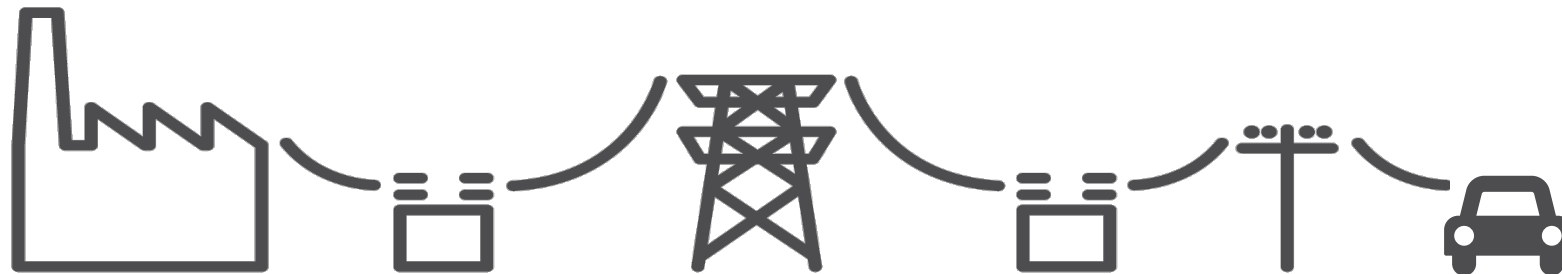


# Potential von Elektrofahrzeugen zur Flexibilitätsbereitstellung in der Schweiz

*Tim Signer, Elia Limarzo, Manuel Ruppert, Wolf Fichtner*

*Energieforschungsgespräche 2023*





**Hintergrund**



**Forschungsfrage**



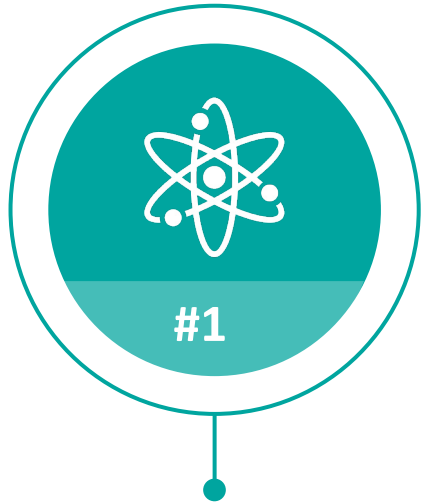
**Methodik und  
Ergebnisse**



**Zusammenfassung**

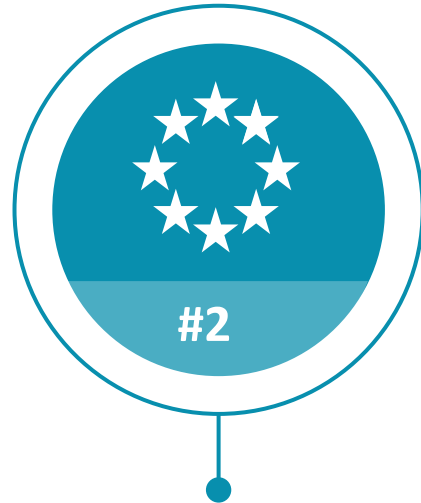
# Agenda

# Schweizer Energiesystem im Wandel



Atomausstieg

Die Schweiz hat entschieden keine neuen Atomkraftwerke zu bauen



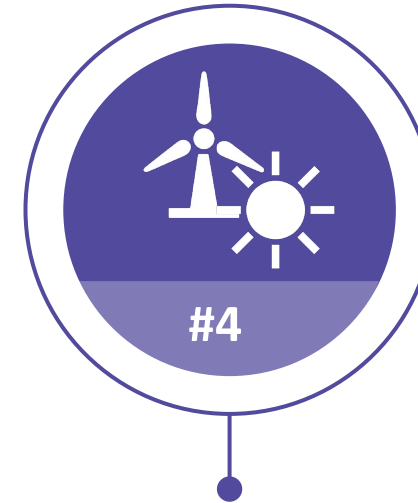
Unsicherheiten Import

Gescheiterte Verhandlungen. Ab 2025 Importe aus der EU nicht garantiert.



Wachsende Nachfrage

Elektrifizierung (Verkehr und Wärme) und Bevölkerungswachstum



EE-Ausbau

Erneuerbare Energien werden stark ausgebaut v.a. Solarenergie

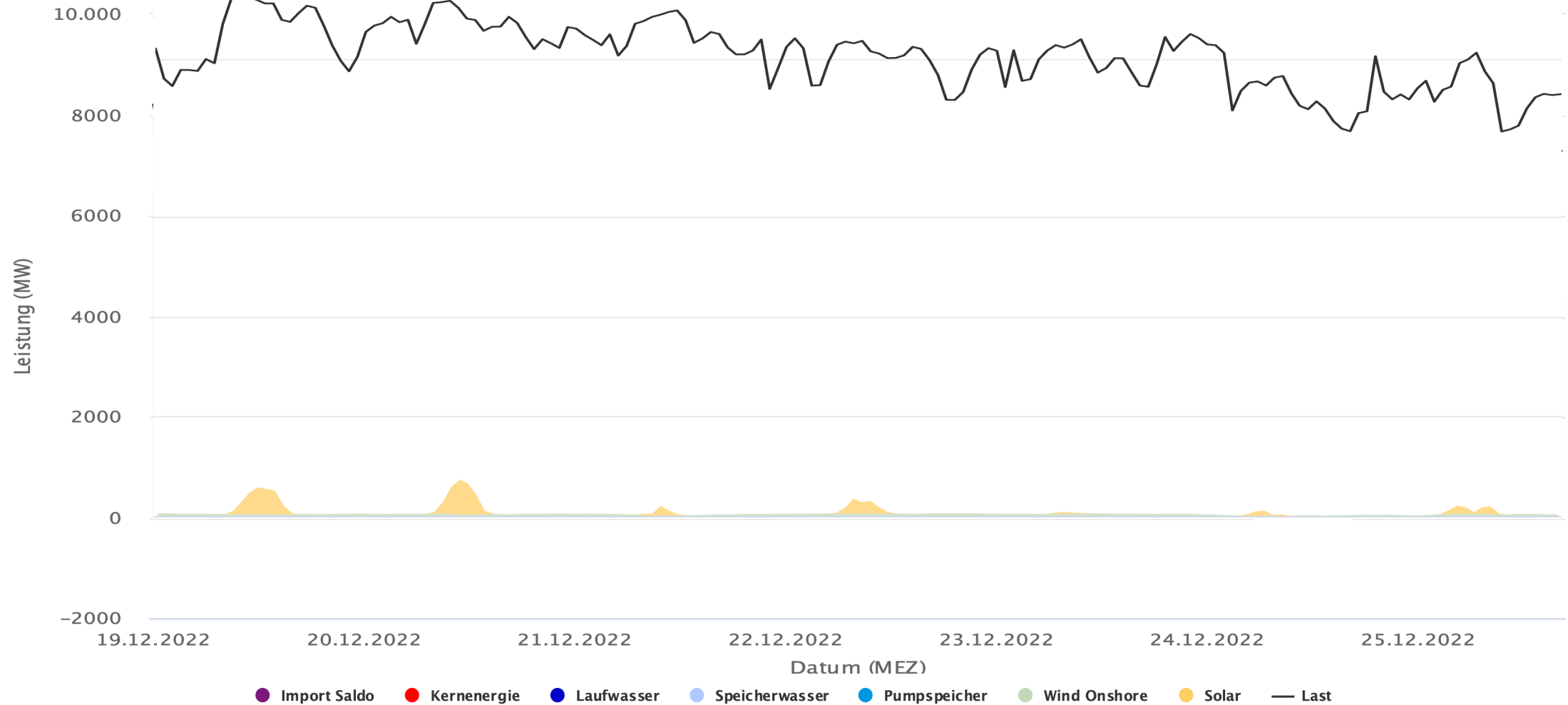


Unsicherheiten Wasserkraft

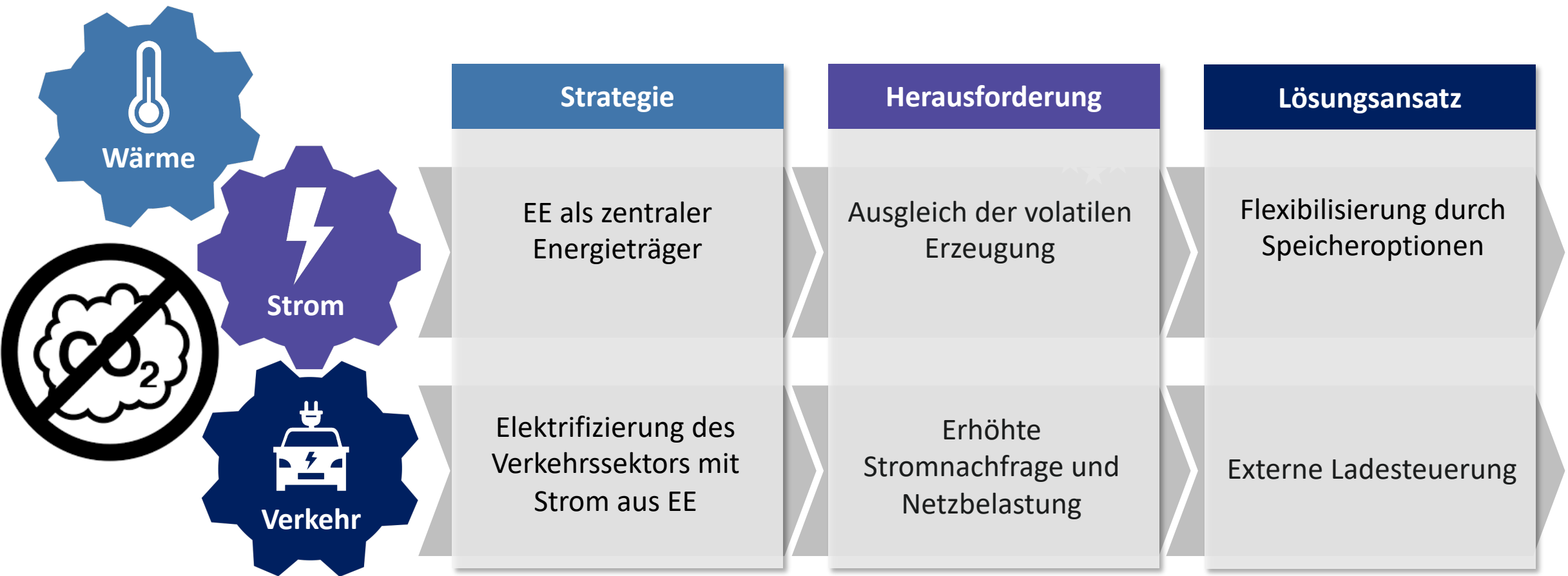
Unsicherheiten von Wasserkraft steigen in Folge des Klimawandels

