

# Use Case Grünstrom

*Steckbrief*



## Use Case Beschreibung



**Ziel:**  
Optimierung der Lade und Entladevorgänge auf Basis der Zeitreihe stündlicher Emissionsfaktoren. Das Elektrofahrzeug wird zu Zeitpunkten mit niedrigen Emissionen geladen und zu Zeiten mit hohen Emissionen entladen.

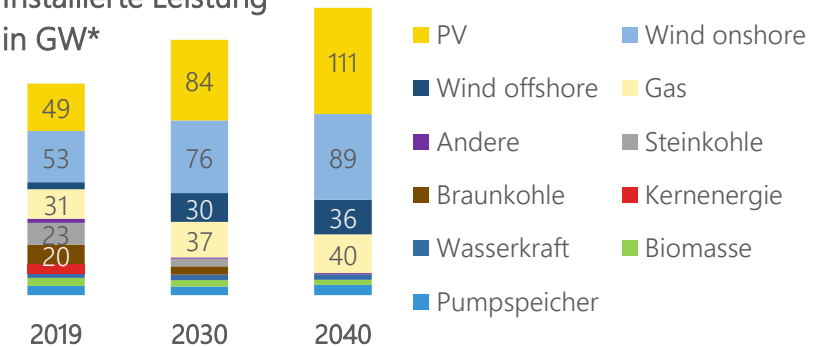
- Motivation:**
- Reduktion der betrieblichen Emissionen
  - Möglicherweise negative Emissionen erzielbar
  - Emissionseinsparung = Kosteneinsparung?



**Erlösquelle:**  
Hohe Anteile von EE korrelieren zukünftig immer stärker mit günstigen Strombezugskosten

## Entwicklungen im Energiesystem

### Installierte Leistung in GW\*



### Optimierungsziel



Die Ladezeitpunkte im Use Case Grünstrom werden auf die mittleren Emissionsfaktoren hin optimiert.

### Basiskonfiguration Simulationsparameter

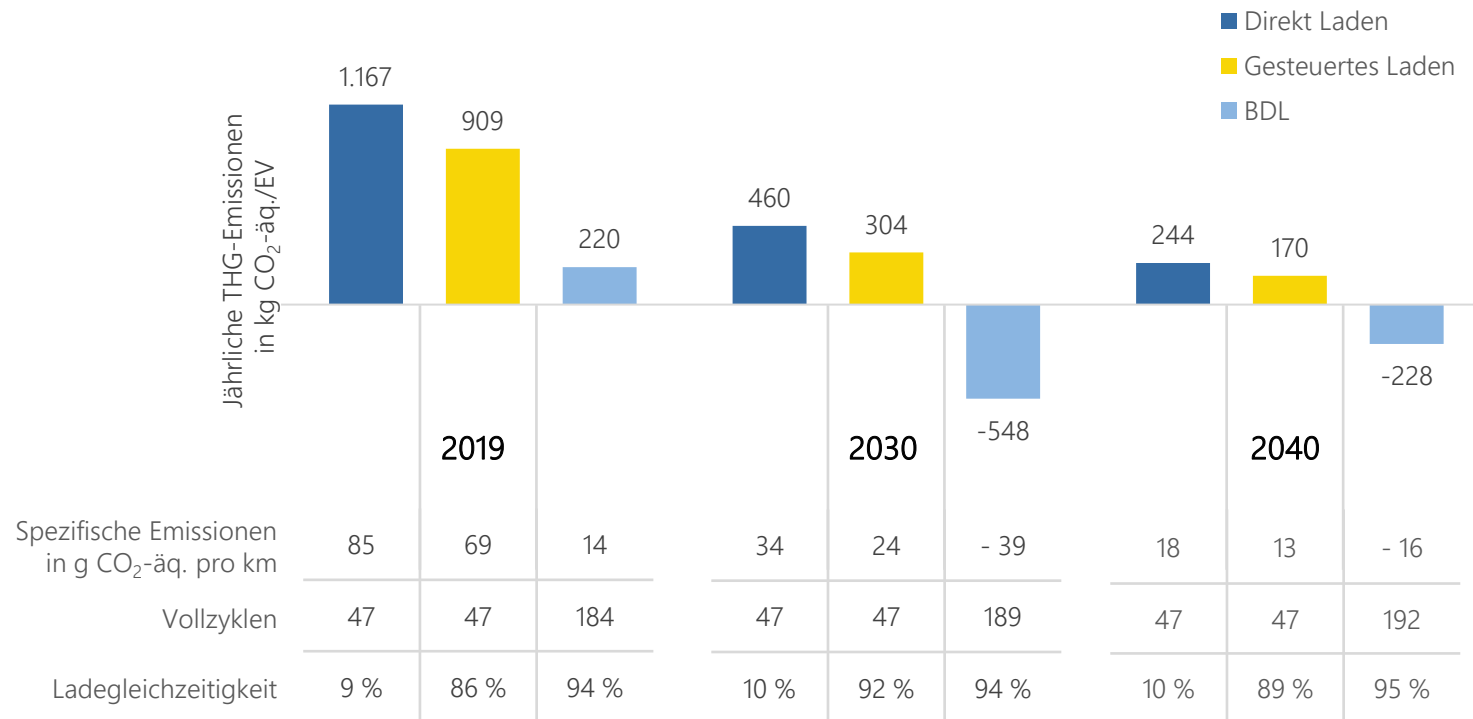
	<b>Maximale Vollzyklenzahl</b> keine Einschränkung
	<b>Maximale Ladegleichzeitigkeit</b> keine Einschränkung
	<b>Anzahl Fahrzeuge</b> 1000

