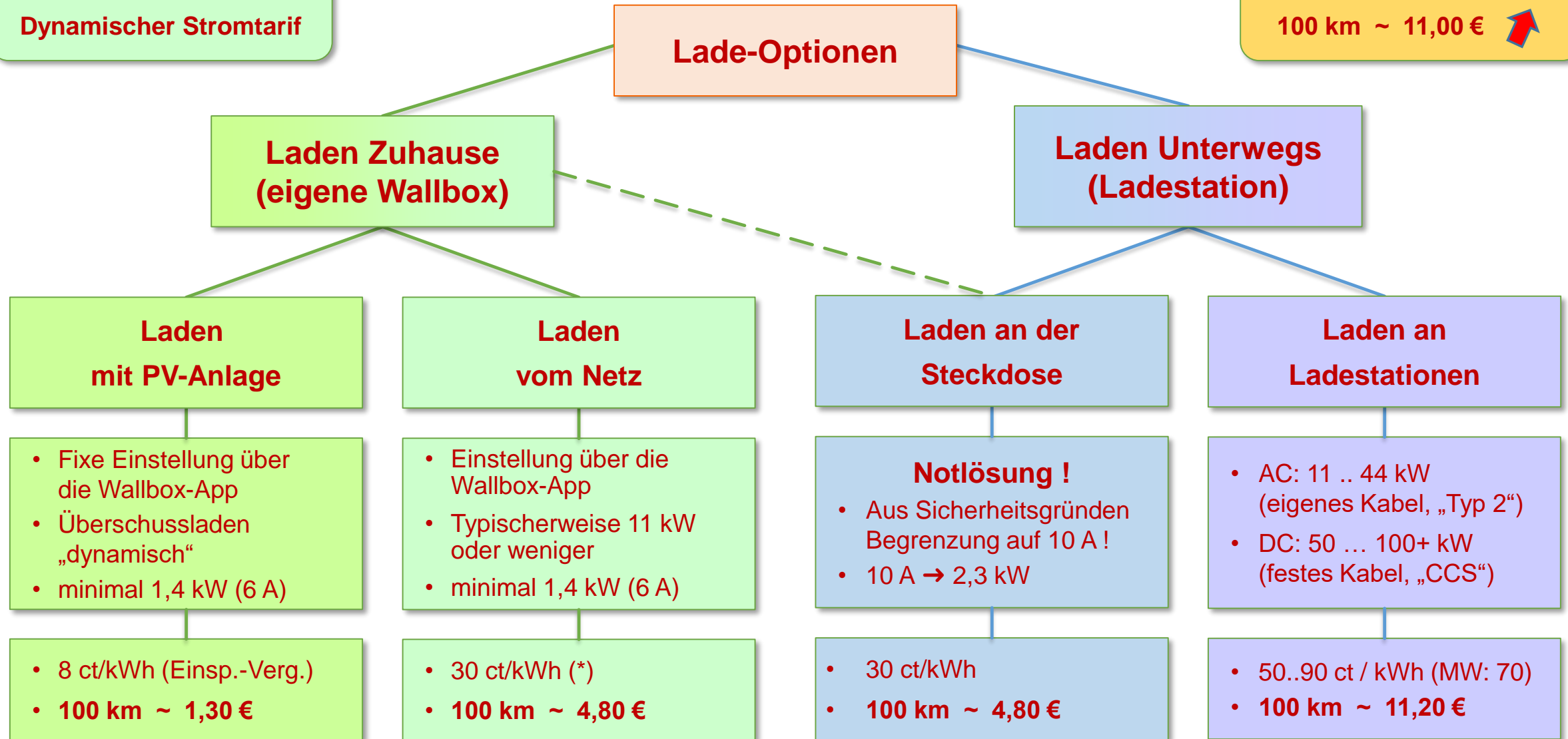


CHAdeMO („Charge de Move“): Nissan, Mitsubishi, ... (Auslaufmodell)