# Die Veränderungen sind extrem

Öffentliche Nettostromerzeugung in der Schweiz in Woche 51 2022



# Blick in die Zukunft



# Kumulierte Ladeleistung der Elektrofahrzeuge\*

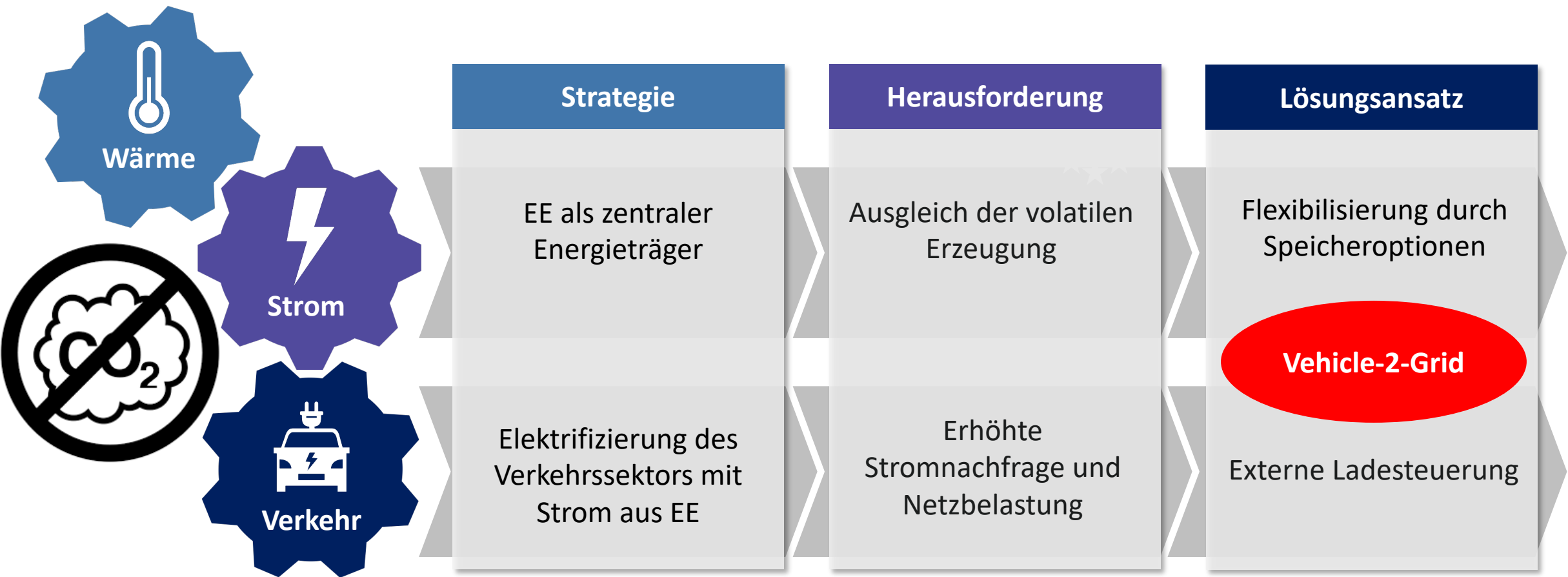
		Gleichzeitigkeit beim Laden			
		25%	50%	75%	100%
Anzahl EV	1 Mio.	2,75 GW	5,50 GW	8,25 GW	11,00 GW
	2 Mio.	5,50 GW	11,00 GW	16,50 GW	22,00 GW
	3 Mio.	8,25 GW	16,50 GW	24,75 GW	33,00 GW
	4 Mio.	11,00 GW	22,00 GW	33,00 GW	44,00 GW
	5 Mio.	13,75 GW	27,50 GW	41,25 GW	55,00 GW

Die Höchstlast im Schweizer Stromnetz liegt derzeit bei ca. 10-11 GW

- Gerings zahlen EVs können Netz bereits erheblich belasten
- Ohne netzdienliches Laden wird EV-Rollout nicht funktionieren

\* Annahme, dass alle Fahrzeuge über 11 kW Wallbox laden

# Blick in die Zukunft



# Forschungsfrage



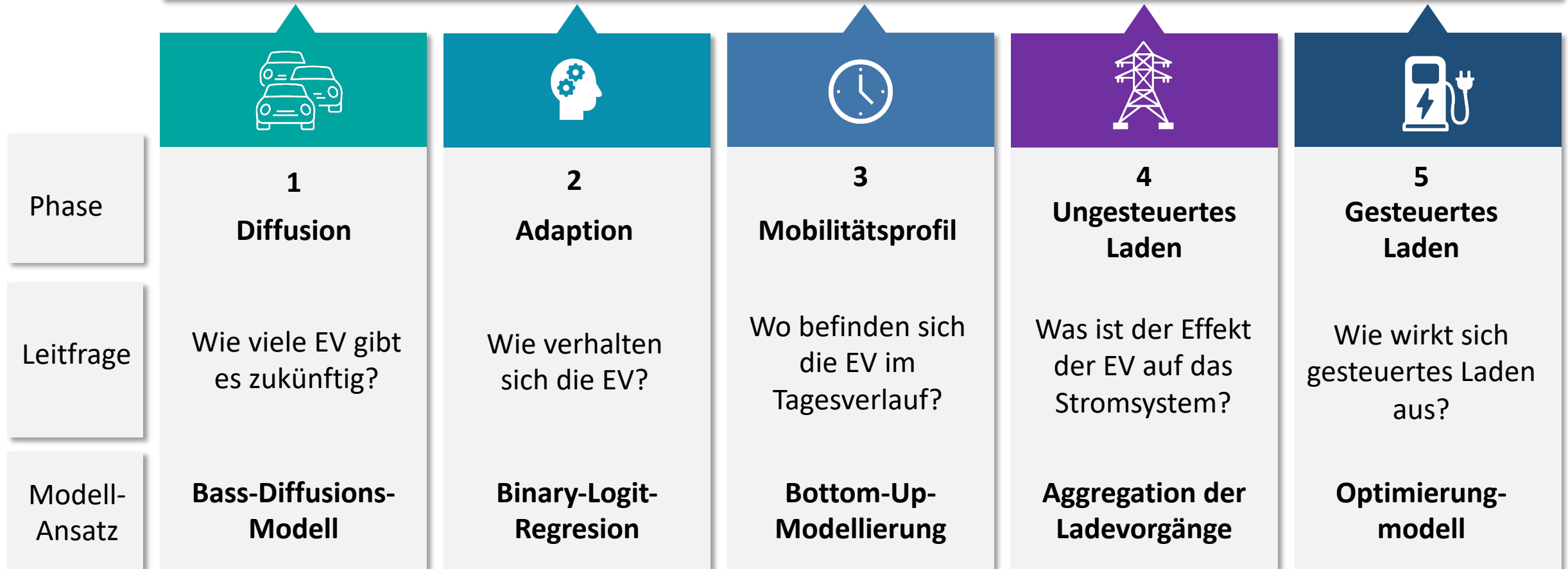
**Welches Potential haben (bidirektionale)  
batterieelektrische Fahrzeuge (EV) zur  
Bereitstellung von Flexibilität in der  
Schweiz?**





# Modellbeschreibung

Entwickelte Methodik besteht aus 5 gekoppelten Teilmodellen



# Entwicklung des EV-Bestands in der Schweiz

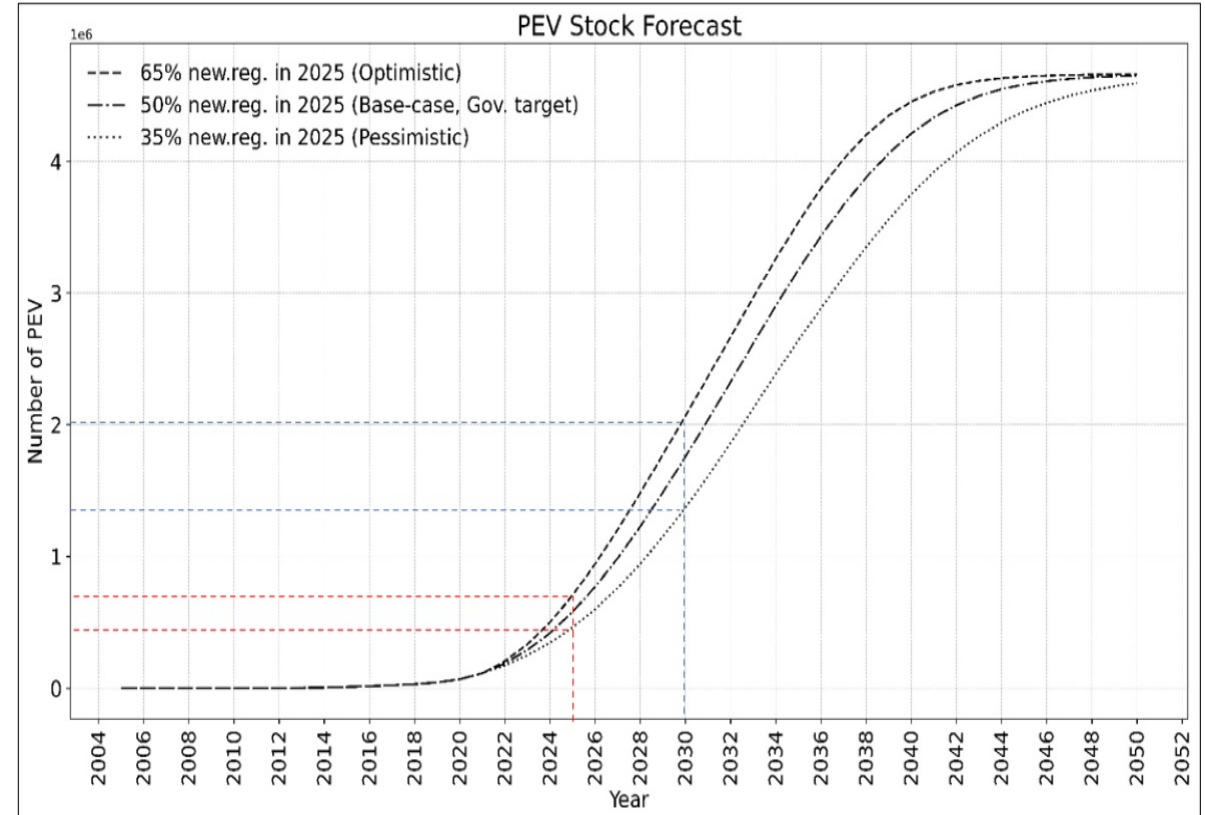
1

Diffusion

- Empirische Forschung zeigt: Diffusionsprozesse folgen S-Kurve
- Bass-Diffusionsmodell

$$N(t) = m \frac{1 - e^{-(p+q)(t-t_0)}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)(t-t_0)}}$$