	<b>Batteriekapazität</b> 60 kWh
	<b>Ladewirkungsgrad</b> 98 %
	<b>Fahrzeugklasse</b> Mittelklasse

	<b>Ansteckwahrscheinlichkeit</b> "immer Anstecken"
	<b>Ziel/Sicherheits SOC</b> 30 % / 70 %
	<b>Nutzergruppe</b> Alle Nutzergruppen

	<b>Ladeort</b> zu Hause
	<b>Ladeleistung</b> 11 kW
	<b>Wirkungsgrad</b> 94 %

# Ergebnisse Grünstromladen Basiskonfiguration



## Kernergebnisse

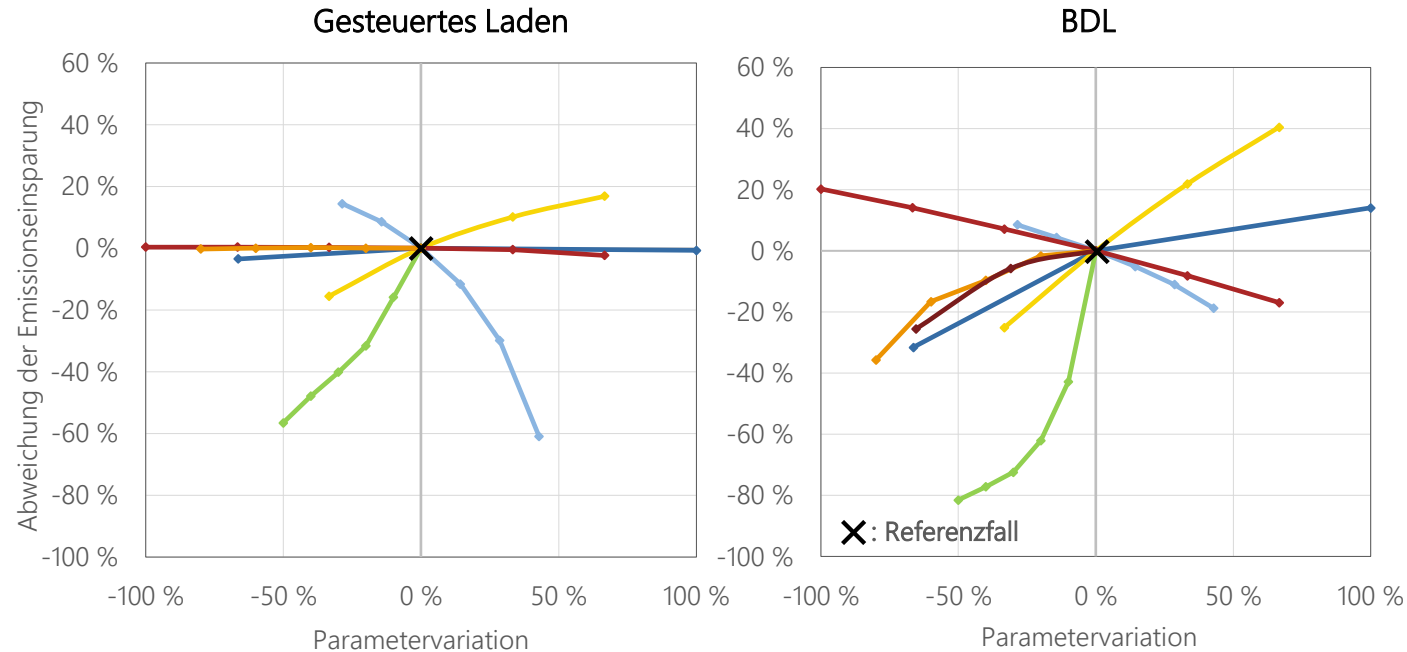
- **Deutliche Reduktion der betrieblichen Emissionen schon beim ungesteuerten Laden durch Ausbau Erneuerbarer Energien, Kohleausstieg und damit rückläufige Emissionsfaktoren in zukünftigen Jahren:**
  - 2019/2030: -60 %
  - 2030/2040: -47 %
- Rein unidirektional **gesteuertes Laden** führt im Vergleich zum ungesteuerten Laden zu einer **zusätzlichen Reduktion** der betrieblichen Emissionen von 22-33 %
- Die **bidirektionale Ladesteuerung** führt zu einer **weiteren Reduktion** der Emissionen. In zukünftigen Jahren überkompensieren die Emissionsreduktionen der Fahrzeuge im Energiesystem (u.a. durch die Verdrängung von konventionellen Kraftwerken) sogar die aus dem Strombedarf der Fahrzeuge resultierenden Emissionen. So werden in beiden Jahren **negative Gesamtemissionswerte** erreicht.
- Die spezifischen **Emissionen** pro km sind in allen Fällen **niedriger als** die vergleichbarer **konventioneller Fahrzeuge**.
- Die dargestellten Ergebnisse berücksichtigen keine Rückwirkungen der Ladestrategien auf das Energiesystem.

## Herausforderungen

Das unbeschränkte bidirektionale Laden der Fahrzeuge in der Basiskonfiguration der Simulationsparameter führt zu einer starken Erhöhung der Vollzyklen. Die Vollzyklen haben einen Einfluss auf das Alterungsverhalten der Batterien und müssen ggf. herstellereitig begrenzt werden.

Sowohl im gesteuerten als auch im bidirektionalen Laden führt die Optimierung der Ladezeitpunkte innerhalb der Fahrzeugflotte zu hohen Gleichzeitigkeiten, welche direkten Einfluss auf die Lasten im Verteilnetz haben. Es ist davon auszugehen, dass diese maximalen Gleichzeitigkeiten vom Netzbetreiber beschränkt werden und damit das Potenzial der Ladesteuerung reduzieren.

