

edna Fachkonferenz  
21. November 2019

# Einfluss der Elektromobilität auf die Verteilnetze

Alexandra März

Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)  
Lehrstuhl für Energiewirtschaft



# Ziel: Pariser Klimaabkommen 2015

## Ziel



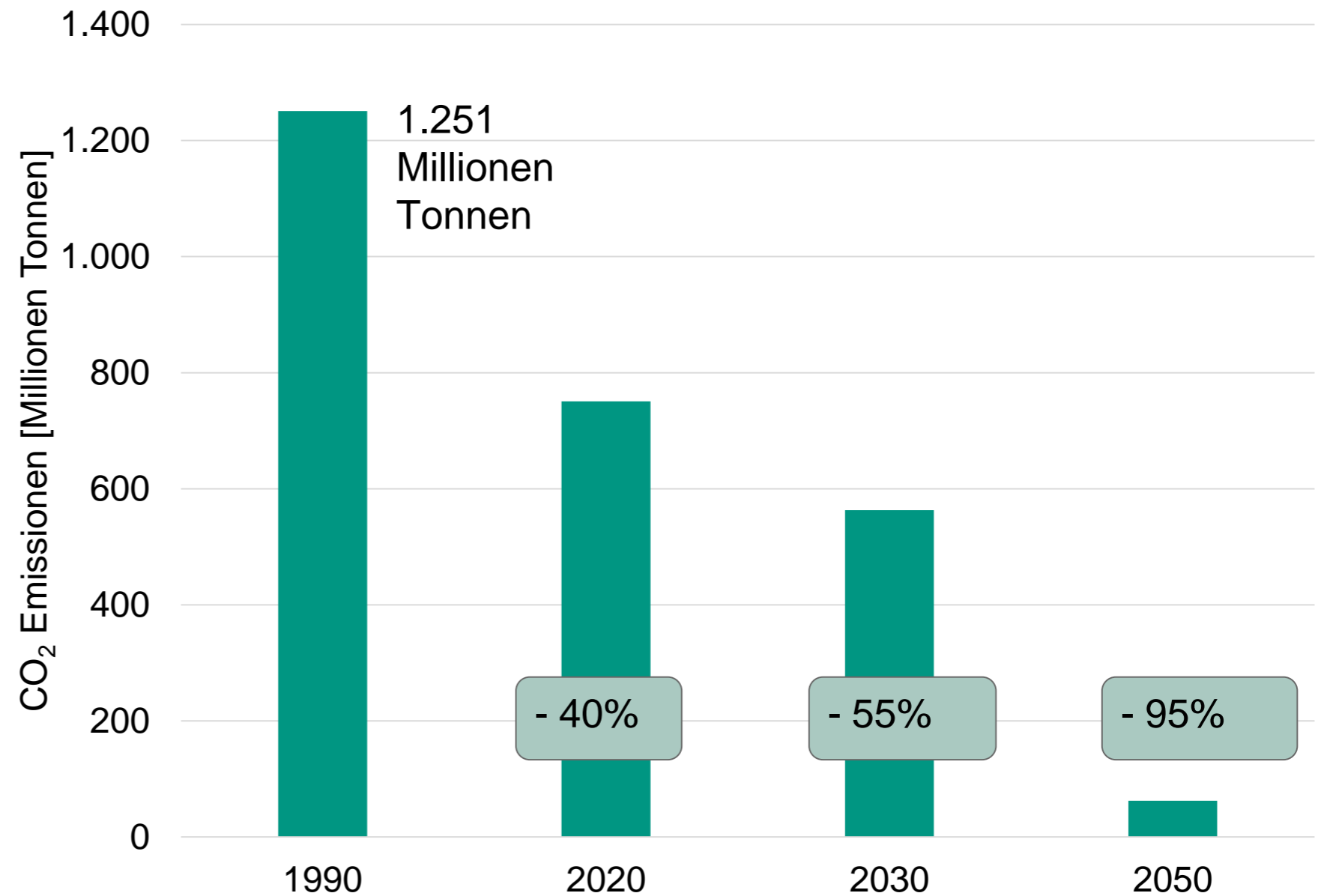
COP21 • CMP11  
**PARIS 2015**  
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE

# Konsequenz: CO<sub>2</sub>- Emissionsreduktion

## Ziel



## Konsequenz

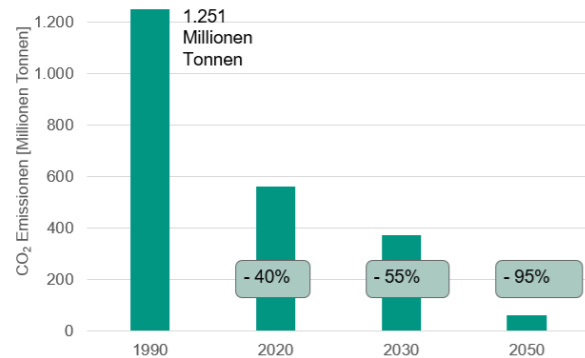


# Status quo: CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland

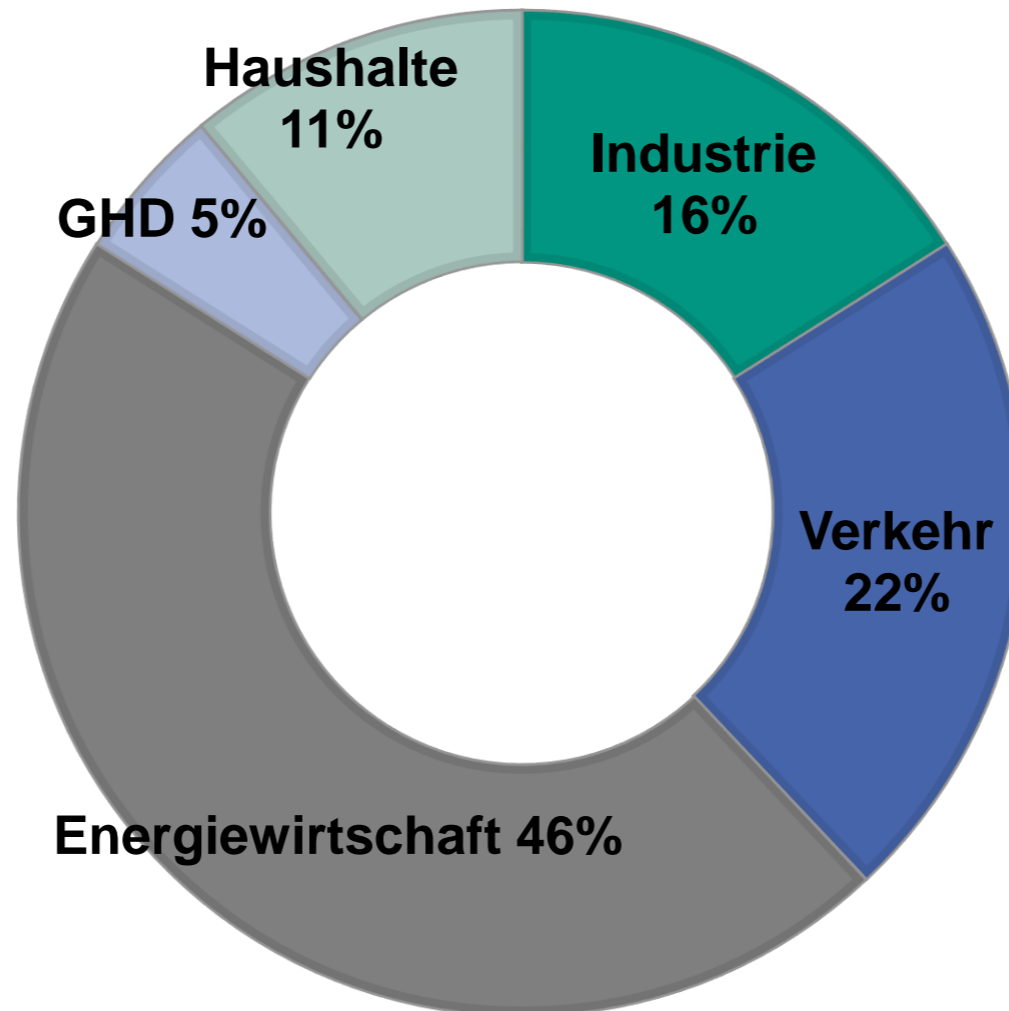
## Ziel



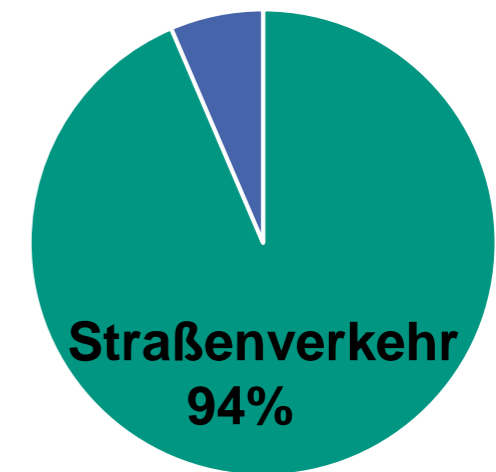
## Konsequenz



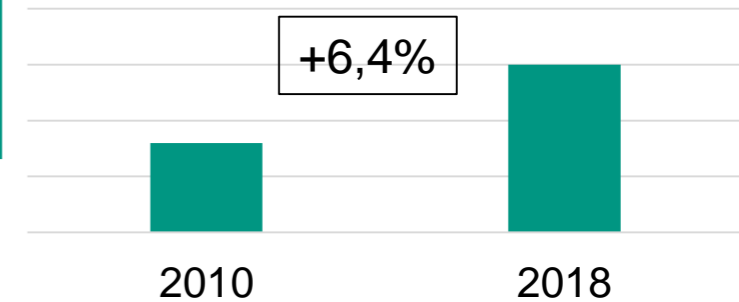
## CO<sub>2</sub>-Emissionen



## Verkehrssektor



## CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr

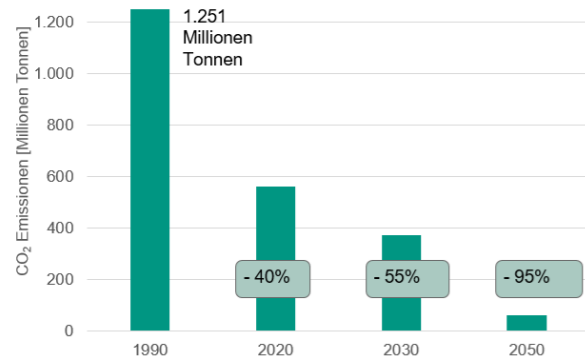


# Zukunft: Transformation im Verkehrssektor

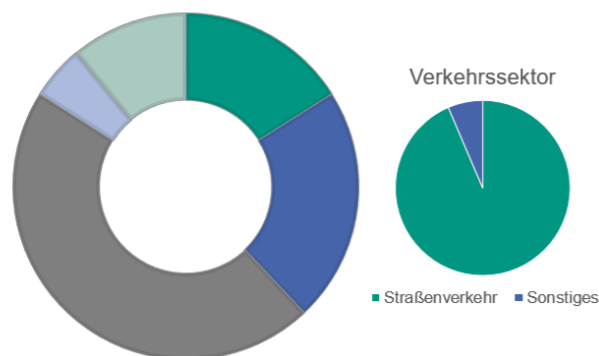
## Ziel



## Konsequenz

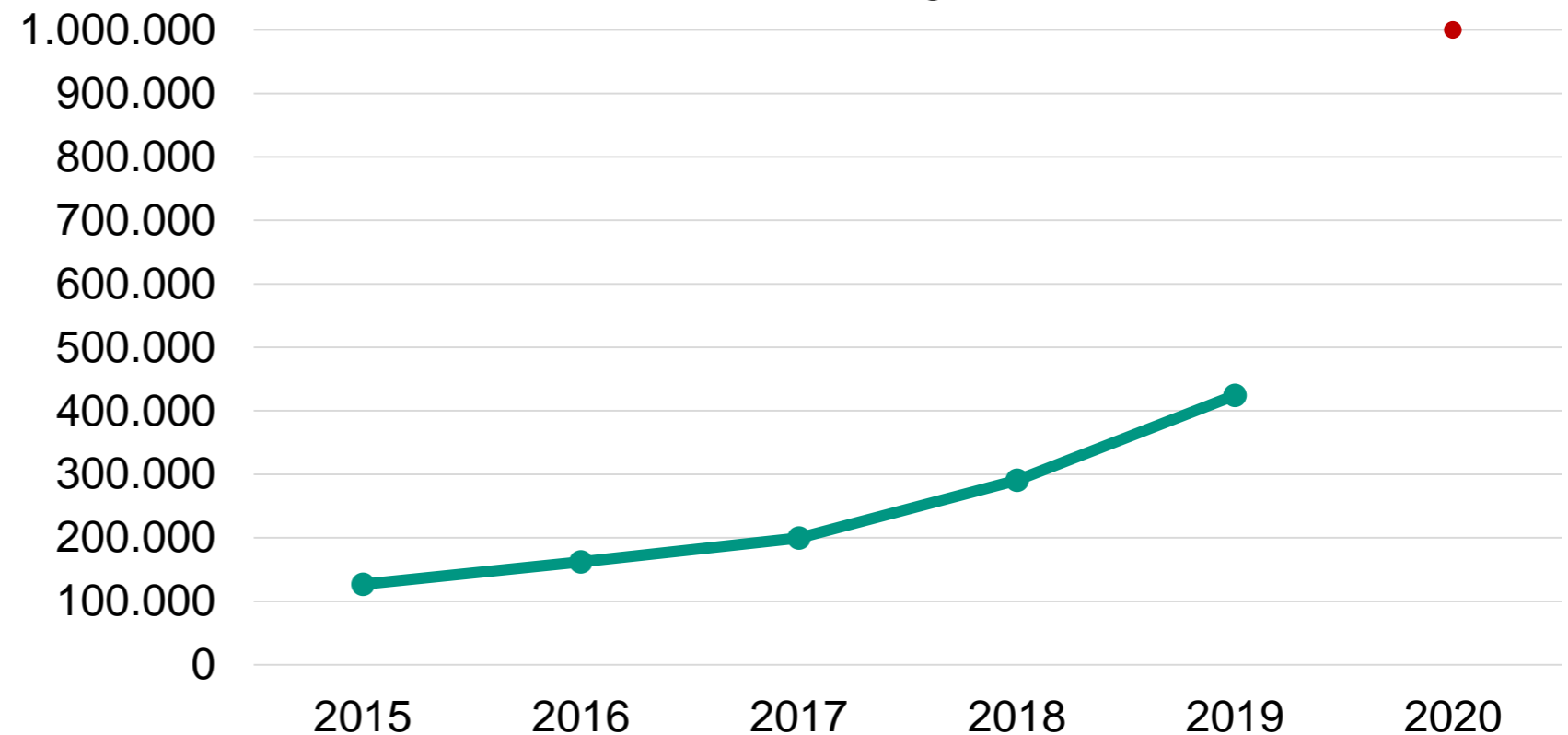


## CO<sub>2</sub>-Emissionen



## Elektromobilität als Schlüsseltechnologie

### Bestand Elektrofahrzeuge in Deutschland

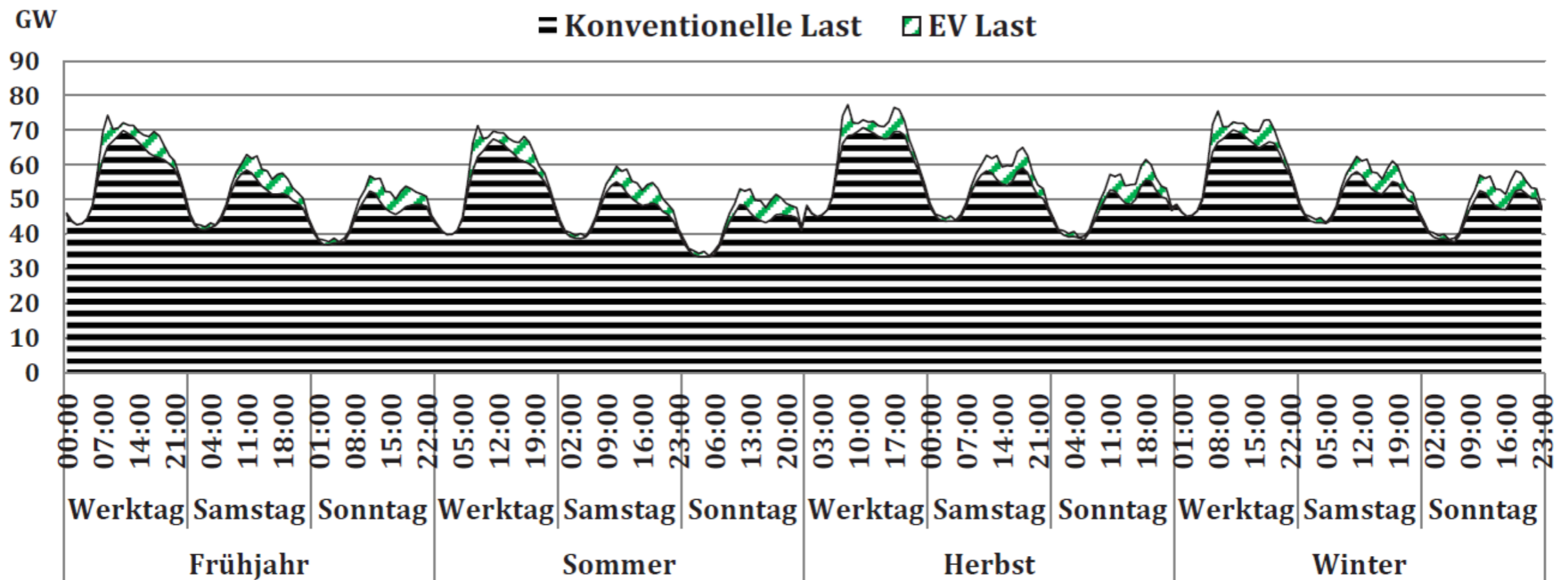


### Ziele

- 2022:** 1 Million Elektrofahrzeuge (2,5% Marktanteil)
- 2030:** 6 Millionen Elektrofahrzeuge (ca. 15% Marktanteil („optimistisch“))

# Einfluss der Elektromobilität auf die Gesamlastkurve

- Gesamlastkurve (D) 2030 ungesteuertes Laden und ca. 15% E-Pkw (~ 6 Millionen E-Pkw)



- 2,3% der Strommenge (13 TWh)

(Annahme: Durchschnittlicher Verbrauch: 18 kWh/100 km, jährliche Fahrleistung: 12.000 km)

→ Die zusätzliche Energiemenge stellt keine Herausforderung für das Verteilnetz dar.

→ Verteilung des zusätzlichen Energieaufkommens?

