

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



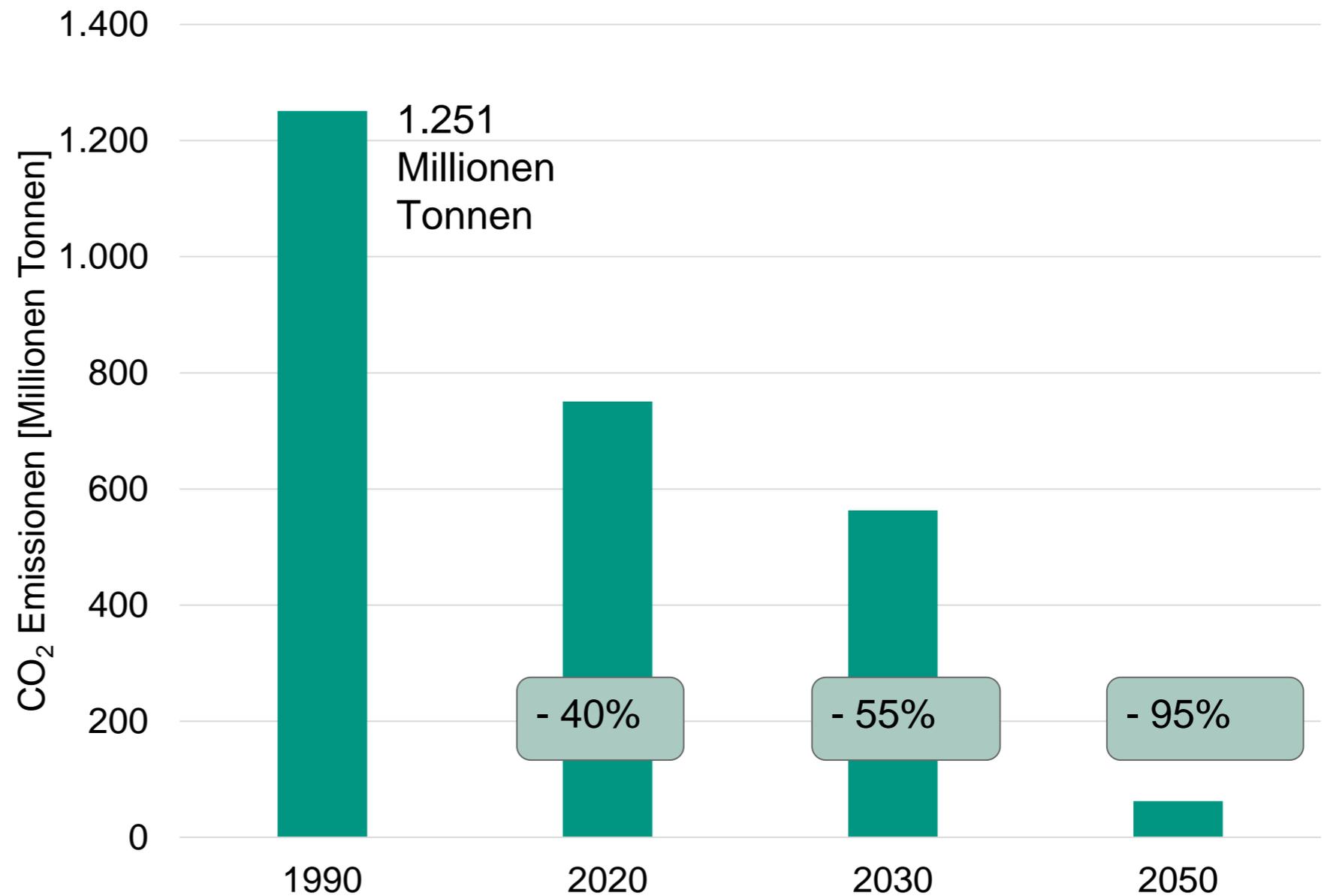
COP21 • CMP11
PARIS 2015
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE

Konsequenz: CO₂- Emissionsreduktion

Ziel



Konsequenz

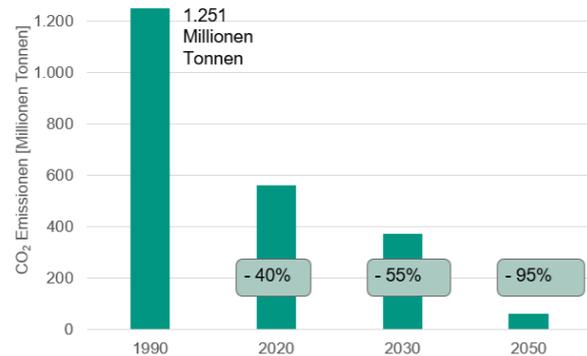


Status quo: CO₂-Emissionen in Deutschland

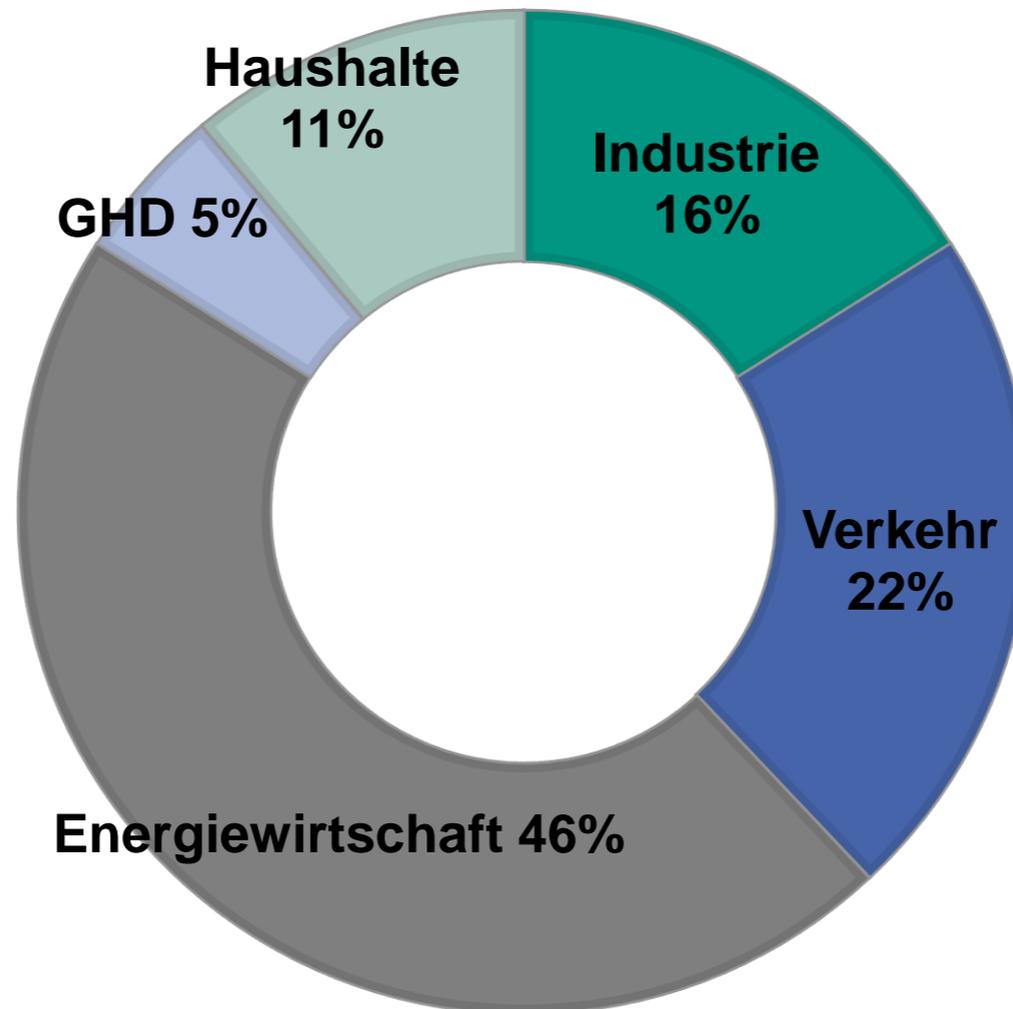
Ziel



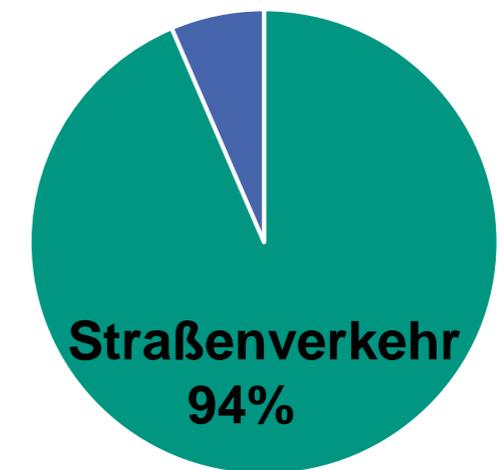
Konsequenz



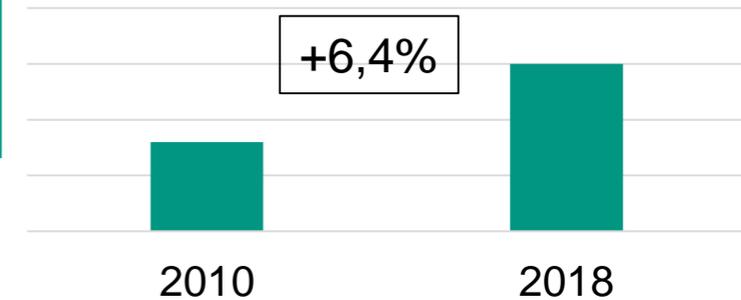
CO₂-Emissionen



Verkehrssektor



CO₂-Emissionen im Straßenverkehr

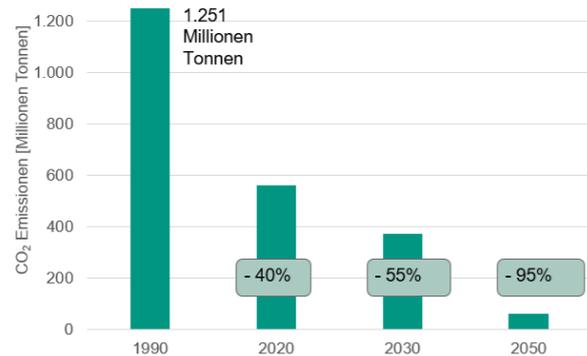


Zukunft: Transformation im Verkehrssektor