# Ergebnisse Sensitivitätsanalyse



## Parametervariationen

In der Sensitivitätsanalyse wird jeweils ein Parameter stufenweise variiert (x-Achse) und die Abweichung der resultierenden Emissionseinsparung vom Referenzfall bewertet (y-Achse). Jeder Punkt im Diagramm entspricht dem Median von 1.000 simulierten Fahrzeugen. Die folgenden Parameter werden variiert, wobei die **blau hinterlegten Werte den Referenzfall** repräsentieren:

Ladeleistung	3,7 kW	11 kW	22 kW			
Batteriekapazität	40 kWh	60 kWh	80 kWh	100 kWh		
Ziel SOC	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
Sicherheits SOC	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
$\mu_{SOC}$ beim Anstecken	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
Max. Gleichzeitigkeit	20 %	40 %	60 %	80 %	100 %	
Vollzyklenzahl-Begrenzung auf $EFC_{dir}$	+ 50	+ 100	Keine Begrenzung			

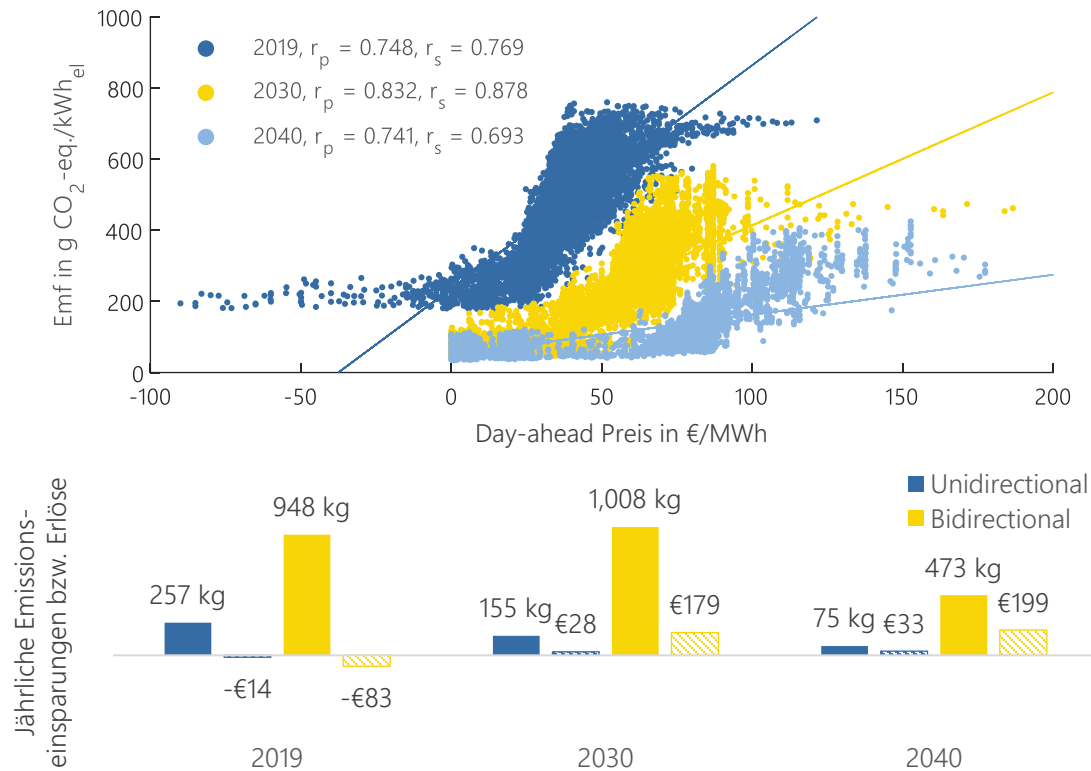
## Erkenntnisse

Die mögliche Emissionseinsparung ist direkt abhängig von der Flexibilität, die der Optimierung zur Verfügung steht. Die untersuchten Parameter beeinflussen alle diese Flexibilität, wobei sich bei einigen Parametern verschiedene Wirkmechanismen überlagern und so zu einem überproportionalen Zusammenhang zwischen Parametervariation und resultierender Abweichung der Emissionseinsparung führen.

Einzelne Parameter können wenig (Batteriekapazität, Ladeleistung), andere sehr wohl (Ziel-SOC, Sicherheits-SOC, Ansteckwahrscheinlichkeit) vom Vermarkter der Ladestrategien durch entsprechende Anreize beeinflusst werden. Die maximale Ladegleichzeitigkeit bzw. die zulässige Vollzyklenzahl wird vom Netzbetreiber bzw. dem Fahrzeughersteller vorgegeben und kann nur sehr bedingt beeinflusst werden. Im unidirektionalen Fall verhindert eine Begrenzung der Gleichzeitigkeit eine überhöhte Netzbelastung ohne das Potenzial der Ladesteuerung signifikant zu reduzieren.