# Hotspot-Potenzial: Örtlichkeit und Ladekategorie

- Projekt Matrix: Identifikation von zukünftigen E-Pkw Hotspots (Anteiliges Energieaufkommen)

		Örtlichkeit		
		Stadt	Speck	Land
<b>Privatgenutzte E-Pkw</b>	Heimladen	Light Blue	Dark Blue	Dark Blue
	Halböffentl. Laden	Dark Blue		Light Blue
	Öffentl. Laden	Light Blue		Light Blue
<b>Flotten-E-Pkw</b>	Flottenladen	Light Blue	Dark Blue	Light Blue

- Höchstes Hotspot-Potenzial resultiert aus Heimladen von privatgenutzten E-Pkw (Private + Dienstwagen) im Speckgürtel.
- Hotspot-Spitzenreiter je Örtlichkeit:
  - Stadt: Halböffentliches Laden
  - Speck: Heimladen
  - Land: Heimladen

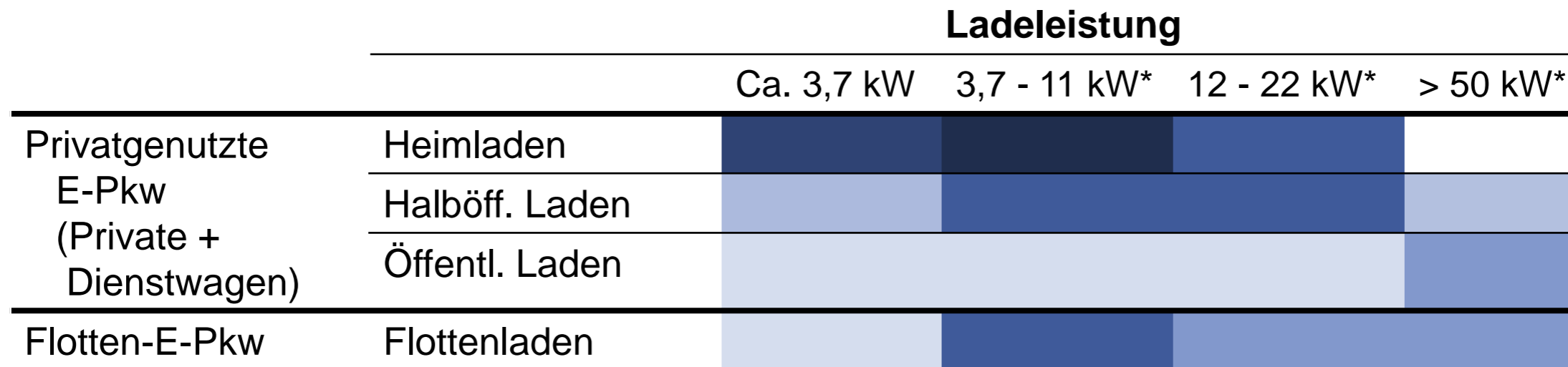
# Örtlichkeiten im Detail

		Örtlichkeit		
		Stadt	Speck	Land
<b>Privatgenutzte E-Pkw (Private + Dienstwagen)</b>	<b>Heimladen</b>	Light Blue	Dark Blue	Dark Blue
	<b>Halböffentl. Laden</b>	Dark Blue	Dark Blue	Light Blue
	Arbeitgeber Laden	Light Blue	Light Blue	Light Blue
	HUB, Kurzparker	Light Blue	Light Blue	Light Blue
	Parkhaus, Langparker	Light Blue	Light Blue	Light Blue
	<b>Öffentl. Laden</b>	Light Blue	Light Blue	Light Blue
	Laternenparker	Light Blue	Light Blue	Light Blue
	HUB-Autobahn	Light Blue	Light Blue	Light Blue
	<b>Flotten-E-Pkw</b>	<b>Flottenladen</b>	Light Blue	Dark Blue
Arbeitgeber Laden		Light Blue	Light Blue	Light Blue
HUB-Autobahn		Light Blue	Light Blue	Light Blue