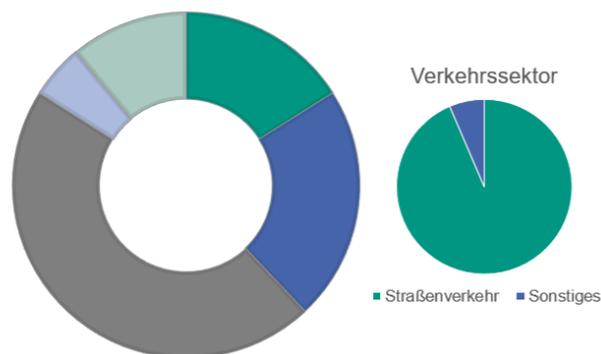
Ziel



Konsequenz

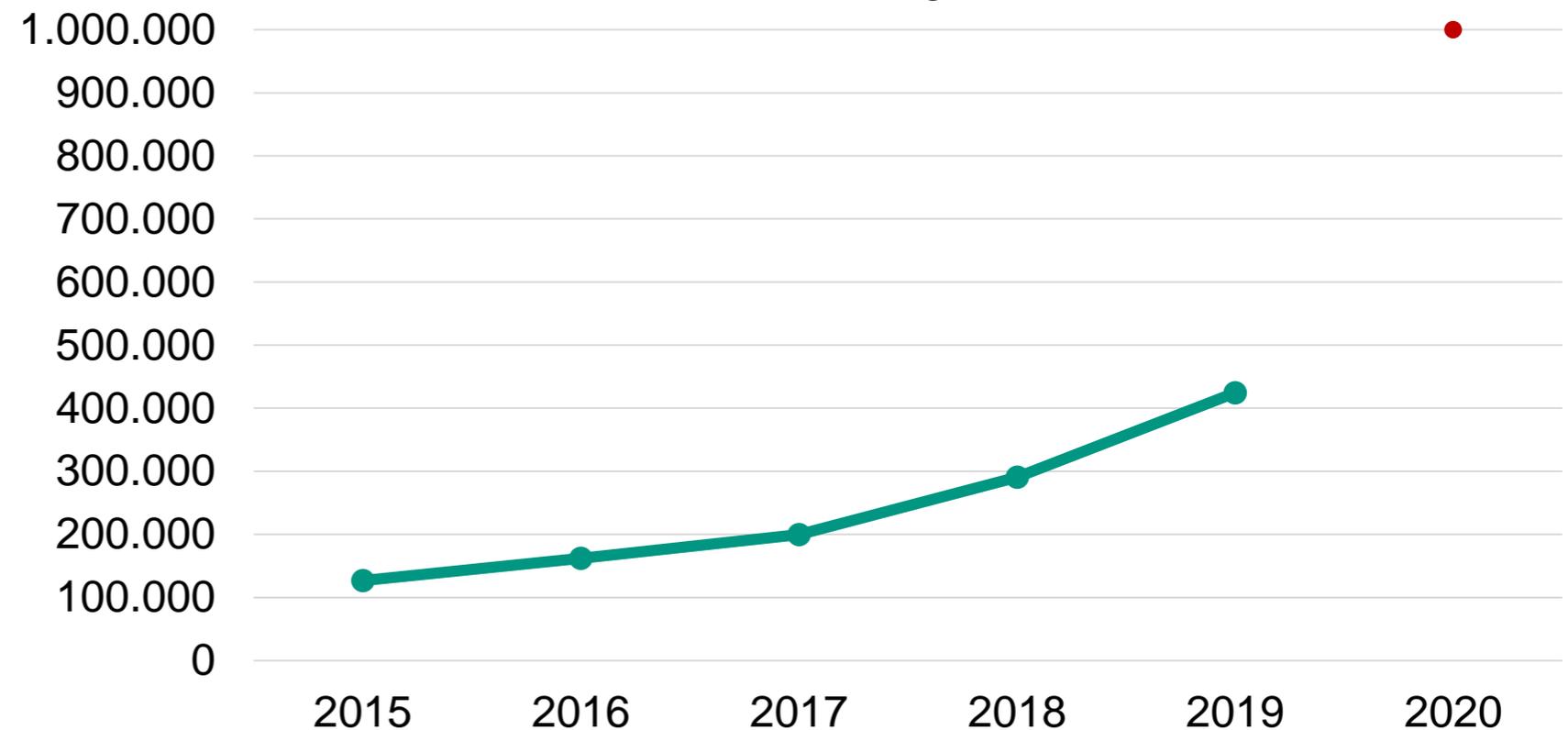


CO₂-Emissionen



Elektromobilität als Schlüsseltechnologie

Bestand Elektrofahrzeuge in Deutschland

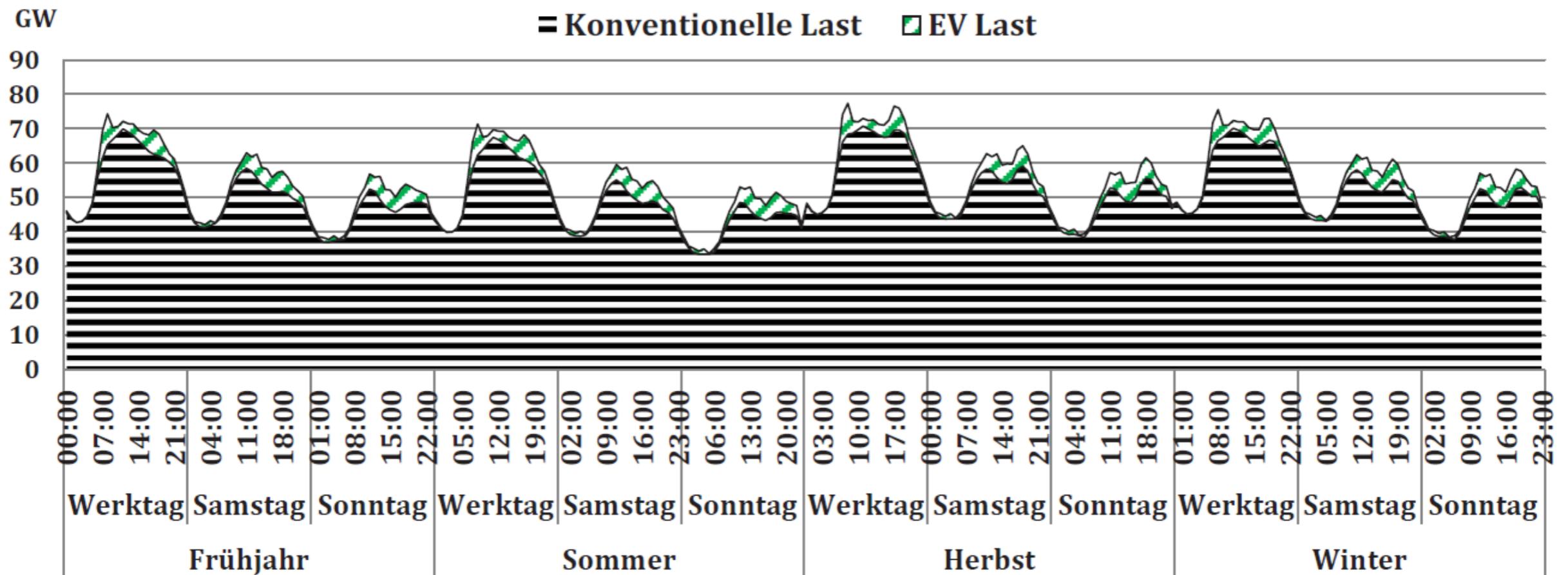


Ziele

- 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
Privatgenutzte E-Pkw	Heimladen	Light Blue	Dark Blue	Dark Blue
	Halböffentl. Laden	Dark Blue		Light Blue