# Ladekosten – Übersicht

(\*) Option:  
Dynamischer Stromtarif

Kraftstoff im Vergleich:  
100 km ~ 11,00 €





# Laden unterwegs

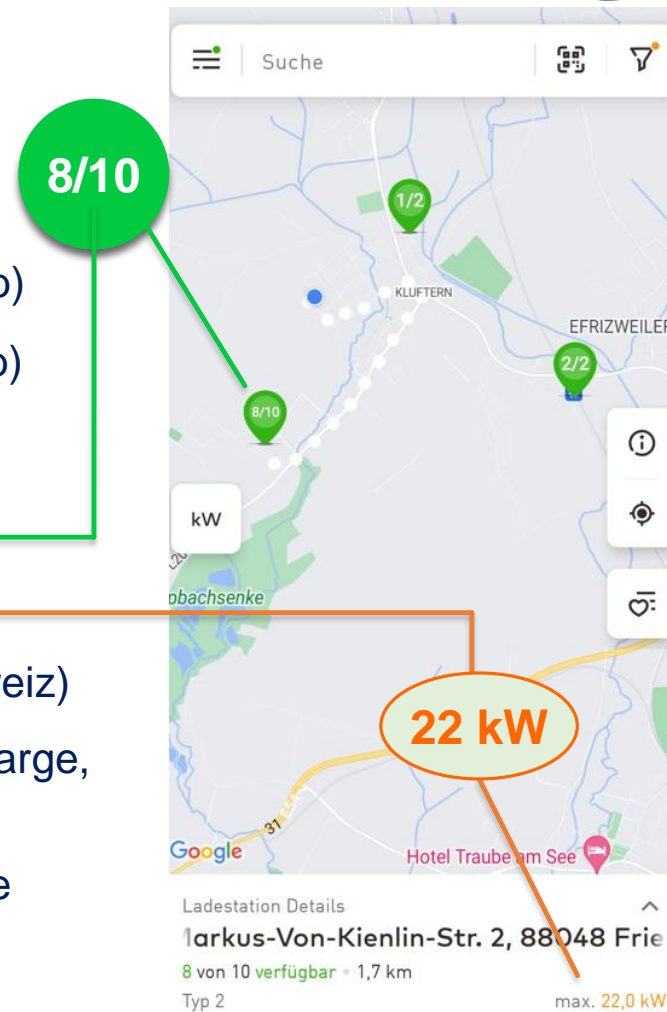
## ➤ Laden Unterwegs Ladezeiten (50 kWh ~ 300 km)

- bei 22 kW (AC) → **2,3 Stunden**
- bei 50 kW (DC) → **1,0 Stunde**
- bei 100 kW (DC) → **30 Minuten** (hängt vom Ladezustand/Batterie-Temperatur ab)
- bei 250 kW (DC) → **12 Minuten** (hängt vom Ladezustand/Batterie-Temperatur ab)

## ➤ Ladestationen Finden / Freischalten / Bezahlen

- App zeigt Anzahl der verfügbaren/belegten Ladestationen an
- App zeigt verfügbare Leistung der Ladestation an (nicht Ladepunkt !)
- App und/oder Chipkarte (hat Vorteile, z.B. bei Problemen mit Roaming in der Schweiz)
- Viele verschiedene Anbieter: ENBW/Mobility+, E.ON Drive easy, Ionity, Shell Recharge, Aral Pulse, VW Elli, Tesla, ... → **demnächst auch mit Giro-/Kreditkarte**
- Neue Autos der Oberklasse identifizieren sich bereits selbständig an der Ladesäule (Auto und Bezahlkonto müssen vorher einmalig beim Anbieter registriert werden)
- Achtung: **Ladetarif nach Minuten** → „Abzocke“

## ➤ Empfehlung: Für längere Fahrstrecken empfiehlt es sich Ladestopps vorher einzuplanen (Kaffee, ...)





# Laden zuhause: Ladezeiten / Wallboxgröße

## ➤ Laden Zuhause (50 kWh ~ 300 km)

- Strom von der PV Anlage (10 kW Peak)
  - 3...7 kW (Sonne im Winter ... Sonne im Sommer) – je nach Ausrichtung der PV Module
  - bei 3 kW → **17 Stunden**
  - bei 5 kW → **10 Stunden**
  - bei 7 kW → **7 Stunden**
  - bei 10 kW → **5 Stunden**
- Strom vom Netz
  - in der Regel maximal 11 kW (3 Phasen)
  - bei 11 kW → **4,5 Stunden**

## ➤ Größe der Wallbox

- 11 kW Wallbox reicht normalerweise vollkommen aus
- PV-Anlage kann in der Regel deutlich weniger als 11 kW Leistung erzeugen
- Laden von Netz – 11 kW reicht aus (typischerweise nachts, Batterie ist morgens voll)