- Innovation  $p$  und Imitationsparameter  $q$  unbekannt
- S-Kurve mit non-linear curve fitting möglichst nah an **historischen Bestand und Regierungsziele anpassen**
- **Annahme, dass alle Fahrzeuge elektrisch werden**

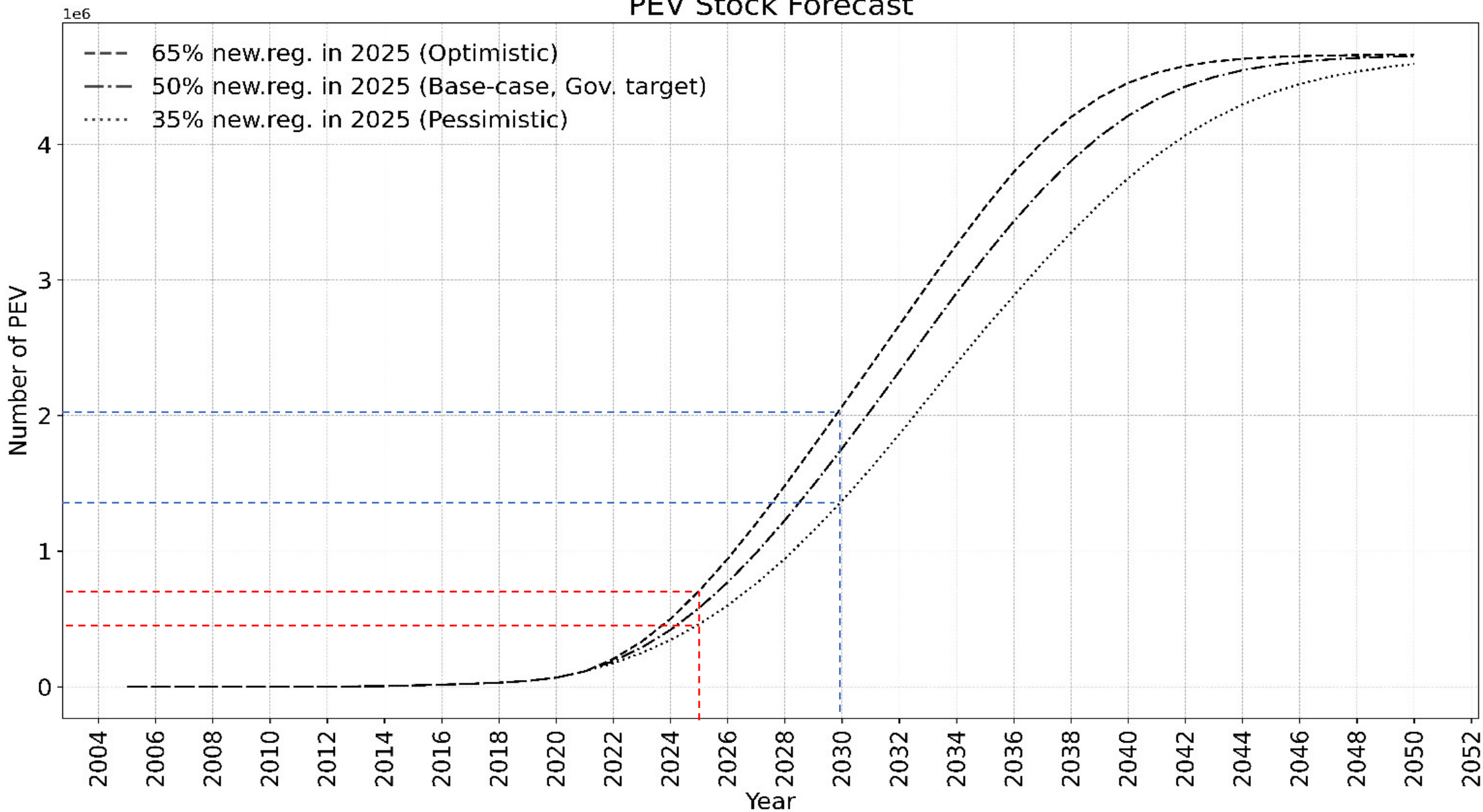


11



10

# PEV Stock Forecast



# Zuordnung von Mobilitätsprofilen

2

Welche **Eigenschaften** und welches **Mobilitätsverhalten** haben die Elektrofahrzeuge in der Schweiz?

## Ausgangssituation

- ✓ Anzahl Fahrzeuge
- ✗ Keine Informationen über
  - Fahrzeugtyp
  - Fahrverhalten
  - Aufenthaltsorte
  - Ladeverhalten

Datenlage Mobilitätsdaten:

- ✓ Umfassende Mobilitätsprofile für Schweiz verfügbar
  - > 20.000 Mobilitätsprofile
- ✗ ABER: Keine Unterscheidung nach EVs

## Idee



Annahme:

- Fahrverhalten (MIV) wird sich in Zukunft nicht grundlegend verändern

Vorgehen:

- Jedem Fahrprofil wird Adaptionswahrscheinlichkeit zugeordnet
- Profile bzw. die zugrundeliegenden Haushalte mit hoher Adaptionswahrscheinlichkeit wechseln früher auf Evs

# Berechnung der Kaufwahrscheinlichkeiten

2

Datenbasis: „Barometer E-Mobilität“ des Touring Club Schweiz (TCS)

Untersuchung zeigt:

- **Alter**
- **Einkommen**
- **Wohnsituation**

sind **wesentliche Einflussfaktoren auf Kaufentscheidung** von Elektroauto

**Lineares Regressionsmodell (Normiert zwischen 0 und 1):**

$$P(y_n = 1) = \frac{1}{1 + e^{0.0311*x_{\text{Alter}} + 1.0916*x_{\text{Wohn}} + 0.7273*x_{\text{Einkommen}} + 0.6725}}$$

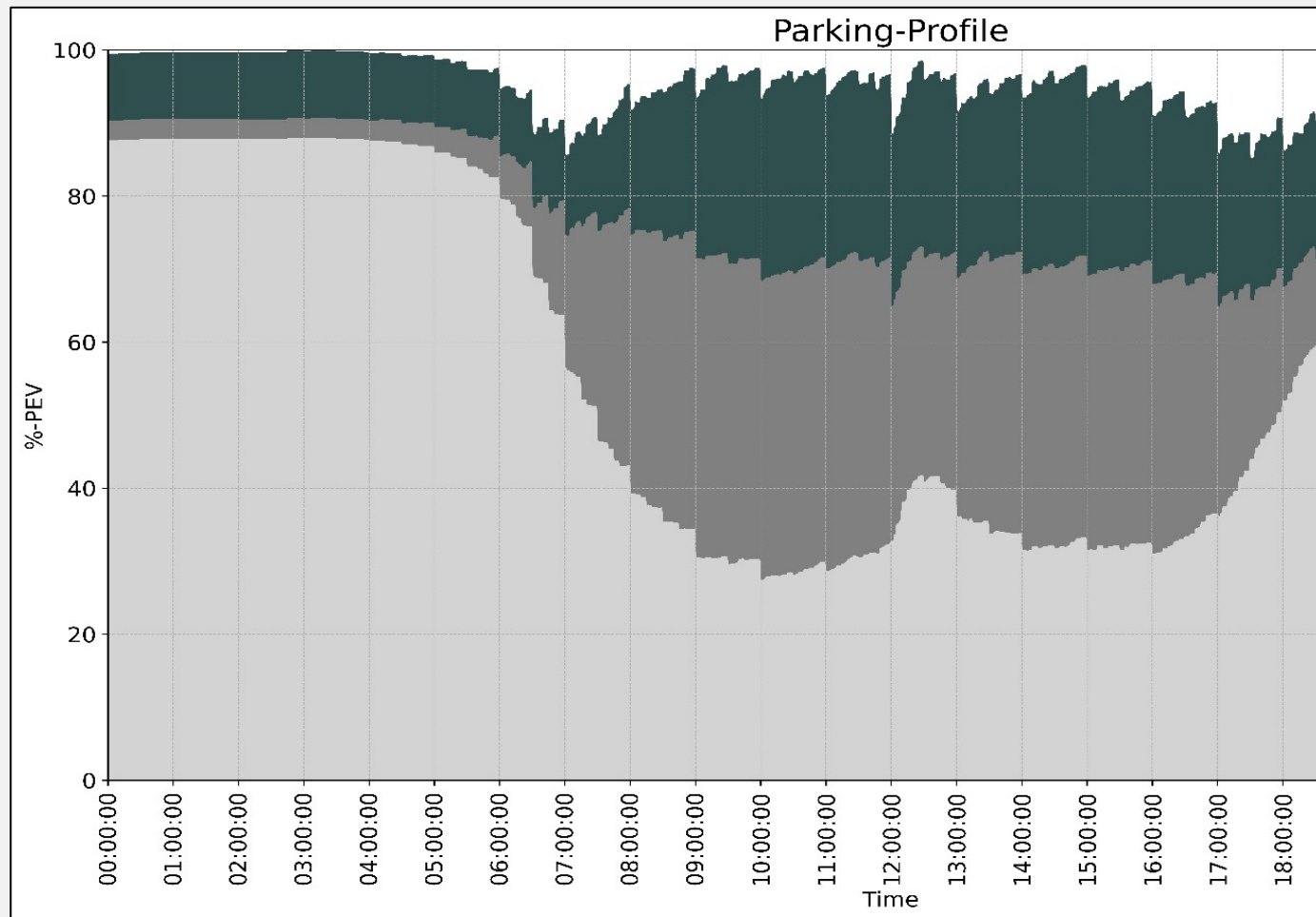
➤ **Gibt für jedes Fahrprofil eine Adaptionswahrscheinlichkeit aus**