	Öffentl. Laden	Light Blue		Light Blue
Flotten-E-Pkw	Flottenladen	Light Blue	Dark Blue	Light Blue

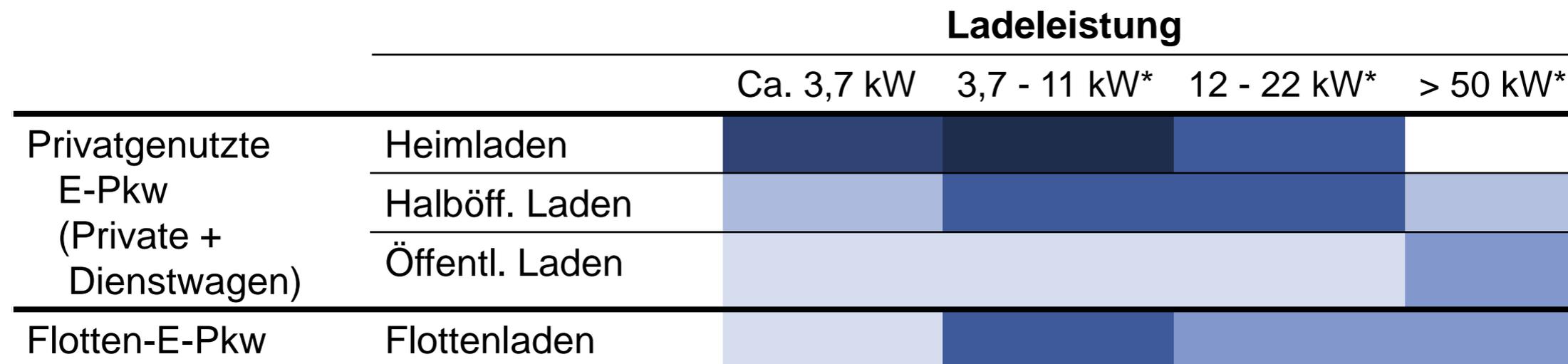
- Höchstes Hotspot-Potenzial resultiert aus Heimladen von privatgenutzten E-Pkw (Private + Dienstwagen) im Speckgürtel.
- Hotspot-Spitzenreiter je Örtlichkeit:
 - Stadt: Halböffentliches Laden
 - Speck: Heimladen
 - Land: Heimladen

Örtlichkeiten im Detail

		Örtlichkeit		
		Stadt	Speck	Land
Privatgenutzte E-Pkw (Private + Dienstwagen)	Heimladen	Light Blue	Dark Blue	Dark Blue
	Halböffentl. Laden	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
	Öffentl. Laden	Light Blue	Light Blue	Light Blue
	Laternenparker	Light Blue	Light Blue	Light Blue
	HUB-Autobahn	Light Blue	Light Blue	Light Blue
	Flotten-E-Pkw	Flottenladen	Light Blue	Dark Blue
Arbeitgeber Laden		Light Blue	Light Blue	Light Blue
HUB-Autobahn		Light Blue	Light Blue	Light Blue