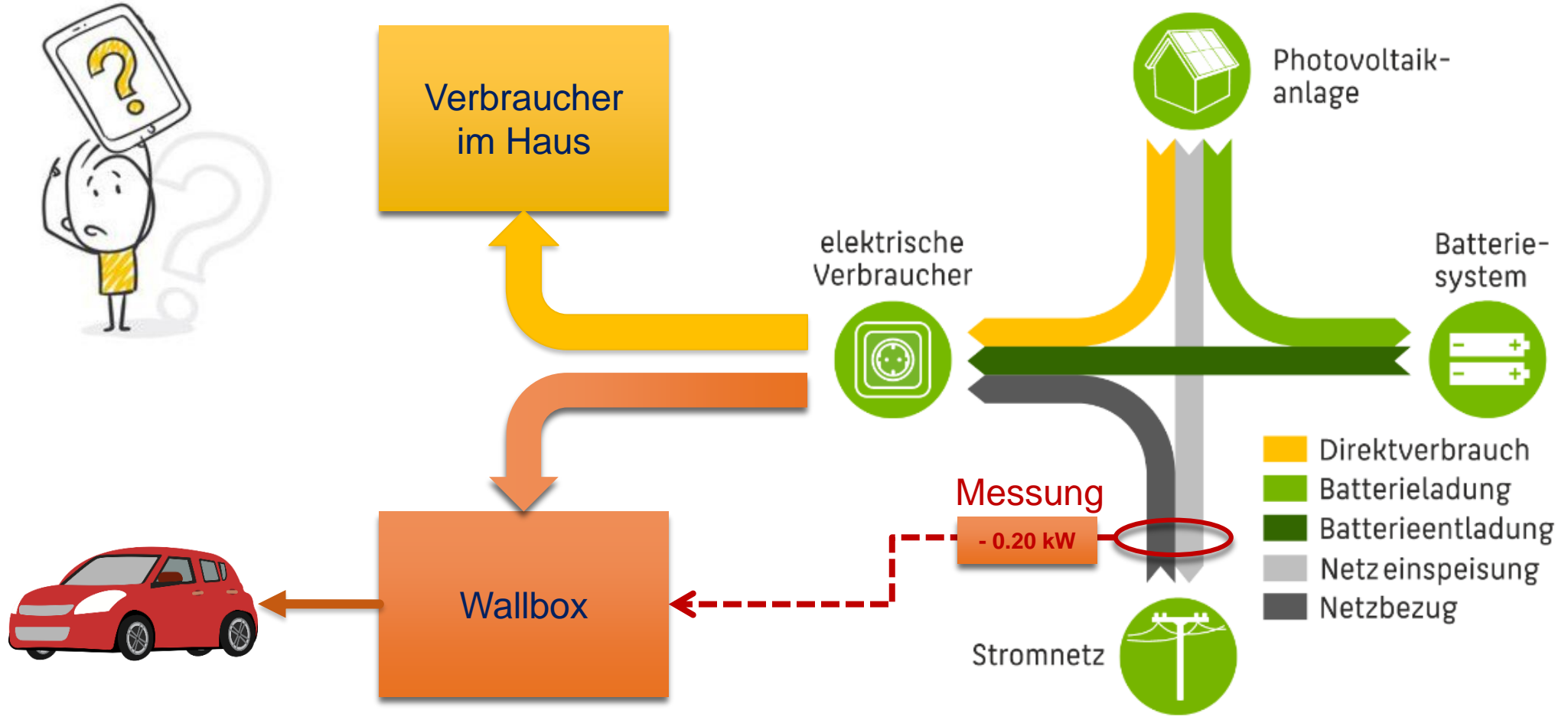
## ➤ Dynamischer Strompreis: Ist nicht unbedingt billiger → intelligente Wallbox !

### „Dunkelflaute“

- Max. Strompreis bei 111 ct/kWh
- Nachts: 10 ct/kWh



# Energieflüsse: PV Anlage – Batterie – Netz – Haus – Wallbox – E-Auto



**Empfehlung: Sensor-Kabel bzw. LAN-Kabel vom Zählerschrank zur Wallbox vorsehen**

## ➤ **Priorität – Batteriespeicher**

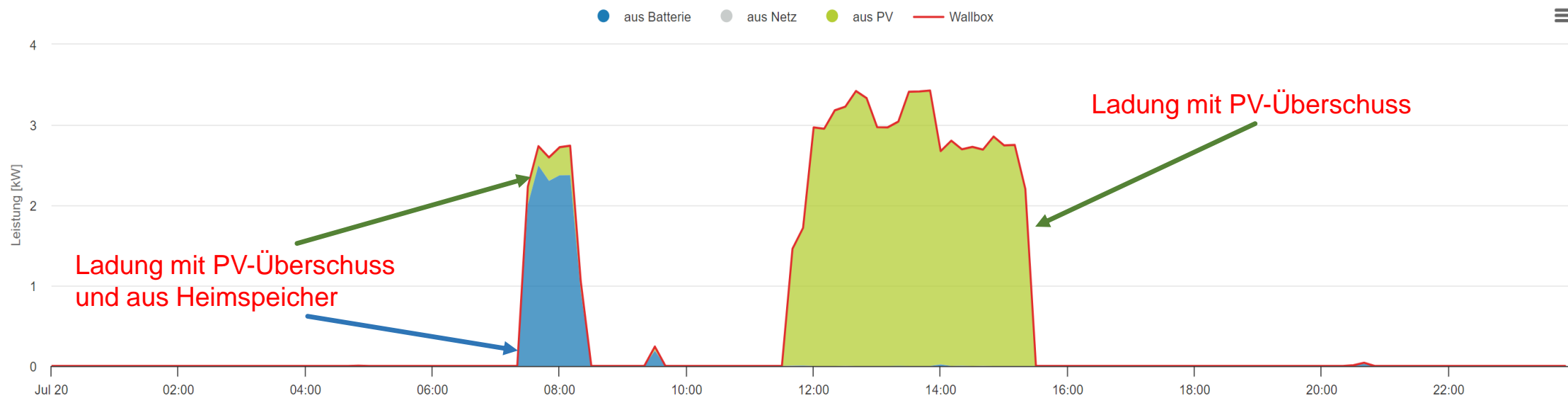
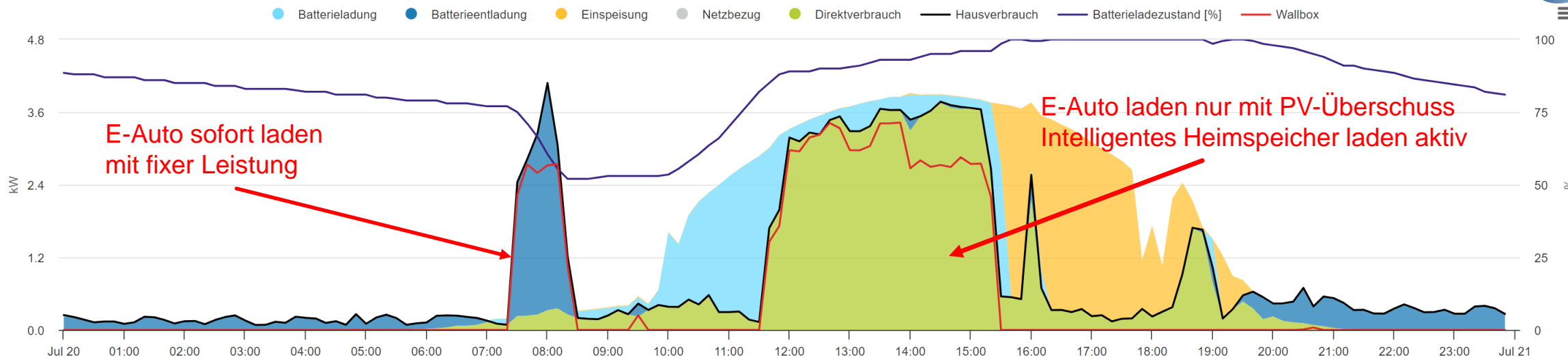
- Der Batteriespeicher wird durch den Wechselrichter immer geladen, wenn die PV-Anlage mehr Strom produziert als verbraucht wird, d.h. ein „Überschuss“ vorhanden ist.
- Der Batteriespeicher wird entladen, wenn mehr Strom verbraucht als produziert wird.
- Das E-Auto bzw. die Wallbox ist ein Verbraucher wie jeder andere.