# Mobilitätsverhalten der Schweizer BEV-Flotte

3

Diffusion

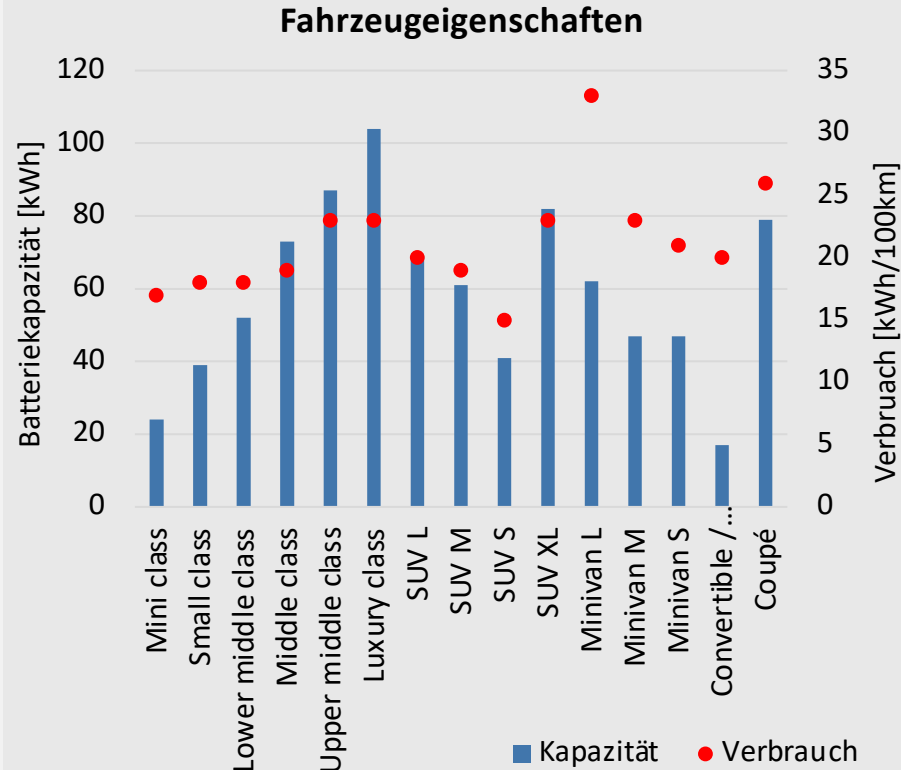


- Ca. 90 % des Tages sind EVs geparkt
  - Zwischen 6 Uhr und 20 Uhr sind ca. 80% der EVs Zuhause oder auf der Arbeit geparkt.
  - 7 % der EVs sind in dieser Zeit an abweichenden Orten
  - Nachts sind mehr als 85 % der EVs Zuhause geparkt.
  - Meist weniger als 10 % der EVs in Fahrt.
- Geparkte Fahrzeuge können über Wallbox an Stromnetz angebunden werden und Flexibilität bereitstellen.

# Speicherkapazität der EV-Flotte

3

Diffusion



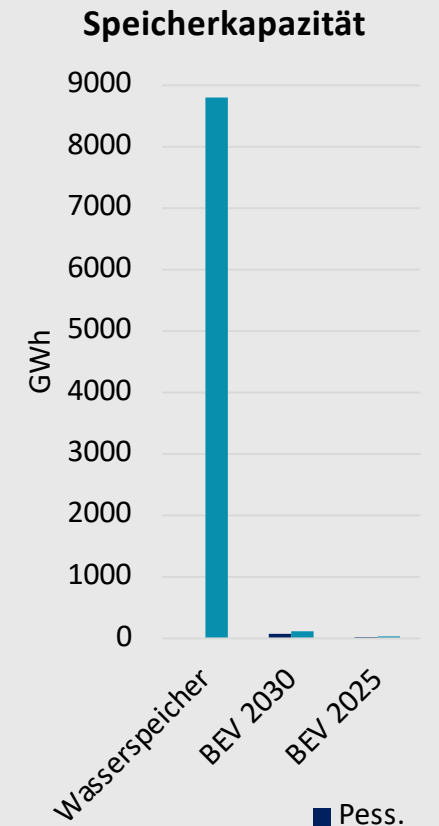
Batteriegröße und Verbrauch variiert nach Fahrzeugsegment

- 25 - 105 kWh
- 15 - 30 kWh/100km

➤ Fahrzeuginformationen Eingangsparemeter für Ladeprofile

Aggregierte Batteriekapazität

- 2025: 25 - 32 GWh
- 2030: 78 - 118 GWh

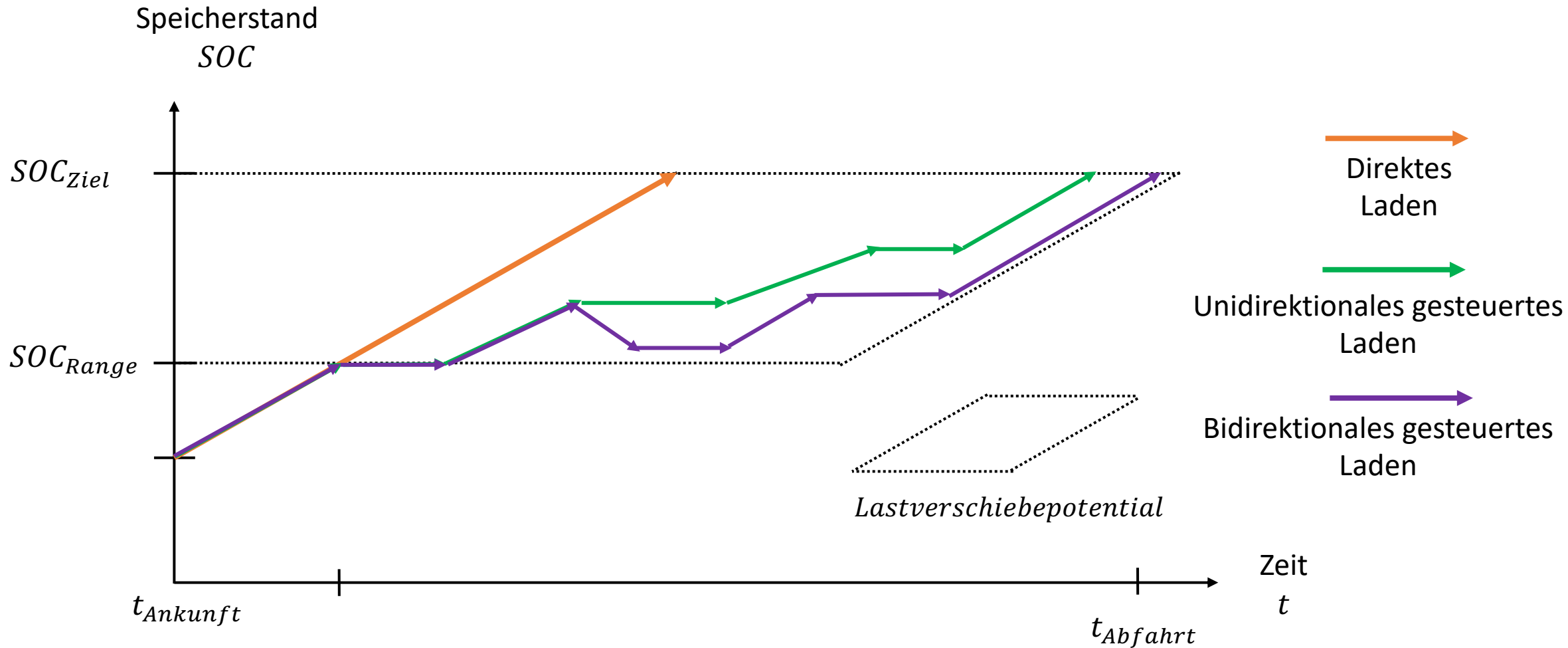


➤ Elektrofahrzeuge sind zur kurzfristigen Speicherung und nicht als saisonale Speicher geeignet