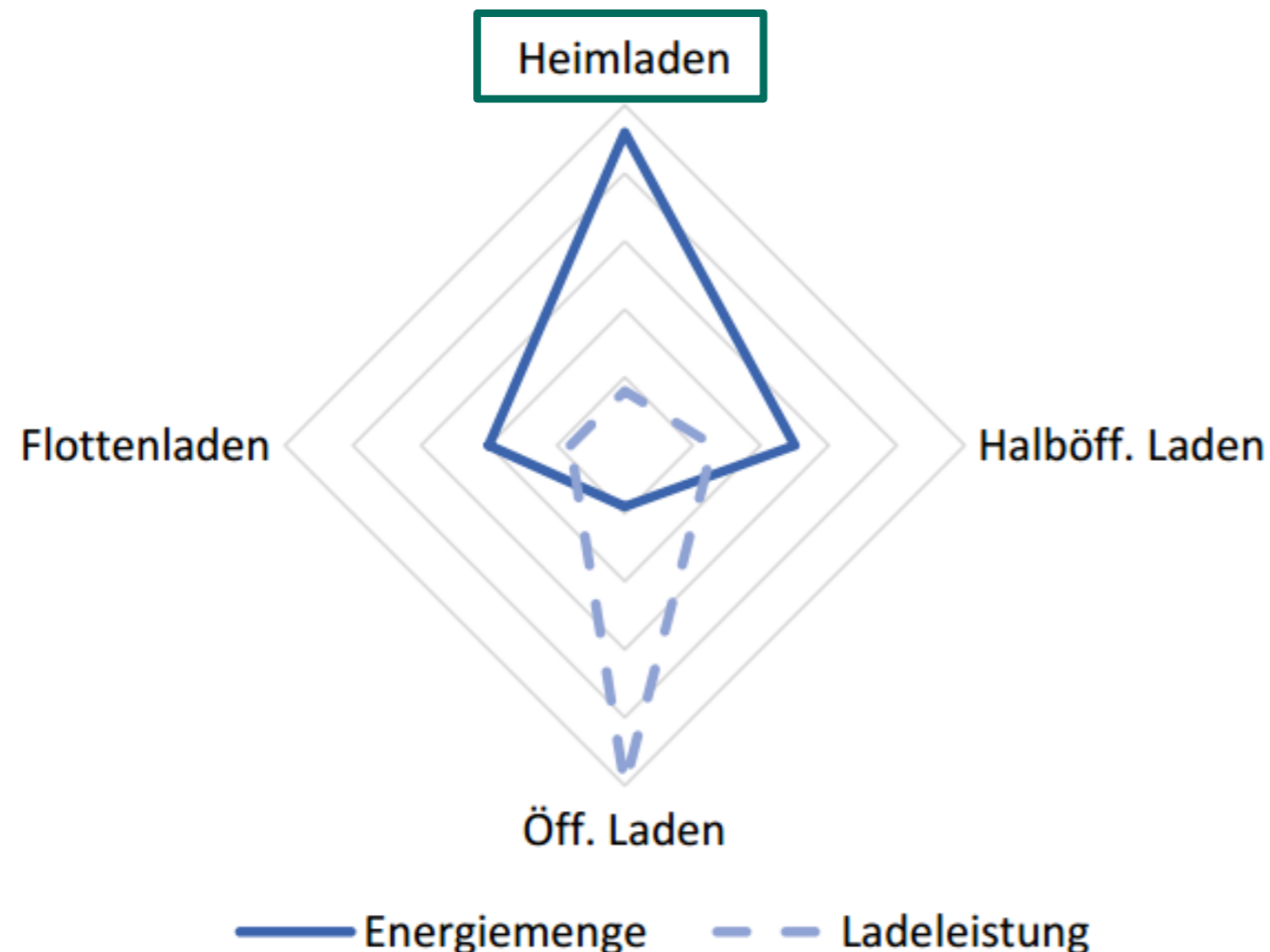
# Hotspot-Potenzial: Ladeleistung und Örtlichkeit

- Ladeleistung in Abhängigkeit der Ladekategorie:



- Heimpladevorgänge mit geringerer Ladeleistung (Meldepflicht)  
→ Netzausbau bei Nichtsteuerbarkeit?
- Öffentliches Laden/Flottenladen: hohe Ladeleistung (Kostenübernahme)

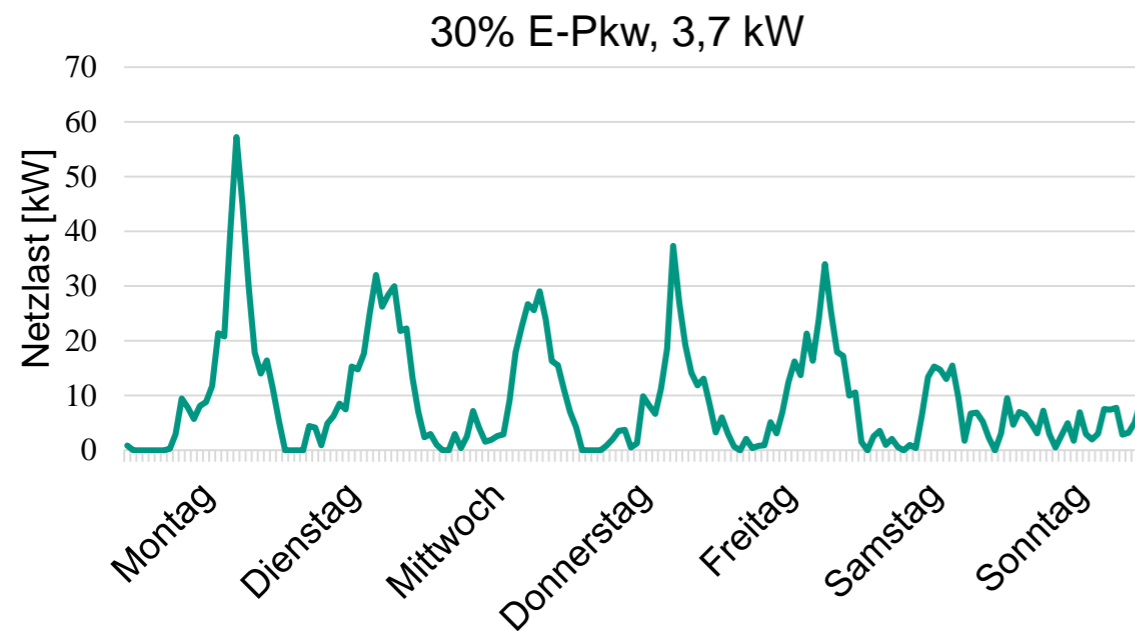
\* Meldepflicht beim Netzbetreiber



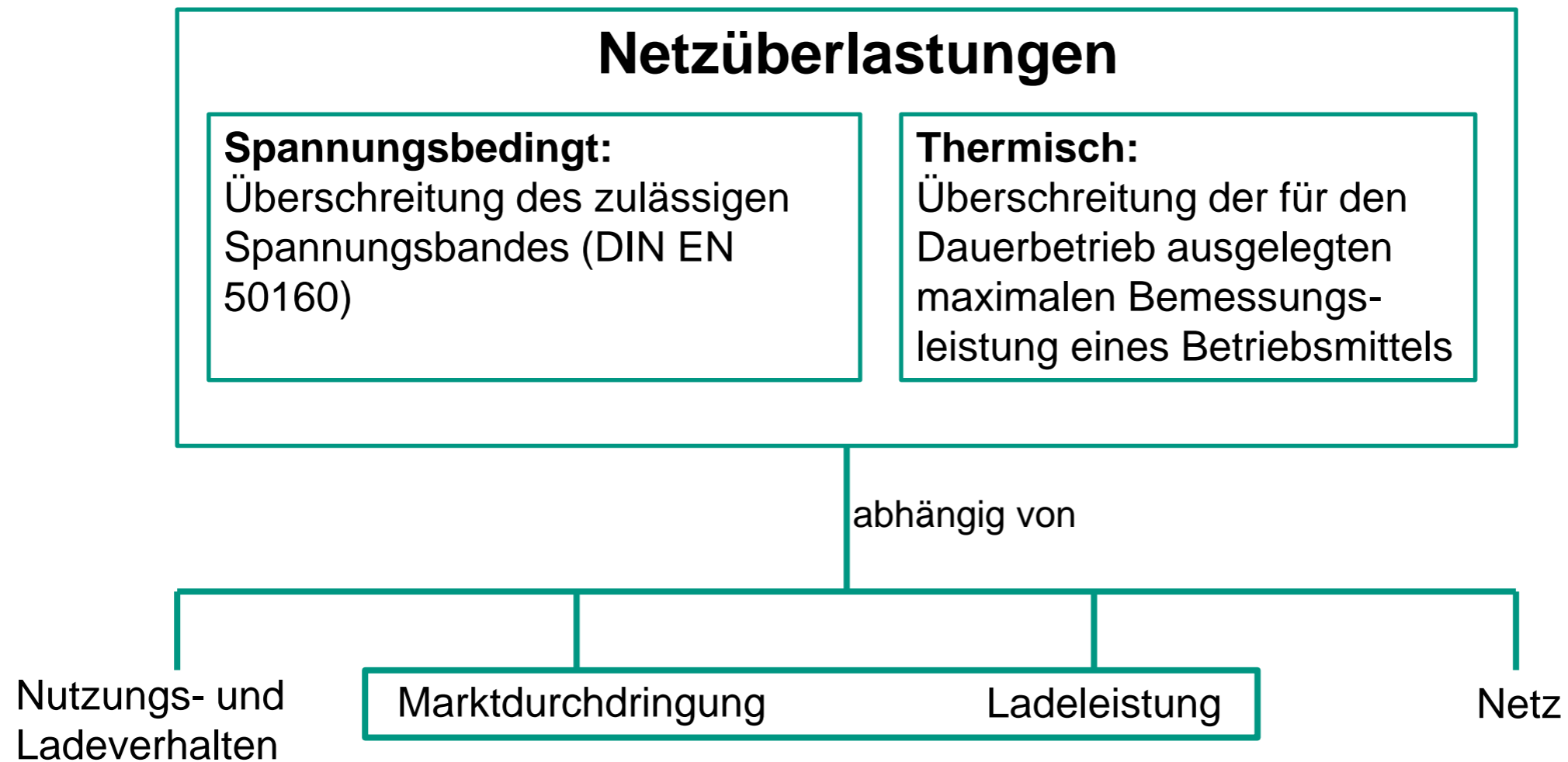
- Hotspot-Potenziale hängen stark von Ladekategorie und Ladeleistung ab.
- **Hotspot-Potenzial hinsichtlich Energiemenge:** Heimpladen (Speckgürtel, Land) von privatgenutzten E-Pkw.
  - Aber nur geringe Ladeleistung
  - Aber Unwissenheit über LIS-Ausbau kann eine Herausforderung für den Netzbetreiber darstellen.
- **Hotspot-Potenzial hinsichtlich Ladeleistung:** Öffentliches Laden.
  - Aber nur geringe Energiemenge
  - Netzausbaukosten werden vom Betreiber getragen