## ➤ **Zusammenspiel Wallbox/E-Auto mit Batteriespeicher**

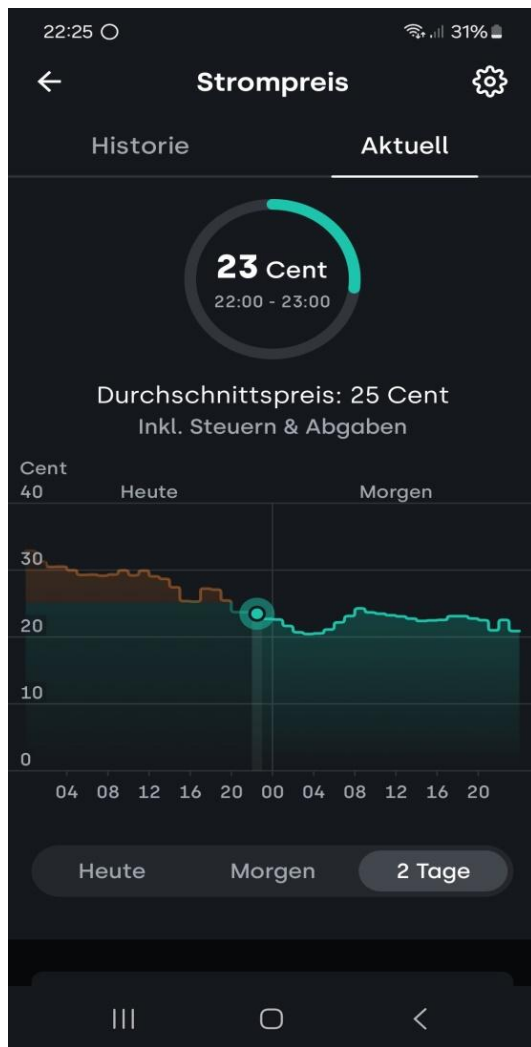
- Das Umladen des Batteriespeichers ins E-Auto ist im Prinzip nicht sinnvoll (kein Gewinn, Verluste, unnütze Ladezyklen)
- Das Umladen kann aber kurzfristig zweckmäßig sein um Eigenverbrauch zu maximieren bzw. Einspeisung zu minimieren
- Beispiel:
  - PV-Anlage hat Batteriespeicher (10 kWh) vollständig aufgeladen (vormittags)
  - eine Stunde Zeit zum Laden zuhause (mittags): Laden mit 11 kW (6 kW von PV Anlage und 5 kW aus Batteriespeicher)
  - Ladezustand Batteriespeicher: 5 kWh, kann von der PV Anlage wieder aufgeladen werden (nachmittags)