# Untersuchte Ladestrategien

4

Ladeprofil

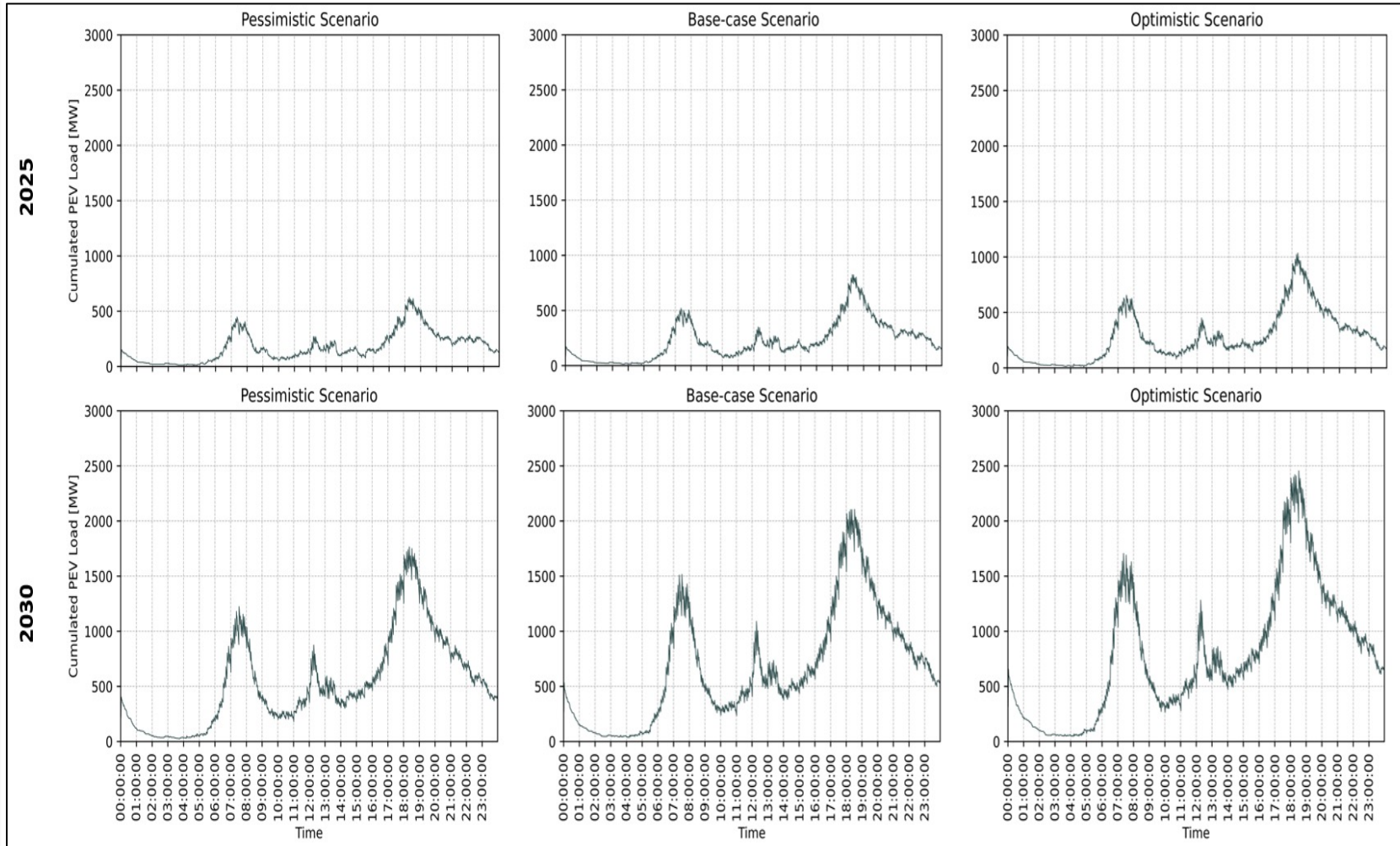




# Ungesteuertes Laden

4

Ladeprofil



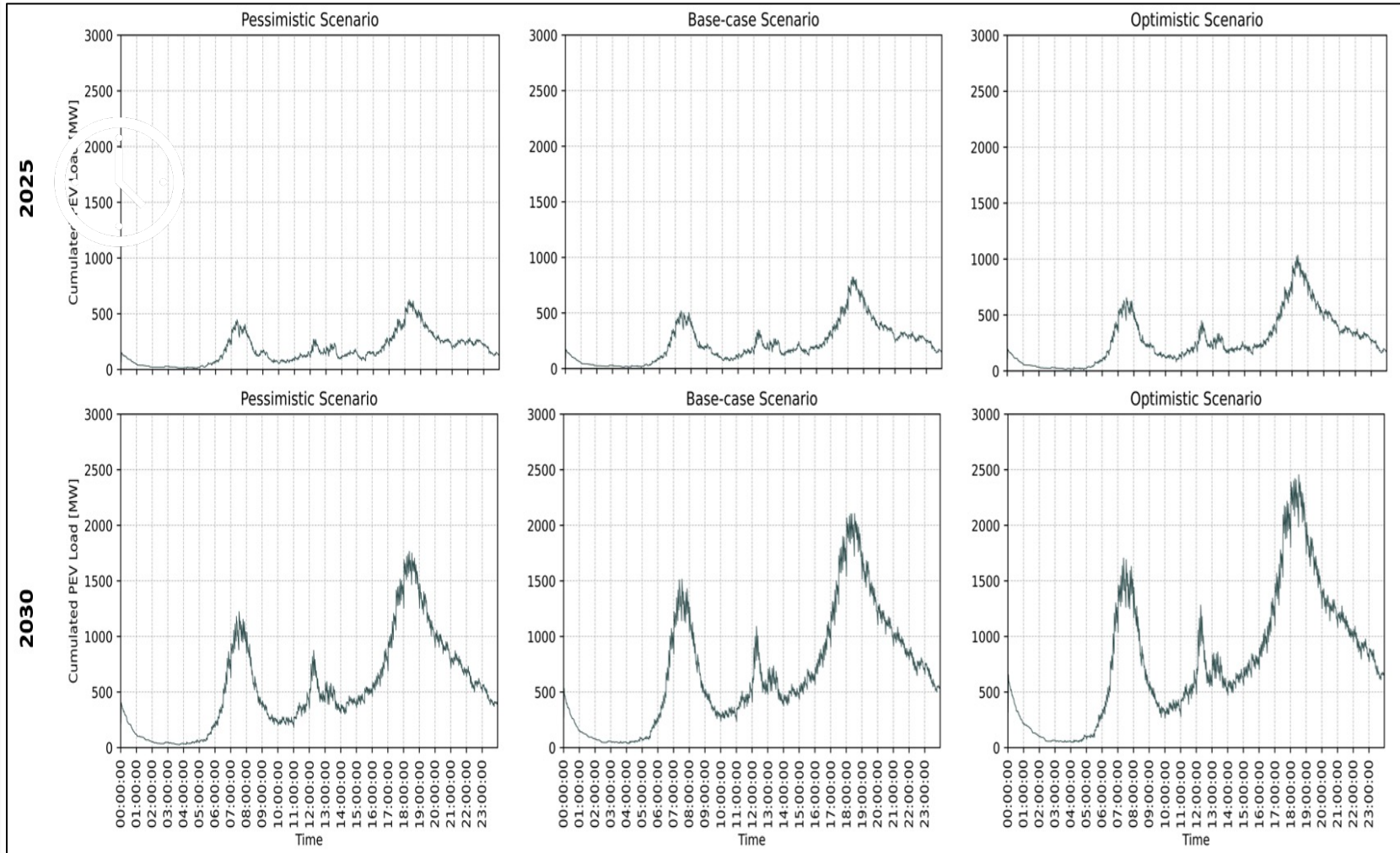
## Annahmen:

- Aus den Parkprofilen und Fahrzeuginformationen abgeleitet
- EVs laden Zuhause und auf der Arbeit
- Ansteckwahrscheinlichkeit 100%
- Ladeleistung 11 kW
- Sobald ein Fahrzeug an Wallbox ankommt lädt es mit voller Ladeleistung bis Batterie voll ist

# Ungesteuertes Laden

4

Ladeprofil



Topographie der Ladeprofile korreliert stark mit Parkprofilen

**Morgens und Abends eine Lastspitze**

- Ankunft am Arbeitsplatz (morgens) oder Zuhause (abends) ungesteuert laden
- Lastspitze Abends ist größer als morgens (Abends kommen mehr gleichzeitig an Stellplatz an)

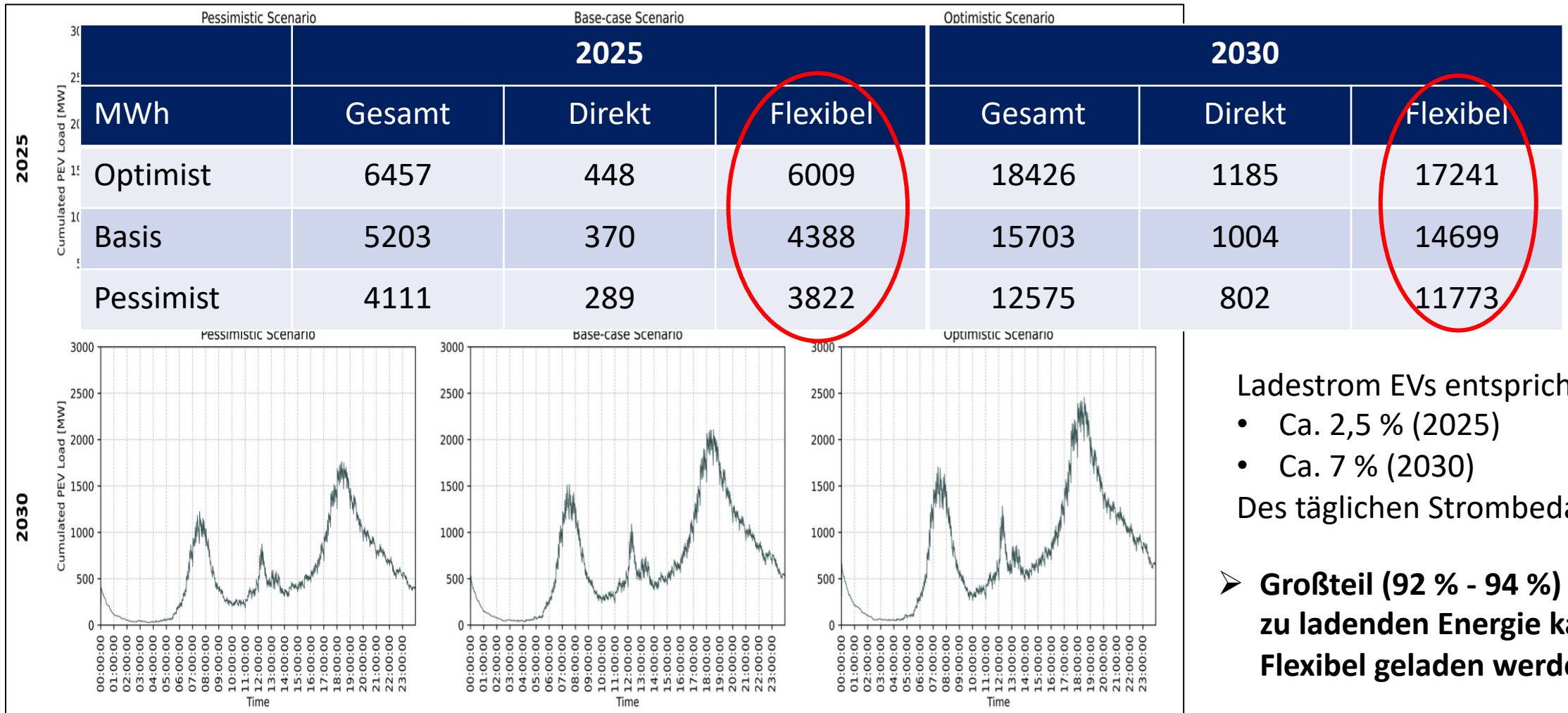
Last		
[MW]	Morgens	Abends
2025	400 – 600	600 – 1000
2030	1200 – 1700	1750 – 2450