## Ladezeiten und Ladeleistungen

- Verschneidung von zukünftigem Lade- und Mobilitätsverhalten mit Haushaltslastverlauf.
- Lastgang für ungesteuertes Laden zeigt einen typischen Verlauf mit tiefen Nachttälern und hohen Abendpeaks.

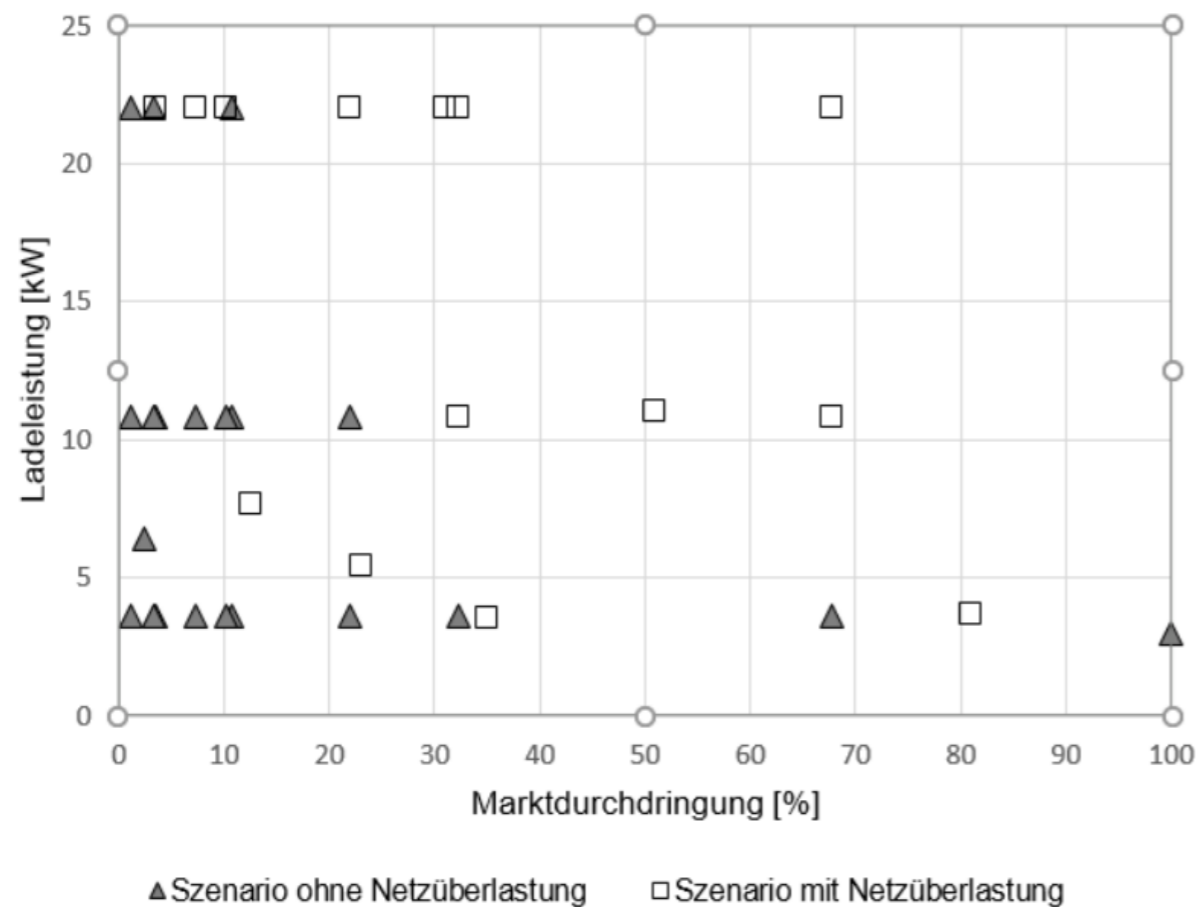


→ Die entstehenden Lastspitzen können für das Verteilnetz eine Herausforderung darstellen.