- **Strategie 1: Laden des E-Autos mit fixer Leistung (Wallbox-App)**
  - **Batteriespeicher leer: Laden vom Netz**
    - typisch für Laden nachts, wenn man morgens mit voller Batterie wegfahren möchte
  - **Batteriespeicher halbvoll: Laden mit PV und/oder Batteriespeicher**
    - Batteriespeicher puffert PV-Ertragseinbrüche oder Verbrauchsschwankungen ab
    - Aufteilung der Leistung zum Laden der Hausbatterie und des E-Autos
- **Strategie 2: PV-Überschussladen (Batteriespeicher voll)**
  - Controller regelt die Wallbox-Ladeleistung nach dem verfügbaren PV-Überschuss
  - Anpassung der Ladeleistung an wechselnden PV-Ertrag und Verbrauchsschwankungen
  - **Wichtig:**
    - Messung der Leistung am Hausanschluss notwendig („Energy Controller/Manager“ im Zählerschrank)
    - Kommunikation des Controllers mit Wallbox über separates Datenkabel, WLAN oder Funk
- **Strategie 3: Laden mit Dynamischem Stromtarif**
  - Ladezeit über Auto- oder Wallbox-App manuell einstellen um Billigtarif zu nutzen
  - Laden mit intelligenter Wallbox automatisch – abhängig vom Strompreis (Limit einstellbar)

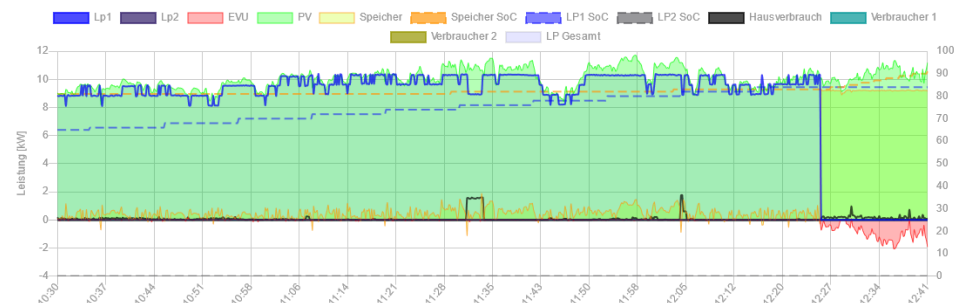
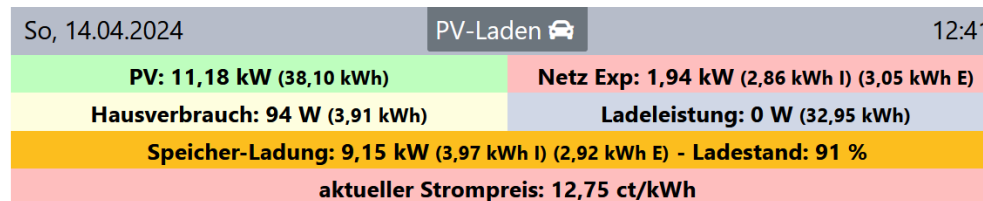
# Laden Zuhause: PV Erzeugung und Lade-Modi



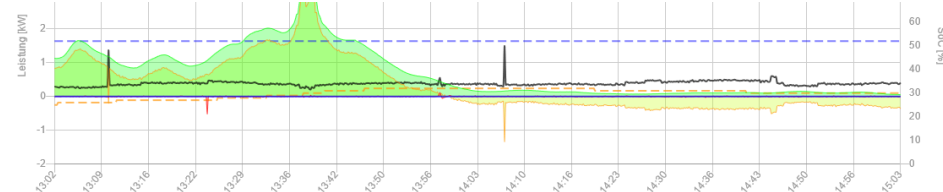
# Laden Zuhause: Dynamischer Stromtarif



Screenshot Tibber-App 05.01.2025

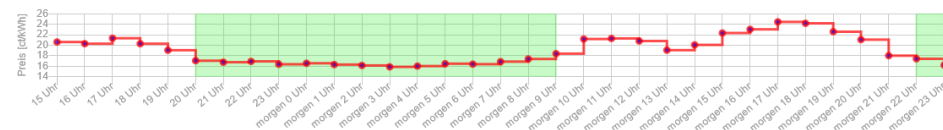


Ladepunkt	Ladeparameter	geladen	SoC
<b>Garage</b>	0 W / 6 A	47,8 kWh / 213,6 km	84 %



Ladepunkt	Ladeparameter	geladen	SoC
<b>Garage</b>	0 W / 0 A	9,4 kWh / 40,9 km	52 %

## preisbasiertes Laden



max. Preis:  17,9 ct/kWh

Preis

# Wallbox-Anforderungen



- Integrierte (automatische) 1-/3-Phasen Umschaltung
  - Bei PV Überschussladen startet Ladung 1-phasig mit 1,4 kW (230 V x 6 A) (vormittags, Wolken, etc.)
  - Wenn PV Überschuss 4,2 kW überschreitet, Umschaltung (App, automatisch) auf 3-phasiges laden (3 x 230 V x 6 A)
  - Ohne Phasenumschaltung Ladung entweder mit maximal 3,7 kW (230 V x 16 A) oder Ladestart erst bei 4,2 kW (3 x 230 V x 6 A) Überschuss
- Lade-Modi
  - Laden mit definierter Leistung (einstellbar über Anzahl der Phasen und Stromstärke bzw. über Auto)
  - PV-Überschussladen
  - Laden mit dynamischen Stromtarifen
- Kommunikation mit Energie Controller/Manager (Energiefluss Mess-System im WR oder Zählerschrank)
  - Verbindung über LAN-Kabel, WLAN, RS485, Funk
- Ladesteuerung per App
- Drosselung/Abschaltung durch EVU (ab 01.01.2024, aber kaum ein EVU besteht bisher darauf)
  - Rundsteuerempfänger und Wechselrichter mit entsprechender Schnittstelle erforderlich