# Ladestrommenge

4

Ladeprofil



Ladestrom EVs entspricht

- Ca. 2,5 % (2025)
- Ca. 7 % (2030)

Des täglichen Strombedarfs

➤ **Großteil (92 % - 94 %) der zu ladenden Energie kann Flexibel geladen werden!**

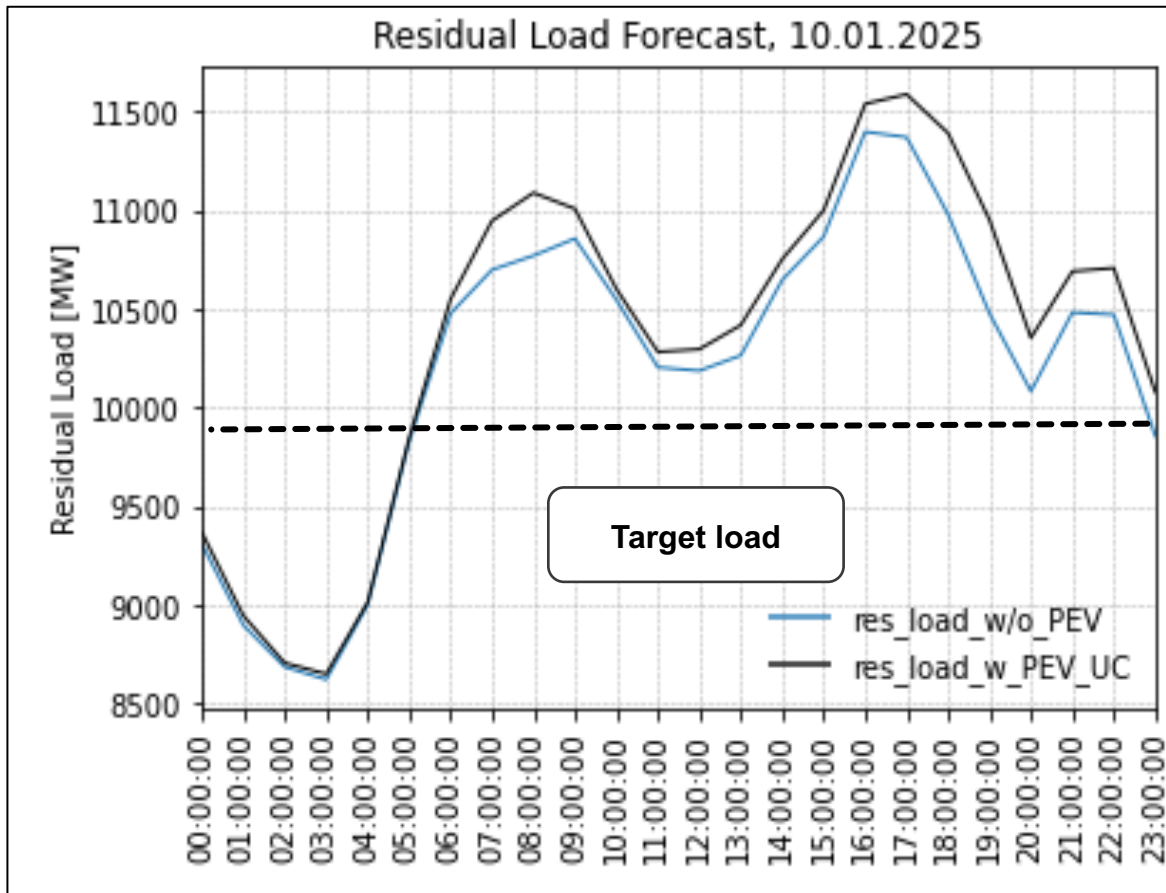




# Erweiterung um gesteuertes Laden

4

Diffusion



Für gesteuerten Ladens ist Strategie notwendig:

- Preisoptimiert
- Grünstromoptimiert
- Lastglättung

Lastglättung zielt darauf ab, durch **Steuerung der Ladevorgänge die Residuallastspitzen zu reduzieren**

- Nichtlineares Optimierungsmodell

$$\min \sum_{t^h \in T^h} \left( \sum_{n \in N} (p_{t^h, n}^{PEV}) + p_{t^h}^{residual} - p_{t^h}^{target} \right)^2$$

s.t.

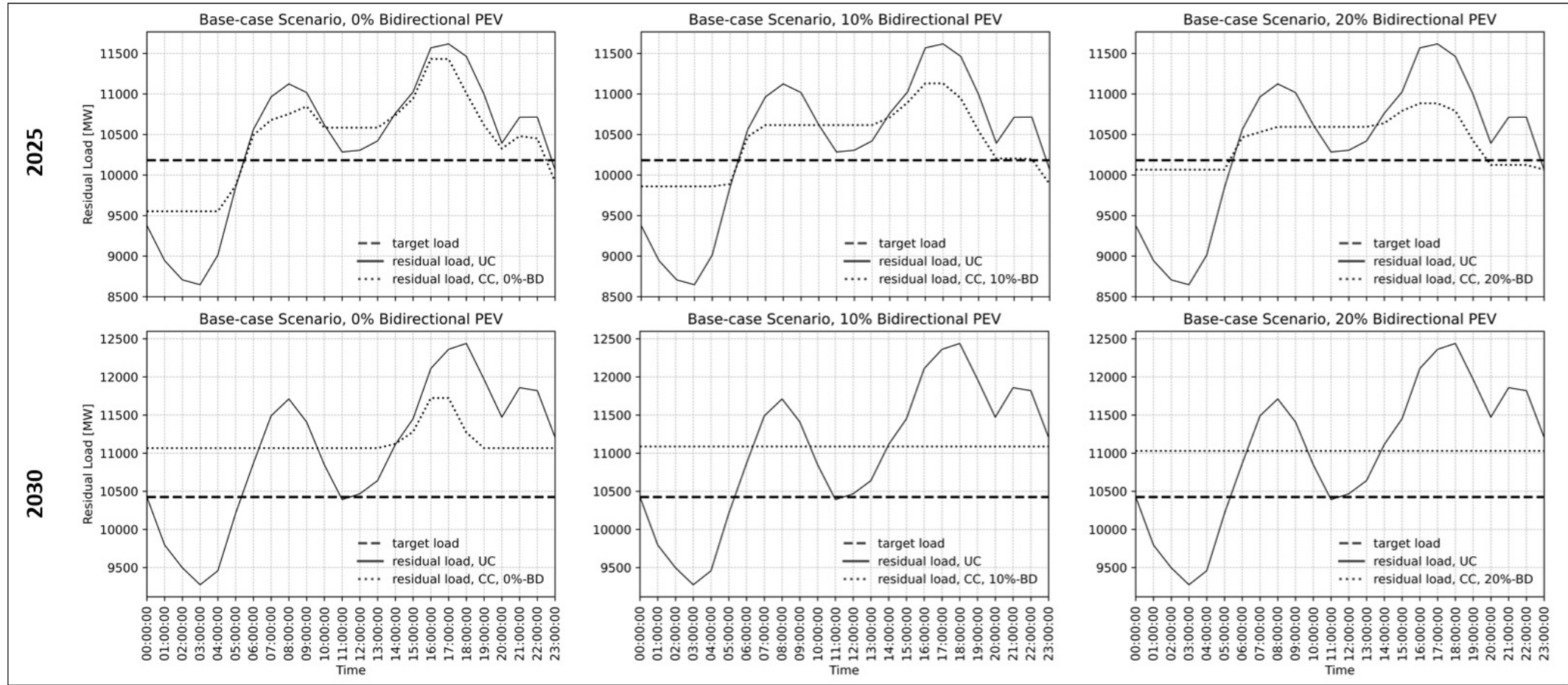
$$p_{t^h}^{target} = \frac{1}{T^h} \sum_{t^h \in T^h} p_{t^h}^{residual}$$