Sowohl im gesteuerten als auch im bidirektionalen Laden ist das Nutzerverhalten ein zentraler Einflussfaktor auf das mögliche Emissionsreduktionspotenzial. Insbesondere die Ansteckhäufigkeit der Fahrzeugnutzer, aber auch die Vorgaben von Ziel- und Sicherheits-SOC sind dabei hervorzuheben und sollten durch entsprechende Anreize adressiert werden.

# Zusammenhang zwischen Emissionsreduktions- und Erlöspotenzial der Ladesteuerung



## Kernaussagen

- Im historischen **Referenzjahr 2019** fallen durch den immer noch signifikanten Anteil von günstigen aber emissionsintensiven Braunkohle- und Steinkohlekraftwerken Zeiten von **niedrigen Strompreisen häufig in Zeiten hoher Emissionsfaktoren**
- Dieser Zusammenhang löst sich in den zukünftigen Jahren 2030 und 2040 durch den Ausstieg aus diesen Erzeugungstechnologien auf.
- In der Folge führt im Jahr 2019 das emissionsoptimierte Laden sogar zu steigenden Kosten und das preisoptimierte Laden erzeugt zusätzliche Emissionen. In den **Jahren 2030 und 2040** löst sich der Zusammenhang auf, sodass eine **Emissionsreduktion auch mit positiven Erlösen** einhergeht.

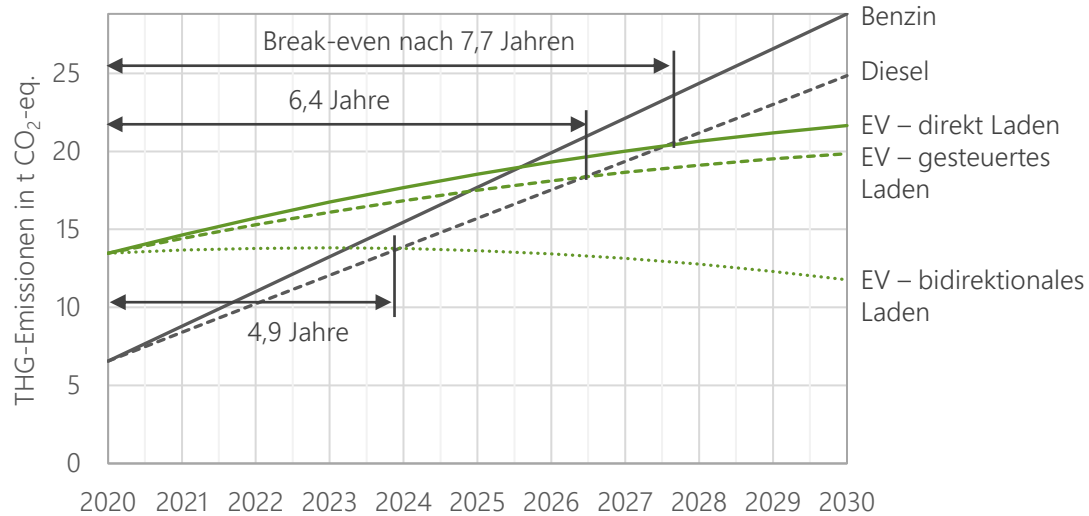
## Herausforderungen

In der ökonomischen Bewertung des Use Cases (oben dargestellte Erlöse) wird von einer vollständigen Befreiung von Abgaben und Umlagen für das bidirektionale Laden ausgegangen. Der Strombezugspreis eines Haushalts wird mit über 80 % durch diese Abgaben und Umlagen geprägt. Die entscheidende regulatorisch noch ungeklärte Frage ist, ob bidirektionale EVs für zwischengespeicherten Strom eine Befreiung von Netzentgelten, EEG-Umlage und Stromsteuer erhalten. Ohne diese Befreiung ist diese Ladesteuerung wirtschaftlich aus Kundensicht nicht darstellbar\*.