## Langzeiterfahrung

- Seit 2013 elektrisch unterwegs (seit 2014 ausschließlich), mehr als 380.000 km mit 4 Fahrzeugen

- **Smart fortwo ED**

- EZ 04/2013, Akkukapazität neu 17,1 kWh
- ca. 900 Ladezyklen mit 90.000 km
- Restkapazität ca. 15 kWh (geschätzt)

- **Tesla Model S**

- EZ 04/2017, Akkukapazität neu ca. 98 kWh
- ca. 450 Ladezyklen mit 180.000 km
- Restkapazität ca. 88 kWh (geschätzt)



- 2000-3000 Ladezyklen sind möglich, bis Restkapazität von 70 % unterschritten ist



# Gesamtkosten-Vergleich: E-Auto (ID4) – Verbrenner (Tiguan)



Gesamtkosten ID4 für 8 Jahre			
Ladekosten für 8 Jahre (16 kWh/100 km)			
km / Jahr: 15000	km	Euro	Euro
Laden mit PV Anlage	40000	0,08 €	512 €
Laden vom Netz	40000	0,30 €	1.920 €
Laden an Ladestation	40000	0,70 €	4.480 €
<b>Summe für 8 Jahre</b>	<b>120000</b>		<b>6.912 €</b>
Wartungskosten für 8 Jahre			
praktisch keine Verschleißteile (außer Bremsen)			
Wartung alle 2 Jahre	4	350 €	1.400 €
ASU entfällt	0	50 €	0 €
<b>Summe für 8 Jahre</b>			<b>1.400,00 €</b>
Steuer/Versicherung für 8 Jahre			
Steuerbefreit bis 2030	2	160 €	320 €
Versicherung ungefähr gleich	8	1.000 €	8.000 €
THG Prämie	8	-80 €	-640 €
<b>Summe für 8 Jahre</b>			<b>7.680,00 €</b>
Anschaffungskosten/Restwert			
ID.4 – Grundpreis (ADAC)	Pro-Version mit 77 kWh		46.335 €
Sonderausstattung	ca. 10 %		4.500 €
Restwert	25%		-12.709 €
<b>Summe für 8 Jahre</b>			<b>38.126 €</b>
<b>Gesamtsumme</b>			<b>54.118 €</b>

Gesamtkosten Tiguan für 8 Jahre			
Tankkosten für 8 Jahre (6 Liter/100 km)			
km / Jahr: 15000	km	Euro	Euro
Tanken 2025 - 2026	30000	1,70 €	3.060 €
Tanken 2027 - 2029	45000	1,85 €	4.995 €
Tanken 2030 - 2032	45000	2,00 €	5.400 €
<b>Summe für 8 Jahre</b>	<b>120000</b>		<b>13.455 €</b>
Wartungskosten für 8 Jahre			
Ölwechsel, Luftfilter, Bremsen, ... (alle Verschleißteile)			
Wartung jedes Jahr (außer Jahr 1)	7	500 €	3.500 €
ASU alle 2 Jahre	4	50 €	200 €
<b>Summe für 8 Jahre</b>			<b>3.700 €</b>
Steuer/Versicherung für 8 Jahre			
Steuer für 8 Jahre	8	160 €	1.280 €
Versicherung ungefähr gleich	8	1.000 €	8.000 €
THG Prämie	0	0 €	0 €
<b>Summe für 8 Jahre</b>			<b>9.280 €</b>
Anschaffungskosten/Restwert			
Tiguan – Grundpreis (ADAC)	Benziner		38.250 €
Sonderausstattung	gleicher Betrag wie ID4		4.500 €
Restwert	25%		-10.688 €
<b>Summe für 8 Jahre</b>			<b>32.063 €</b>
<b>Gesamtsumme</b>			<b>58.498 €</b>

- Bidirektionales Laden bedeutet (PV)-Strom ins E-Auto einspeichern und bei Bedarf wieder entnehmen
- **V2L (Vehicle-to-Load):**
  - 230 V Steckdose im Auto, seit Jahrzehnten in Campern, oder z.B. für Handwerker um Werkzeuge zu betreiben bzw. zu laden (Hyundai Ioniq, Nissan Leaf, Kia Niro, Renault, MG, BYD, ...)
- **V2H (Vehicle-to-Home):**
  - Deckung des Hausverbrauchs in Zeiten ohne Sonne oder billigem Strom (Skoda Enyaq, Volvo EX90, VW ID.x Familie & Buzz mit 77 kWh Batterie, Cupra Born)
  - Voraussetzung für V2H ist eine bidirektionale Wallbox, die V2H fähige E-Autos laden und entladen kann
  - Die z. Zt. in E-Autos eingebaute Technik für V2H ist meist proprietär (AC- oder DC laden, Kommunikation – keine Standardisierung) und funktioniert deshalb nur mit speziellen, teuren Wallboxen (Nachteil: Wallbox funktioniert meistens nur mit einer Automarke und Kompatibilität mit Nachfolgemodellen fraglich, z.B. VW nur mit PV Hauskraftwerk **S10 E COMPACT inklusive DC-Wallbox** von E3/DC)
  - Führt zu schnellerer Alterung der E-Auto Batterie durch zusätzliche Ladezyklen
- **V2G (Vehicle-to-Grid):**
  - V2H und zusätzlich mögliche vergütete Rückspeisung ins Netz (intelligent gesteuert durch EVU) zur Stabilisierung der Energieversorgung durch „virtuelles Speicherkraftwerk“ aus Tausenden von E-Autos
  - Voraussetzung für V2G ist ein iMSys (intelligentes Mess-System), eine bidirektionale Wallbox, die vom EVU fernsteuerbar ist und Technik, die die entsprechenden Normen und Vorschriften bzgl. Rückspeisung ins Netz erfüllt
  - V2G ist noch in der Entwicklungsphase und wird frühestens in 2 - 3 Jahren starten