Und Ladeleistung, SOC, Nachfrage

# Gesteuertes Laden der EV-Flotte

5

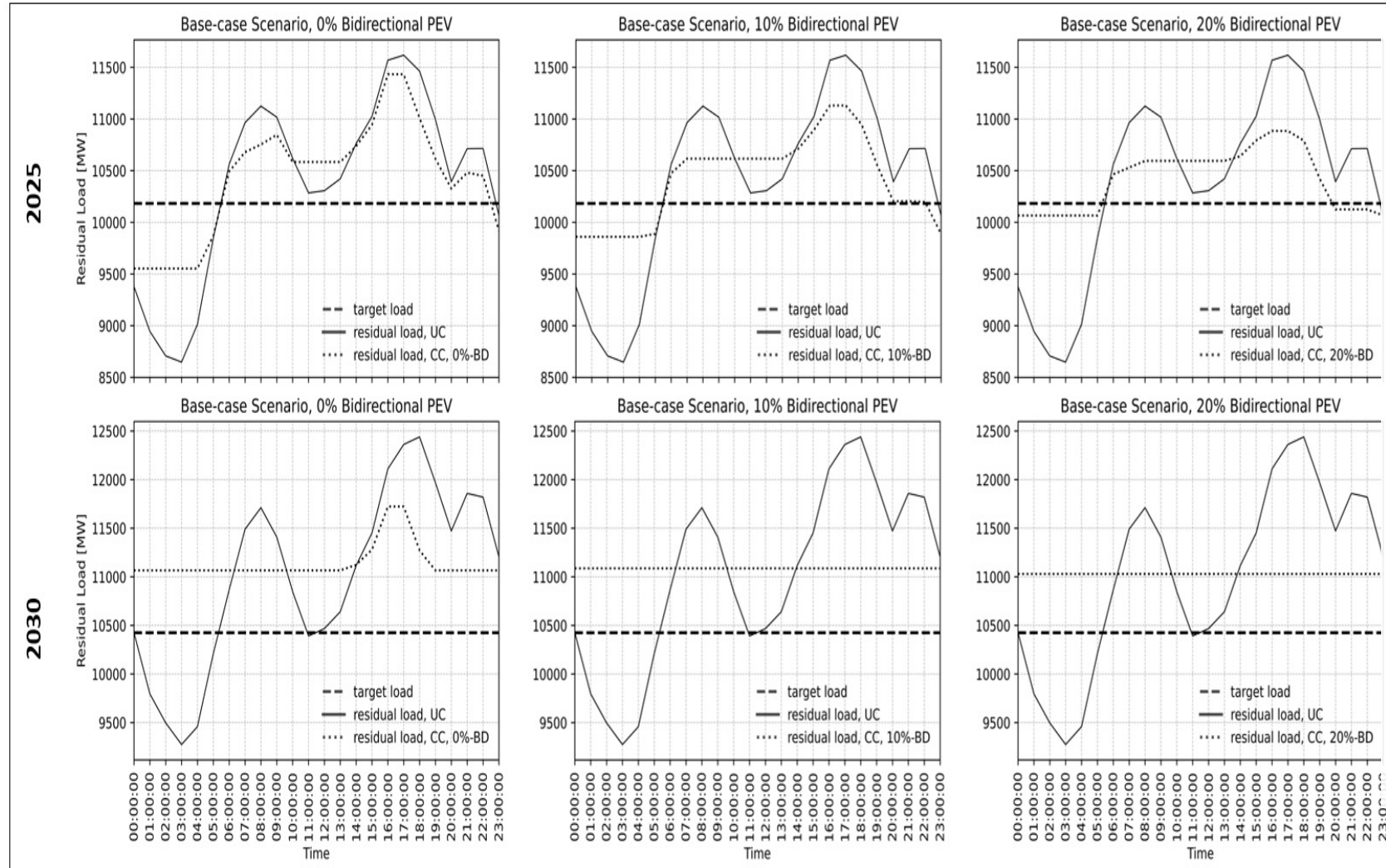
Gesteuertes Laden



# Gesteuertes Laden der EV-Flotte

5

Gesteuertes Laden



## Ungesteuert:

- Lastspitzen der EVs und der Residuallast überschneiden sich
  - Erhöhung der Lastspitzen
    - 1,8% und 2,2% (2025)
    - 7,4% und 8,7% (2025)

## Smartes unidirektionales Laden:

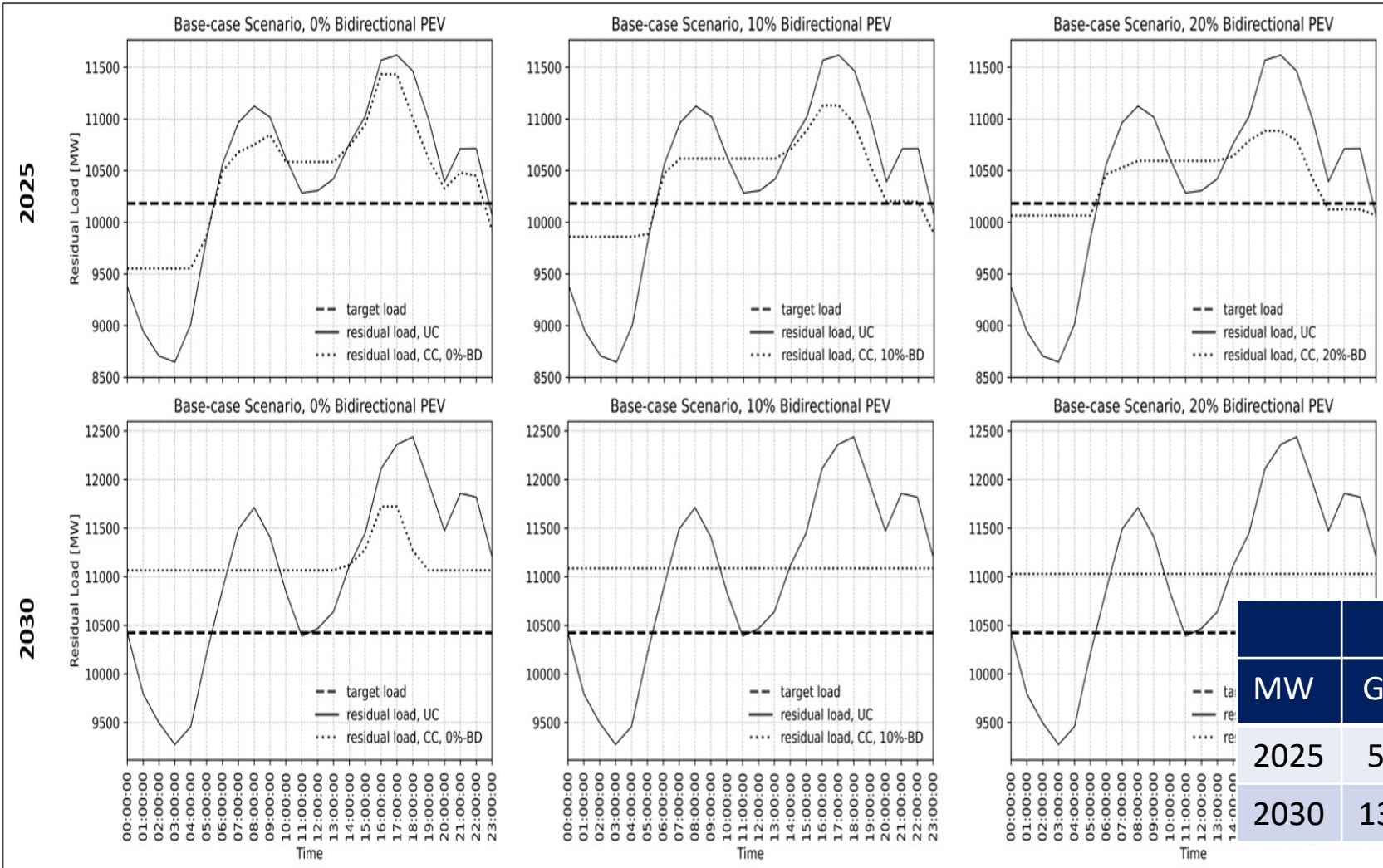
- Erhebliche Reduktionspotential
- 2025: Kleine Flotte und folglich geringe Lastsenkung
- 2030: Große Flotte führt zu erheblicher Glättung der Residuallastreduktion:
  - 2025: 200 – 300 MW
  - 2030: 600 – 700 MW





# Gesteuertes Laden der EV-Flotte

Gesteuertes Laden



- Bidirektionale Flottenanteile erhöhen das Lastglättungspotential
- Residuallastreduktion
  - 700 GW (2025)
  - 1,5 GW (2030)
- Kleine Anteile bidirektionale EV haben großen Effekt
- Anteil Vehicle-2-Grid an Lastglättung größer 50 %

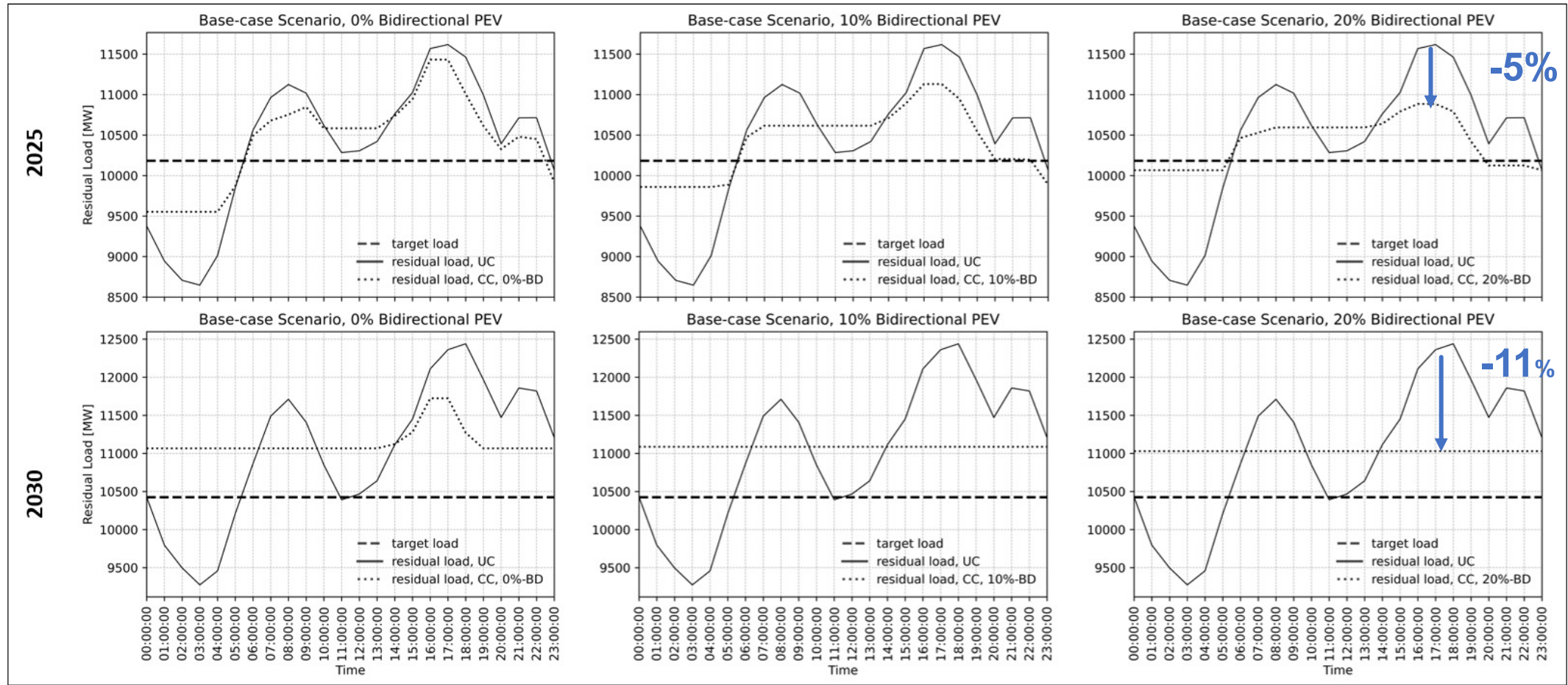
MW	10 % BiDi			20 % BiDi		
	Ges.	Uni	BiDi	Ges	Uni	BiDi
2025	500	150	350	700	75	625
2030	1300	650	650	1450	750	700



# Gesteuertes Laden der EV-Flotte

5

Gesteuertes Laden





# Zusammenfassung und Ausblick

Elektrofahrzeuge haben aggregiert vergleichsweise kleine Speicherkapazitäten

- Aber sehr große (Anschluss-)Leistungen
- EVs sind Kurzfristspeicher; Für saisonale Speicherung absolut nicht geeignet!