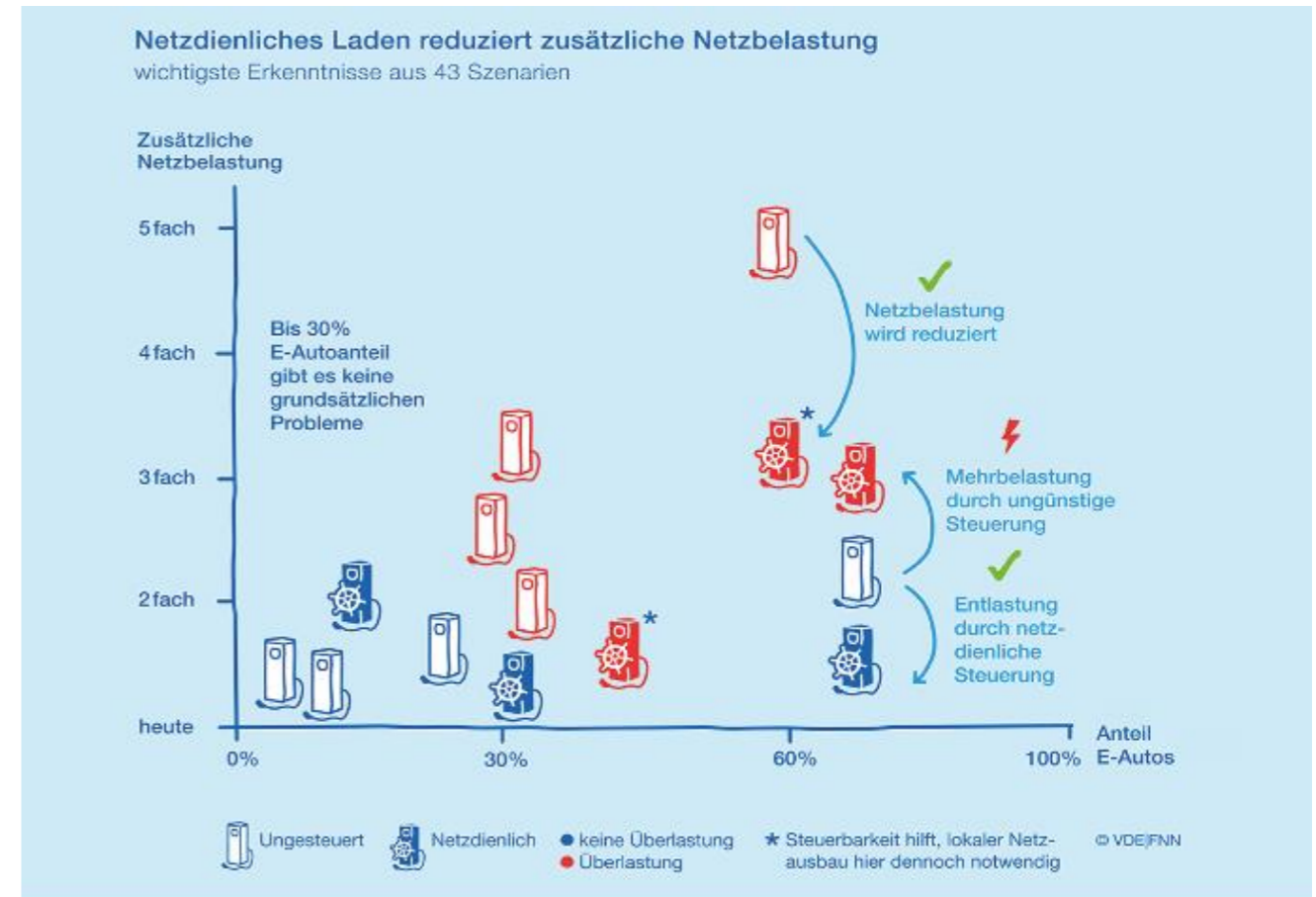


## Netzbelastenden Einflussfaktoren II

- Zusammenhang von Marktdurchdringung und Ladeleistung
- Abgleich unterschiedlicher Studien



Auf Basis der Szenarien aus verschiedenen Studien (Nobis (2016), Marwitz (2017), Probst (2014), Rolink (2013), Götz (2016))



NPM, Red-Flag-Bericht 10% E-Pkw Neuzulassungen, März 2019

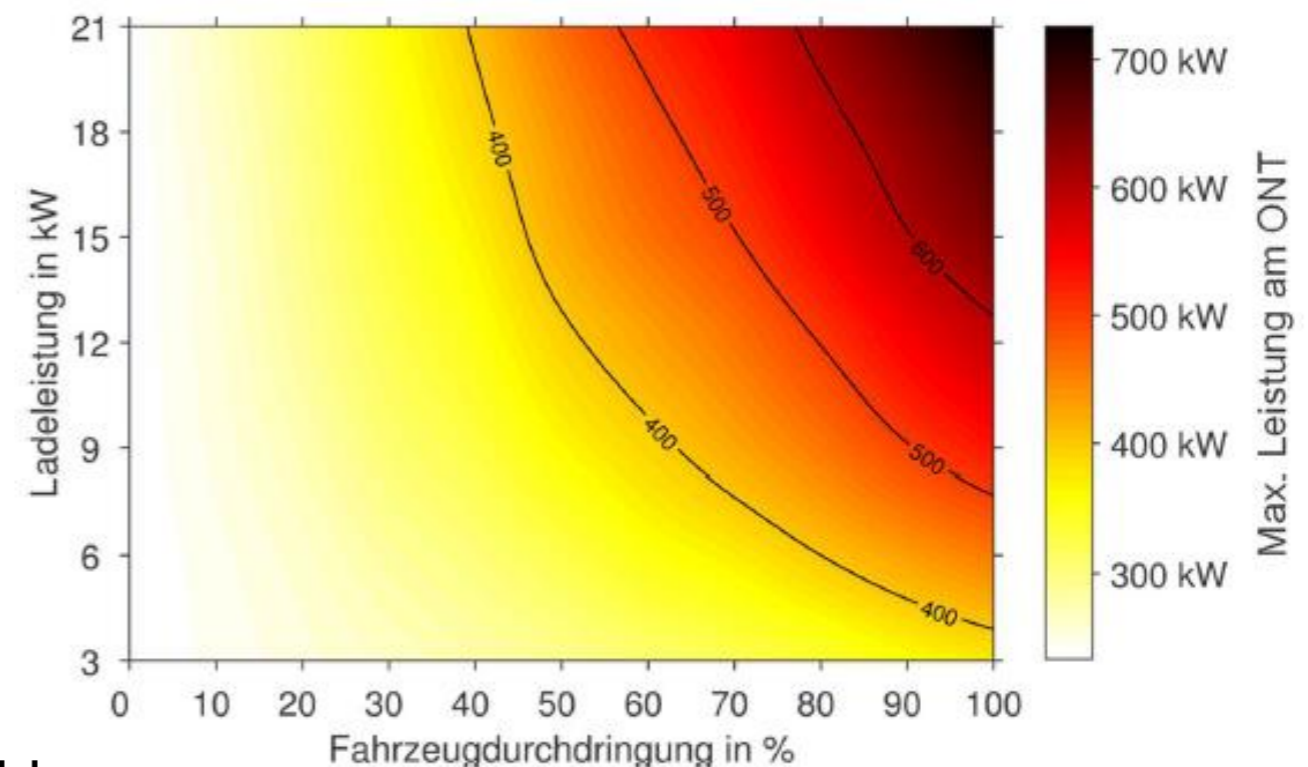
# Literaturlauswertung elektrotechnischer Dissertationen (TUM, TUC, KIT, US) mit dem Fokus auf das NS-Netz

- Keine Gefährdung bei geringen Ladeleistungen bis 2030 (ca. 15% E-Pkw)
- Ohne Laststeuerung kann es jedoch schon in Einzelfällen zu Instabilitäten kommen
- (Fast) keine Instabilitäten bei 100% E-Pkw und optimiertem Laden

- Netzauswirkungen hängen stark ab von:

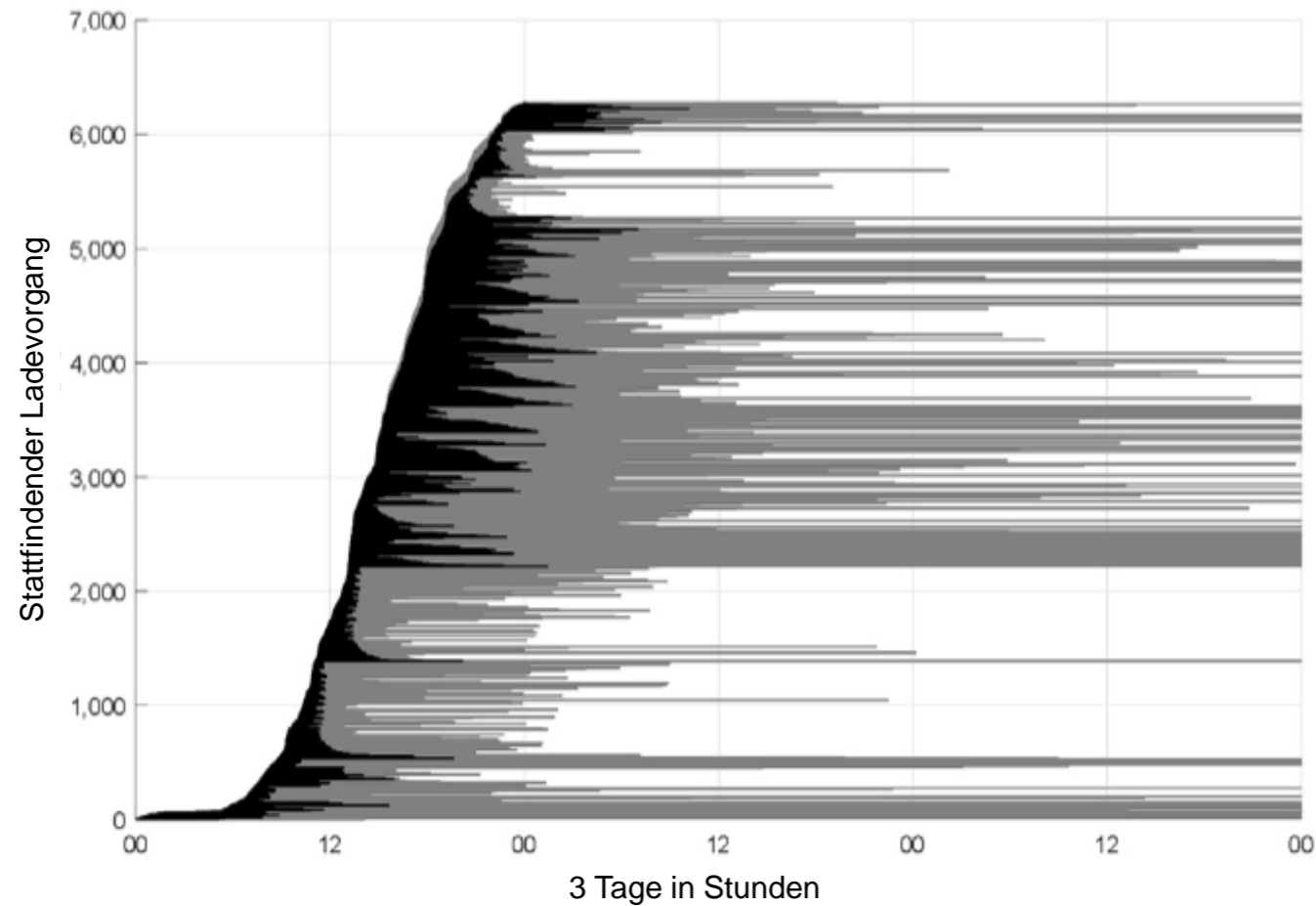
- Netztopologie
- Marktdurchdringung
- Ladeleistung
- Ladeverhalten der E-Pkw Nutzer (Gleichzeitigkeit)