# Bi-direktionales Laden - Einfluss auf Batterieggarantie

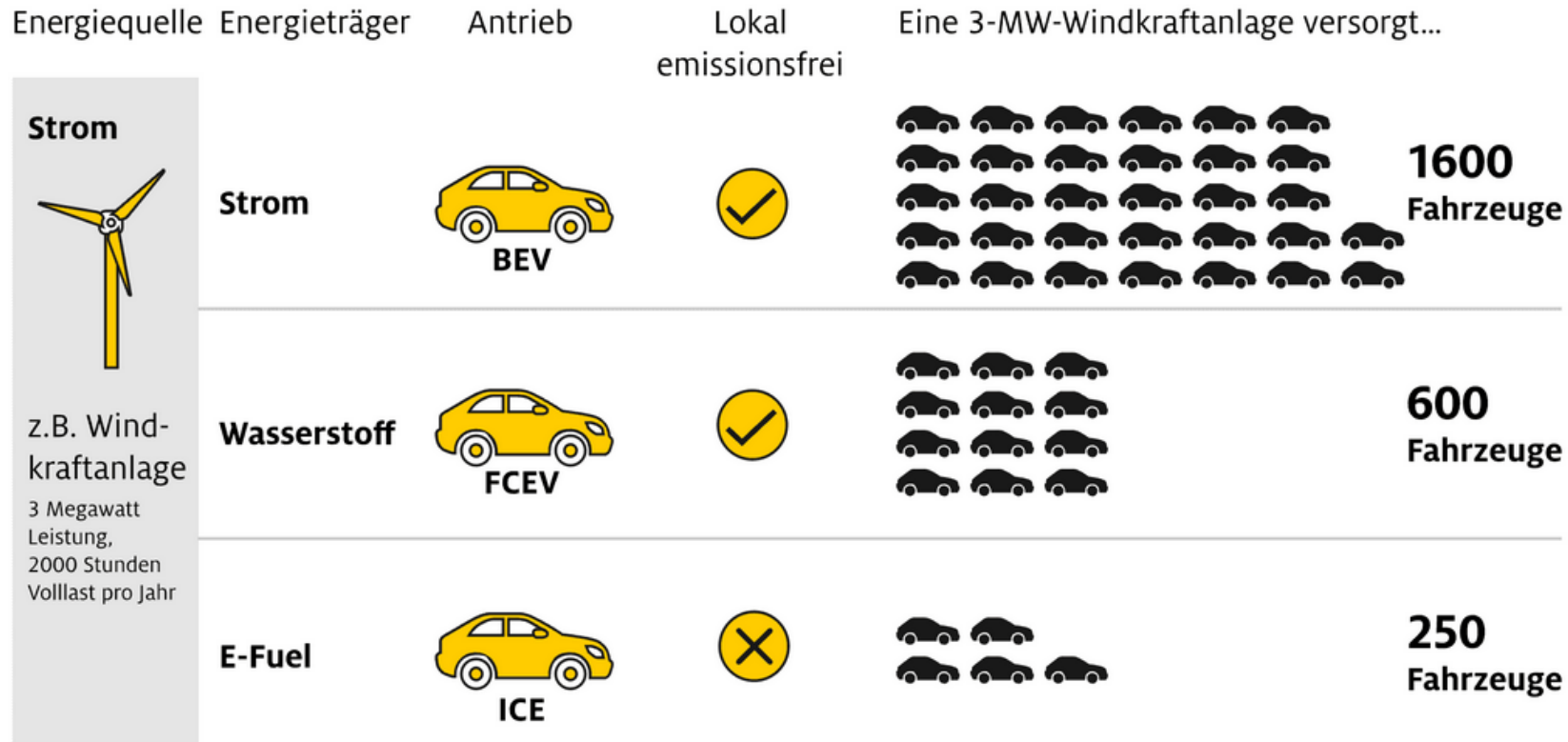


- E-Auto Hersteller schließen bei Freigabe für V2H und V2G bi-direktionales Laden in die Garantie mit ein
  - Vorgaben des Herstellers bzgl. bi-direktionalem Laden sind aber strikt zu befolgen – Nutzerdaten werden gespeichert
- Betrachtung für VW Modelle ID.x und Buzz mit 77 kWh Batterie und S/W 3.7
  - Garantiefall tritt ein, wenn nach den spezifizierten Jahren/Kilometern die Kapazität unter 70 % gesunken ist
  - Schnellladezyklen haben erheblichen Einfluss auf Batteriedegradation
  - Garantie für Batterie 8 Jahre und höchstens 160.000 km (BMW - alle 8 J/160.000 km, Tesla 3 - 8 J/200.000 km, S/X 8J/240.000km, Mercedes EQA/B/C 8 J/160.000 km, EQE/S – 10 J/250.000 km, Lexus RZ 450e – 10 J/1.000.000 km)
  - Bi-direktionales Laden erlaubt für maximal 4000 Stunden und höchstens 10.000 kWh eingespeicherte und wieder entnommene Energie
- Diese Garantiewerte sind sehr konservativ und werden in den nächsten Jahren deutlich steigen
- Einfluss des bi-direktionalen Ladens bei einem Ø-Verbrauch von 18 kWh/100 km
  - 160.000 km sind äquivalent einer Energie von 28.800 kWh bzw. 374 kompletten Ladezyklen (0-100 %)
  - 10.000 kWh entsprechen 55.000 km, d.h. es könnten nur 105.000 km gefahren werden (13.750 km/Jahr, ohne Rekuperation!), wenn durch bi-direktionales Laden verbraucht
  - 10.000 kWh erlauben bei 3500 kWh Hausverbrauch diesen 8 Jahre lang zu 4,4 % abzudecken

## *Ausblick: Neueste Batterie-Entwicklungen*

- Hauptanforderungen an E-Auto Batterien
  - Große Kapazität bei geringem Gewicht mit kurzen Ladezeiten und hoher Zyklenzahl
  - Geringe Alterung durch Lebensdauer und Ladezyklen
  - Sicher gegen Brandgefahr, resistent gegen extreme Temperaturen und mechanische Belastungen
  - Kostengünstig zu produzieren, recyclebar, geringe Umweltbelastungen (CO<sub>2</sub>, seltene Rohstoffe, etc.)
- Energiedichte von aktuellen Lithium Ionen Batterien (NMC) ist 150 - 220 Wh/kg (Benzin ca. 11500 Wh/kg)
- Autohersteller forschen zusammen mit Batteriefirmen intensiv an neuen Batterietechnologien