Elektrofahrzeuge stehen den Großteil des Tages geparkt

- Größter Teil der Energie kann flexibel geladen werden, ohne Kunde in seiner Mobilität einzuschränken

Elektrofahrzeuge (ohne Ladesteuerung) verstärken Lastspitzen, da Fahrtzeiten auf traditionelle morgendliche und abendliche Spitzenzeiten fallen

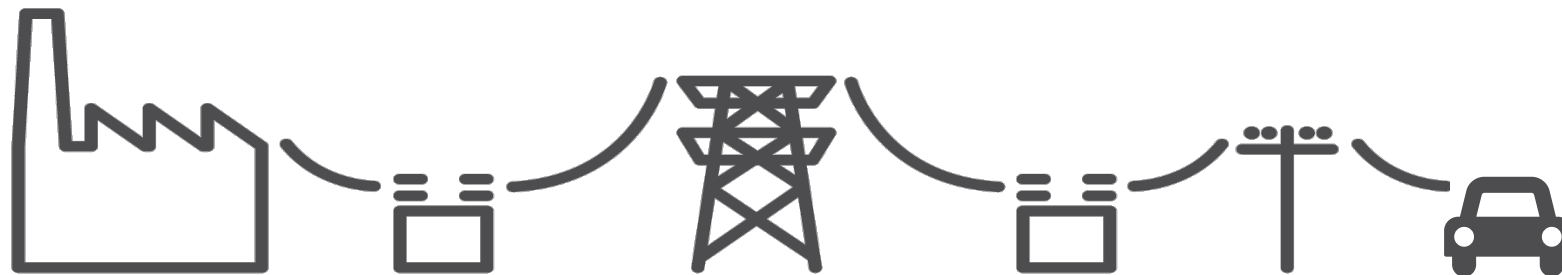
Unidirektionales gesteuertes Laden kann bereits durch verschieben der Ladezeiten erhebliches Flexibilitätspotential bereitstellen

- Bis zu 700 MW Reduktion

Bidirektionale Ladetechnologie vergrößert Flexibilitätspotential

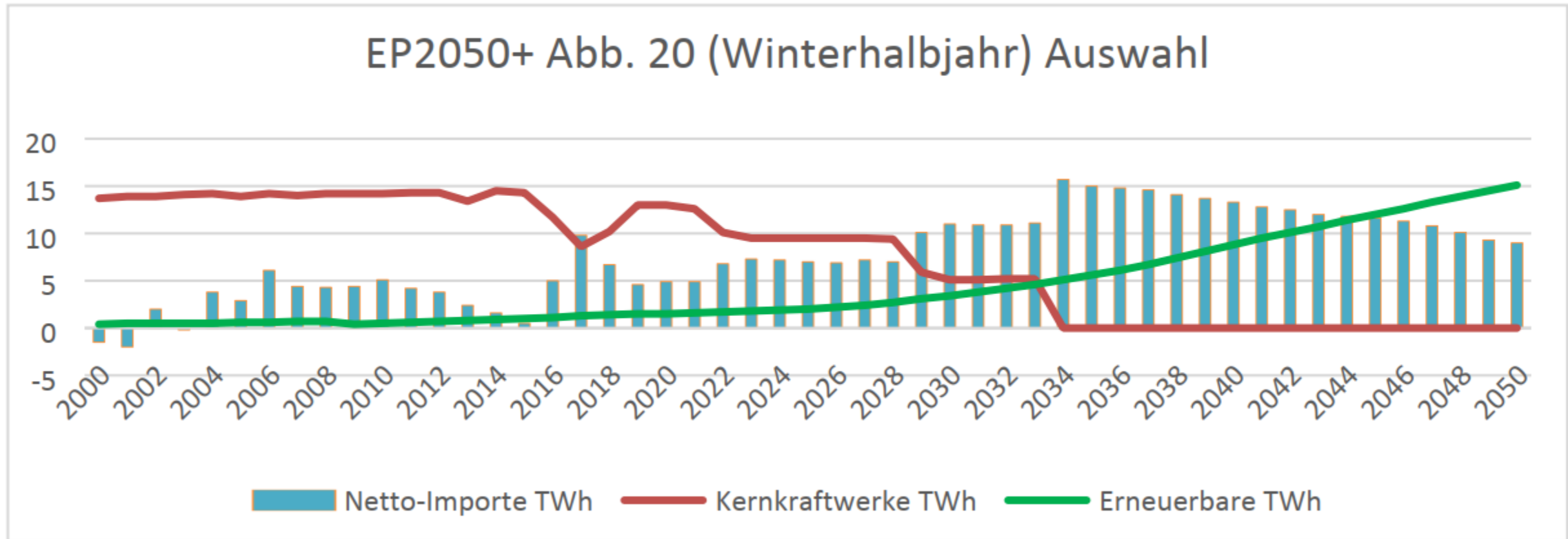
- In Rechnungen jedoch Flexibilitätspotential 2030 niedriger, da bereits smartes Laden große Teile der Last glättet!
- Vergleichsweise kleine Flottenanteile V2G (10 % - 20 %) in Case-Study ausreichend
- Größere Flottenanteile bringen keine weiteren Vorteile

Vielen Dank!

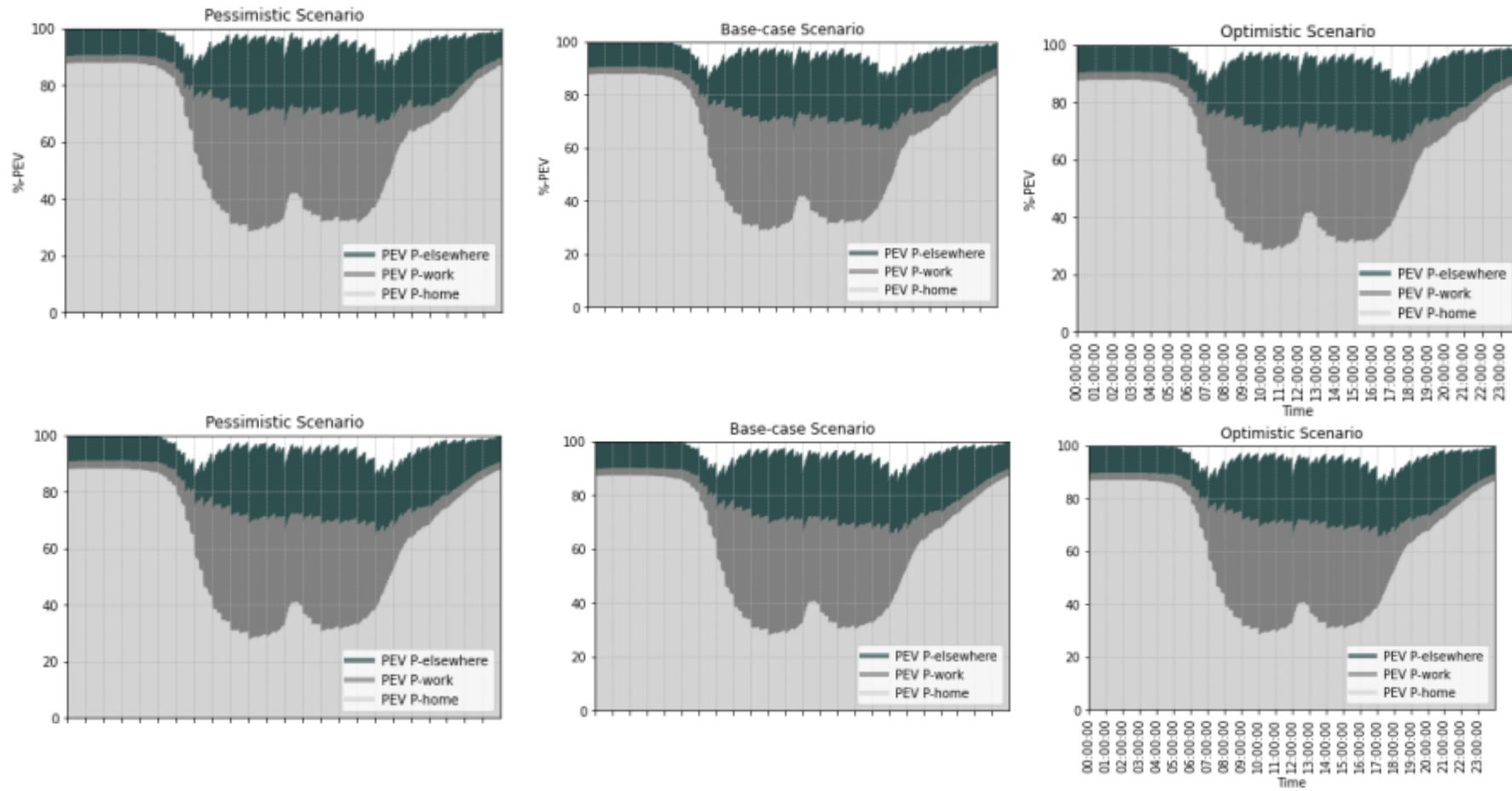


# Backup

- Import requirement



# Backup



# Zu den Autoren der Studie



## **MSc Tim Signer**

- BSc und MSc Wirtschaftsingenieurwesen am KIT
- Energiemarktmodellierung
- Marktintegration Elektromobilität V2G

## **MSc Elia Limarzo**

- BSc in Automobiltechnik an der BFH
- MSc in Mobility Systems Engineering and Management am KIT  
Thesis: The Future Contribution of Controlled Charging and V2G in Securing the Swiss Electrical Supply
- Seit 3 Jahren beim Touring Club Schweiz als Projektleiter Test und Technik