- Bis 10% Marktanteil in einer Straße scheint es nur in Einzelfällen Handlungsbedarf zu geben!
- Ladesteuerung scheint für >2030 unausweichlich!



Stöckl 2014 TUM, Nobis 2016 TUM, Götz 2016 TUC, Marwitz 2017 KIT, Probst 2014 US

# Flexibilitätspotenzial bei E-Pkw

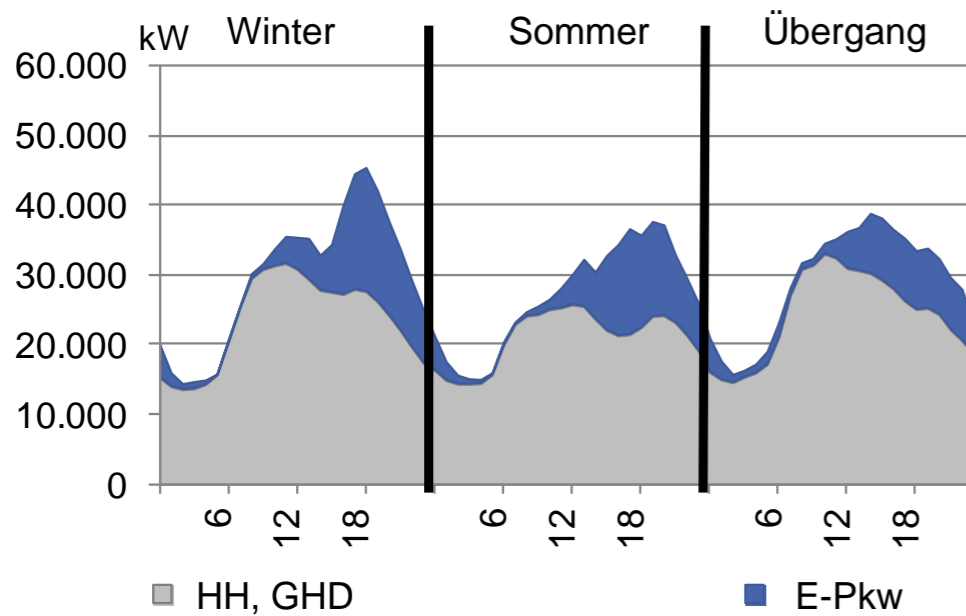


Schäuble et. al (2017)

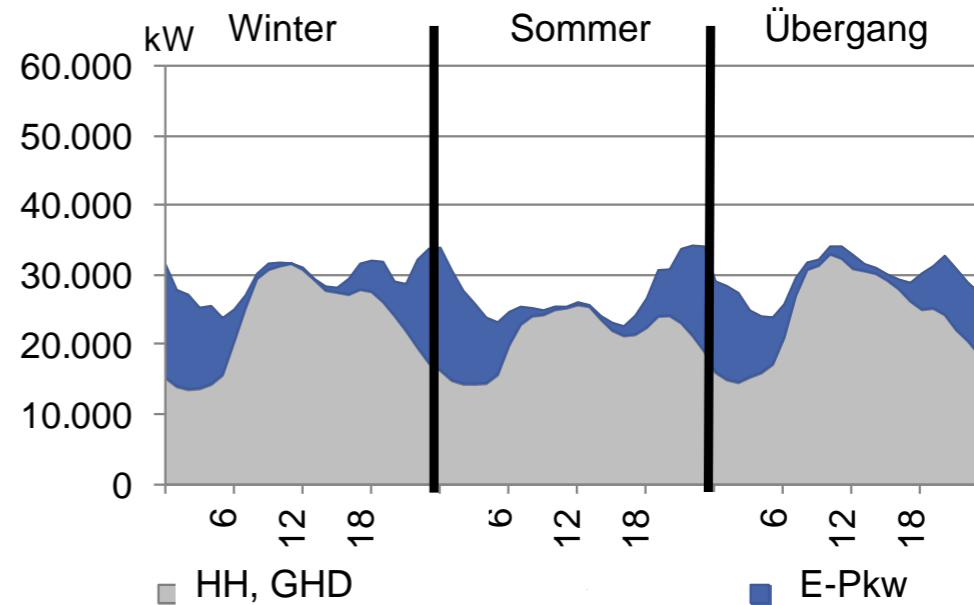
- Häufig ist die Ladedauer kürzer als Einsteckdauer  
→ Flexibilitätspotenzial