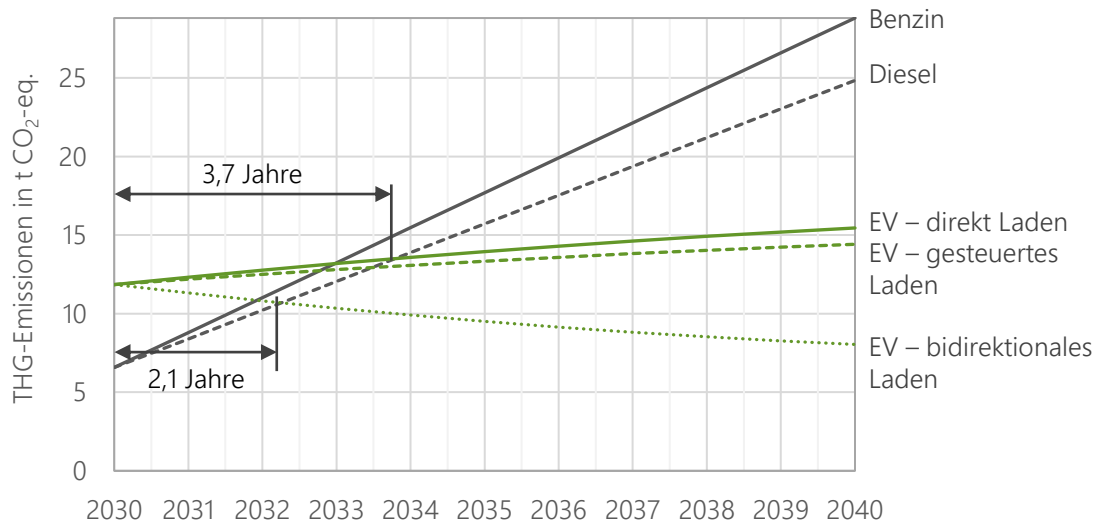
# Auswirkungen auf die Ökobilanz der Fahrzeuge



## Betrieb zwischen 2020 und 2030



## Betrieb zwischen 2030 und 2040



## Kernaussagen

Die ökologische Amortisationszeit ist definiert über den Zeitraum ab dem das Elektrofahrzeug inklusive der Fahrzeugproduktion weniger Emissionen verursacht als das vergleichbare konventionelle Fahrzeug. Diese beträftim betrachteten Szenario beim **ungesteuerten Laden** im Vergleich zum Dieselfahrzeug **7,7 Jahre**, im **gesteuerten Laden 6,4 Jahre**. Durch die Sekundärnutzung der Fahrzeugbatterie als Speicher im Falle der bidirektionale Ladesteuerung können im Energiesystem Emissionsreduktionen realisiert werden, die im Jahr 2030 und 2040 sogar die Emissionen, die aus dem reinen Antriebsverbrauch resultieren, überkompensiert werden, sodass „negative“ Emissionen und eine negative Steigung der Kurve entstehen. Somit kann beim **bidirektionalen Laden** die ökologische Amortisationszeit auf **4,9 Jahre** verkürzt werden. Wird eine Betrieb des Fahrzeugs zwischen **2030 und 2040** unterstellt, reduzieren sich diese Werte noch einmal deutlich.