  - Bisher keine Serienreife mit neuen Technologien erreicht
  - Voraussichtlich erste E-Autos in Serie mit neuen Technologien ab 2027 am Markt
- Aktuelle Entwicklungen und Vorbereitung Serienreifmachung
  - Natrium Ionen Batterien – ohne Lithium, sehr geringe Kosten, Energiedichte 120 -180 Wh/kg (Ziel 300 Wh/kg)
  - Lithium Eisenphosphat Batterien – ohne teure Schwermetalle, Energiedichte aktuell 90 -160 Wh/kg (Ziel 190 Wh/kg)
  - Lithium Ionen Festkörper Batterien mit Energiedichte von ca. 390 Wh/kg (Ziel 440 Wh/kg)
- Ziel nächster Batteriegeneration ist die Reichweite um min. 30 – 50 % zu erhöhen bei halbierter Ladezeit

## Vergleich: Batterie – H2 – E-Fuels (Quelle: ADAC)



- E-Fuels werden aufgrund der über 6-fach geringeren Energie-Ausbeute nur für spezielle Anwendungen eingesetzt werden, z.B. für Flugzeuge, in Ländern mit schlechter Infrastruktur, ...
- Wasserstoff-Brennstoffzellen haben zwar einen besseren Wirkungsgrad als E-Fuels, werden aber für E-Autos mit den erwarteten Batterieentwicklungen im PKW nicht konkurrieren können; außerdem ist das Handling von Wasserstoff schwierig.
- Weiterer Nachteil: Beide Technologien hängen von großtechnischer Erzeugung ab (z.B. durch Gigawatt PV-Anlagen in der Wüste).



# Zusammenfassung

## ➤ Vorteile:

- Ein E-Auto zu fahren ist sehr angenehm (ruhig, gute Beschleunigung)
- Die Gesamtkosten sind nicht höher als beim Verbrenner (→ steigende Spritpreise)
- Die Kombination mit eigener PV-Anlage führt zu „Teil-Autarkie“ und deutlicher Senkung der Betriebskosten (Laden mit PV Strom: 100 km für 1,30 Euro)
- Umwelt: Kein CO<sub>2</sub> bei PV- oder Ökostrom, keine Abgase

## ➤ Nachteile:

- Ein E-Auto erfordert etwas mehr „Aufmerksamkeit“ und Planung (Laden zuhause und unterwegs)
- Lademöglichkeiten unterwegs sind nicht immer ideal (räumliche und zeitliche Verfügbarkeit, Ladedauer)
- Heizung im Winter geht zu Lasten der Reichweite (→ Vorklimatisieren, Wärmepumpe)
- Problematisch, wenn keine eigene Wallbox möglich oder keine Ladestation in der Nähe verfügbar ist

**Fazit: Ein E-Auto zu fahren ist möglich und sinnvoll – tun Sie es !!!**