# Auswirkungen durch Laststeuerung

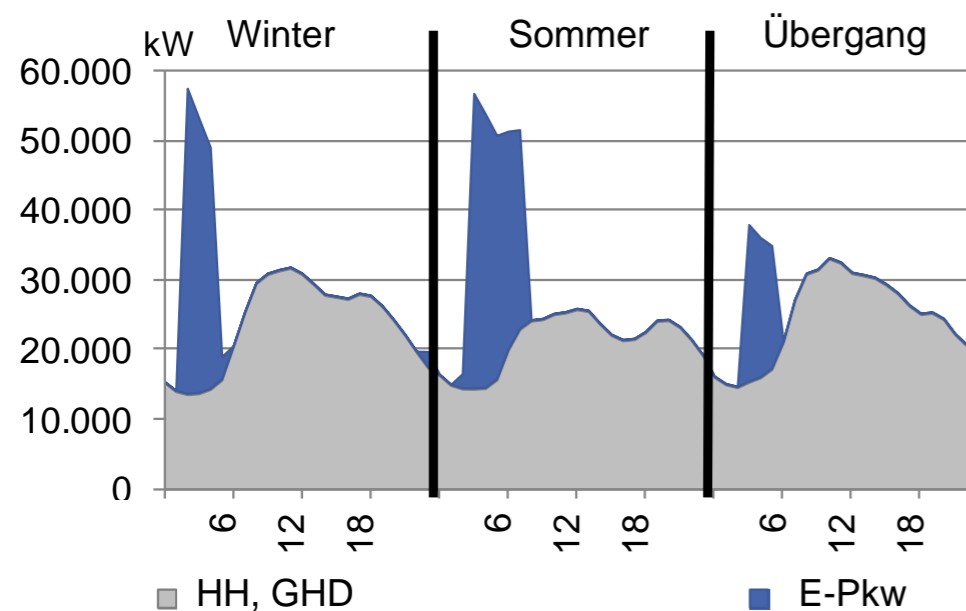
## Sofortiges Laden: Neue Lastspitzen



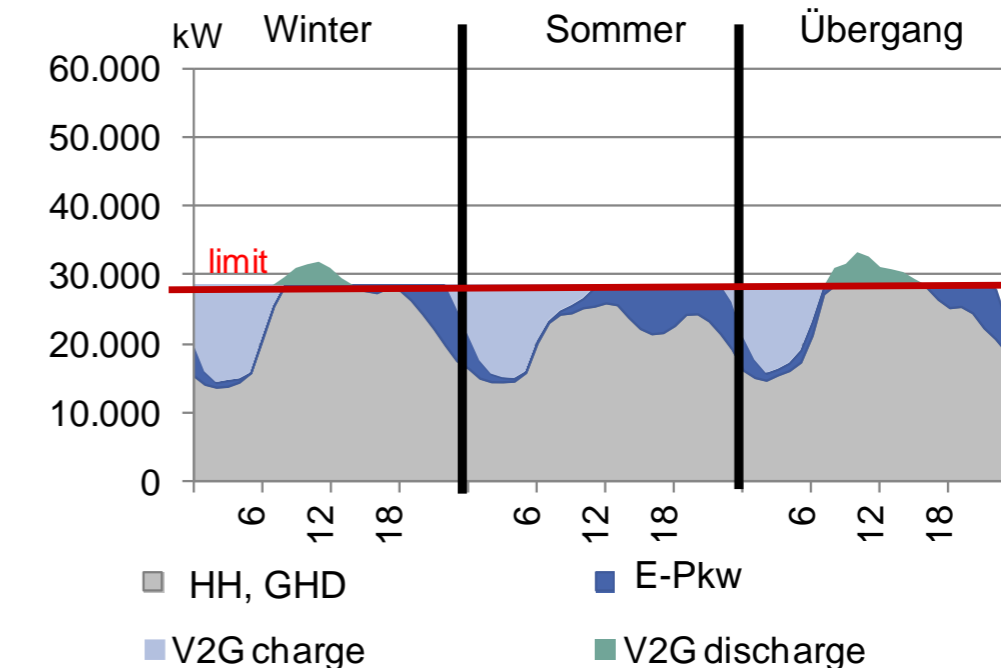
## Zeitverzögertes Laden: Gleichmäßiger Bezug



## Time of Use Tariff: Höhere Lastspitzen?



## Bidirektionales Laden: Reduktion Spitzenlast



Quelle: MerigioMobil



# Zusammenfassung

## ■ Heterogenität der Verteilnetze

- Die meisten E-Pkw werden heute **zu Hause oder beim Arbeitgeber** geladen. Dies führt zu einer hohen Gleichzeitigkeit der Ladevorgänge, welche wiederum das Stromnetz belasten.
- **Verteilnetze** sind am stärksten betroffen und wenige Ladevorgänge mit 22 kW in den Abendstunden könnten bereits zu Engpässen führen.
- Ernsthafte Netzengpässe durch E-Pkw werden erst ab **höheren Marktpenetrationsraten** bei ca. 10% erwartet (ca. 2030 – regional ggf. auch früher!). Durch den zeitverzögerten Netzausbau, sollte dennoch bereits heute das Thema sehr ernsthaft untersucht werden.
- **Höhere Spannungsebenen** sind kaum gefährdet. **Schnellladesäulen** könnten auf der Mittelspannungsebene ggf. noch zu Engpässen führen (z.B. an Raststätten).
- Netzengpässe können aber „theoretisch“ durch **gesteuertes Laden** vollständig nivelliert werden.
  - Ausnutzung des Flexibilitätspotenzials.
- Hierfür sind **verschiedene Konzepte** denkbar (z.B. tarifliche Anreize, technische Lösungen, ...)
- Viele wissenschaftliche Studien sehen beispielsweise selbst für einen E-Pkw Marktanteil von 100% kaum ein Verteilnetz gefährdet, wenn der Ladestrom auf 1 kW pro E-Pkw begrenzt ist.

# Literatur

- Babrowski, S.; Heinrichs, H.; Jochem, P.; Fichtner, W. (2014): Load shift potential of electric vehicles in Europe: chances and limits, *Journal of Power Sources* 255, 283-293, doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.01.019.
- Ensslen, A.; Schücking, M.; Jochem, P.; Steffens, H.; Fichtner, W.; Wollersheim, O.; Stella, K. (2017): Empirical Carbon Dioxide Emissions of Electric Vehicles in a French-German Commuter Fleet Test, *Journal of Cleaner Production* 142, 263-278, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.06.087.
- Götz, A. (2016): Zukünftige Belastungen von Niederspannungsnetzen unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität, Chemnitz.
- Heinrichs, H.; Jochem, P. (2016), Long-term impacts of battery electric vehicles on the German electricity system, *European Physical Journal Special Topics* 225, 583-593, doi: 10.1140/epjst/e2005-50115-x.
- Jochem, P.; Babrowski, S.; Fichtner, W. (2015): Assessing CO2 Emissions of Electric Vehicles in Germany in 2030, *Transportation Research A: Policy and Practice* 78, 68-83, doi: 10.1016/j.tra.2015.05.007.
- Jochem, P.; Brendel, C.; Reuter, M.; Fichtner, W.; Nickel, S. (2016): Optimizing the allocation of fast charging infrastructure for electric vehicles along the German Autobahn, *Journal of Business Economics* 86(5), 513-535, doi: 10.1007/s11573-015-0781-5.
- Jochem, P.; Doll, C.; Fichtner, W. (2016): External Costs of Electric Vehicles, *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 42, 60-76, doi: 10.1016/j.trd.2015.09.022.
- Jochem, P.; Gomez Vilchez, J.J.; Schäuble, J.; Ensslen, A.; Fichtner, W. (accepted): Methods for Forecasting the Market Penetration of Alternative Power Trains in the Passenger Car Market, *Transport Reviews*, doi: 10.1080/01441647.2017.1326538.
- Jochem, P.; Rothengatter, W.; Schade, W. (2016): Climate Change and Transport, *Transportation Research Part D (Editorial)* 45, 1-3, doi: 10.1016/j.trd.2016.03.001.
- Kaschub, T.; Jochem, P.; Fichtner, W. (2016): Solar energy storage in German households: profitability, load changes, and flexibility, *Energy Policy* 98, 520-532, doi: 10.1016/j.enpol.2016.09.017.
- Ketelaer, T.; Kaschub, T.; Jochem, P.; Fichtner, W. (2014): The potential of carbon dioxide emission reductions in German commercial transport by electric vehicles, *International Journal of Environmental Science and Technology* 11(8), 2169-2184, doi: 10.1007/s13762-014-0631-y.
- Kim, H. C., Wallington, T. J., Arsenault, R., Bae, C., Ahn, S., & Lee, J. (2016). Cradle-to-Gate Emissions from a Commercial Electric Vehicle Li-Ion Battery: A Comparative Analysis. *Environmental Science & Technology*, 50(14), 7715-7722.
- Lui, L. (2018): Einfluss der privaten Elektrofahrzeuge auf Mittel- und Niederspannungsnetze, RWTH Aachen.
- Marwitz, S. (2017): Techno-ökonomische Auswirkungen des Betriebs von Elektrofahrzeugen und Photovoltaik-Anlagen auf deutsche Niederspannungsnetze, Karlsruhe.
- Nobis, P. (2016): Entwicklung und Anwendung eines Modells zur Analyse der Netzstabilität in Wohngebieten mit Elektrofahrzeugen, Hausspeichersystemen und PV-Anlagen, München.
- Probst, A. (2014): Auswirkung von Elektromobilität auf Energieversorgungsnetze analysiert auf Basis probabilistischer Netzplanung, Stuttgart.
- Rehtanz, C., M. Greve, U. Häger et al. (2017), Verteilnetzstudie für das Land Baden-Württemberg im Auftrag des MUK, Stuttgart.
- Rolink, J. (2013): Modellierung und Systemintegration von Elektrofahrzeugen aus Sicht der elektrischen Energieversorgung, Dortmund.
- Schäuble, J.; Kaschub, T.; Ensslen, A.; Jochem, P.; Fichtner, W. (2017): Empirical electric vehicle load profiles, *Journal of Cleaner Production* 150, 253-266, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.02.150.
- Schücking, M.; Jochem, P.; Fichtner, W.; Wollersheim, O.; Stella, K.; (2017): Charging strategies for economic operations of electric vehicles in commercial applications, *Transport Research Part D* 51, 173-189, doi: 10.1016/j.trd.2016.11.032.
- Stöckl, G. (2014): Integration der Elektromobilität in das Energieversorgungsnetz, München.
- Uhrig, M. (2017): Aspekte zur Integration stationärer und mobiler Batteriespeicher in die Verteilnetze, Karlsruhe.

# Vielen Dank!

Alexandra März  
Alexandra.maertz@kit.edu

Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)  
Lehrstuhl für Energiewirtschaft