## Annahmen und Fakten

### Fakten:

- Batterieproduktion in 2020: 110 kg CO<sub>2</sub>-Äq./kWh
- Jahreskilometerleistung: 13.780 km
- Batteriekapazität: 60 kWh

### Fahrzeugverbrauch:

- Elektrofahrzeug: 17.3 kWh/100 km
- Diesel: 5.0 l/100 km
- Benzin: 5.8 l/100 km

**Stromproduktion** basiert auf dem eXtremOS Szenario quEU

**Durchschnittliche Emissionen** des Elektrofahrzeugs nach Ladesteuerung in g CO<sub>2</sub>-eq./km

	Direct	Uni	Bidi
2020	84,9	68,6	14,3
2030	33,9	23,9	-39,1
2040	18,1	13,1	-16,4

## Fazit

- Der **Ausbau Erneuerbarer Energien** und die geplante Abschaltung der Kohlekraftwerke führt bereits ohne Ladesteuerung zu einem **deutlichen Rückgang der betrieblichen Emissionen** der Fahrzeuge.
- Bereits das **gesteuerte Laden ermöglicht eine weitere Reduzierung** dieser Emissionen um 22-33 %.
- Die durch die **bidirektionale Ladesteuerung** erreichten Emissionsreduktionen der Fahrzeuge im Energiesystem (u.a. durch die Verdrängung von konventionellen Kraftwerken) kann unter optimalen Bedingungen sogar die aus dem Strombedarf der Fahrzeuge resultierenden Emissionen überkompensieren und **bilanziell „negative“ Emissionen** erzielen.
- Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass das **Nutzerverhalten** eine der **wichtigsten beeinflussbaren Einflussgrößen** ist.
- Durch die Struktur des Kraftwerksparks geht das **emissionsoptimierte Laden aktuell mit zusätzlichen Kosten** einher. Dieser Zusammenhang wird durch den Ausstieg aus der günstigen aber emissionsintensiven Kohlestromezeugung **zukünftig** aufgelöst, sodass „**emissionsarm**“ mit „**günstig**“ einhergehen kann.

## Use Case Beschreibung



### Ziel:

Optimierung der Lade und Entladevorgänge auf Basis der Zeitreihe stündlicher Emissionsfaktoren. Das Elektrofahrzeug wird zu Zeitpunkten niedriger Emissionen geladen und zu Zeiten hoher Emissionen entladen.

### Motivation:

- Reduktion der betrieblichen Emissionen
- Möglicherweise negative Emissionen erzielbar
- Emissionseinsparung = Kosteneinsparung?



### Erlösquelle:

Hohe Anteile von EE korrelieren mit günstigen Strombezugskosten?

## Herausforderungen

- Hoher Anstieg der **Vollzyklenzahl** und **Ladegleichzeitigkeiten**, wenn keine Einschränkungen vorgenommen werden.
- Die hohen Ladegleichzeitigkeiten können zu **Netzbelastungen im Verteilnetz** führen. Hier ist eine enge Abstimmung mit dem verantwortlichen Netzbetreiber erforderlich.
- Die **Realisierbarkeit** des Use Cases hängt von der Befreiung von entsprechenden **Strompreisbestandteilen** ab. Der Strombezugspreis eines Haushalts wird mit über 80 % durch Abgaben und Umlagen geprägt. Die entscheidende regulatorisch noch ungeklärte Frage ist, ob bidirektionale EVs für zwischengespeicherten Strom von Netzentgelten, EEG-Umlage und Stromsteuer befreit werden.
- Bei größeren Zahlen von entsprechend optimierten Fahrzeugen müssen außerdem die **Energiesystemrückwirkungen** berücksichtigt werden.

## Handlungsempfehlungen

- Da in zukünftigen Jahren durch die Umstrukturierung des Energiesystems günstige Stunden und emissionsarme Stunden zunehmend korrelieren, bietet dieser Use Case sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile.
- Da das Nutzerverhalten in Hinblick auf die Ansteckhäufigkeit und die Vorgabe von Ziel- und Sicherheits-SOC einer der wichtigsten Einflussfaktoren ist, sollte dies durch entsprechende Anreize adressiert werden.
- Aus der uneingeschränkten Optimierung der Ladezeitpunkte innerhalb der Flotte entstehen hohe Ladegleichzeitigkeiten und eine entsprechende Belastung in den unteren Spannungsebenen des Stromnetzes. Entsprechende Ladestrategien sollten deshalb in enger Zusammenarbeit mit den verantwortlichen Netzbetreibern erarbeitet und umgesetzt werden.