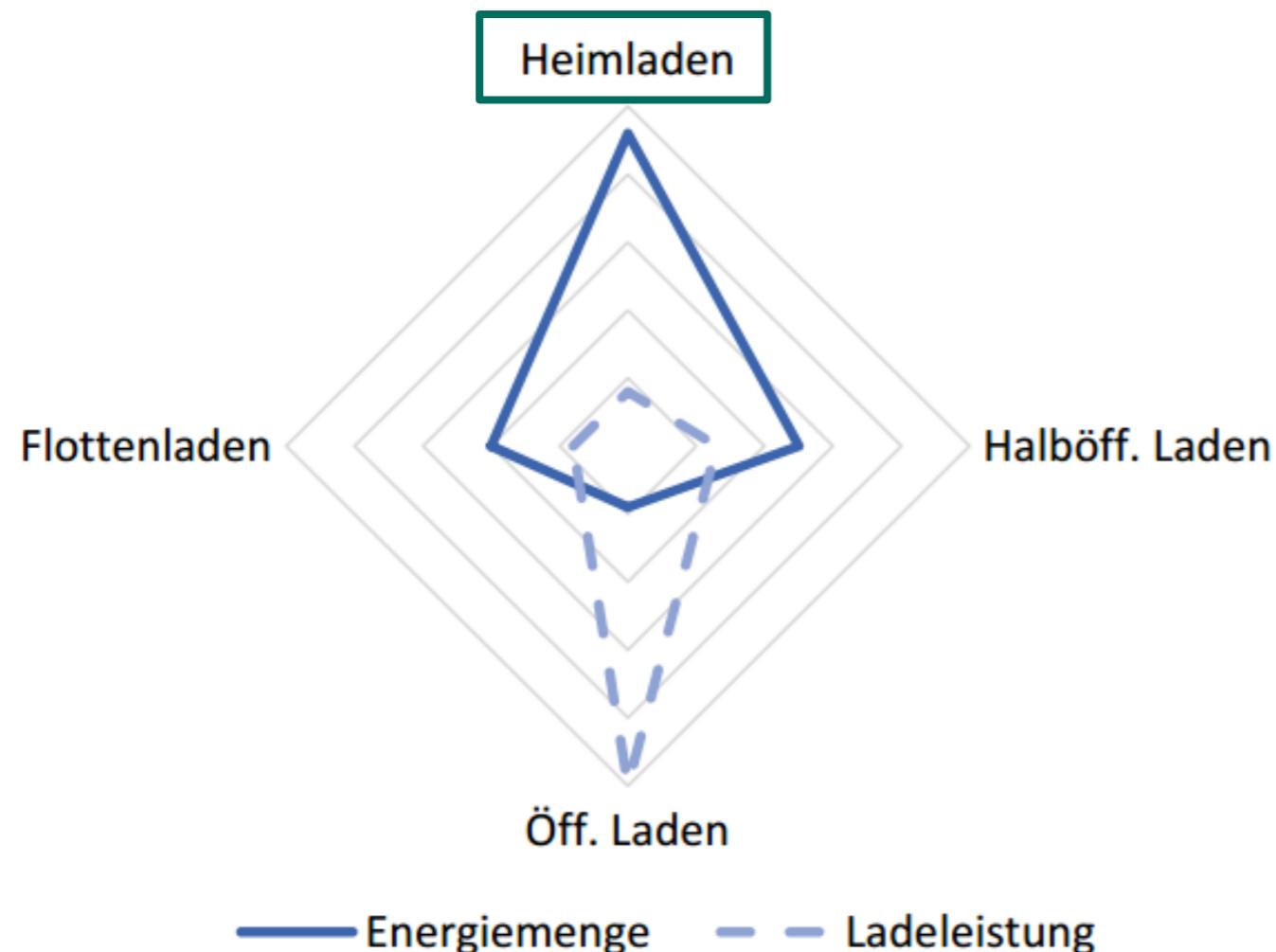
Hotspot-Potenzial: Ladeleistung und Örtlichkeit

- Ladeleistung in Abhängigkeit der Ladekategorie:



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

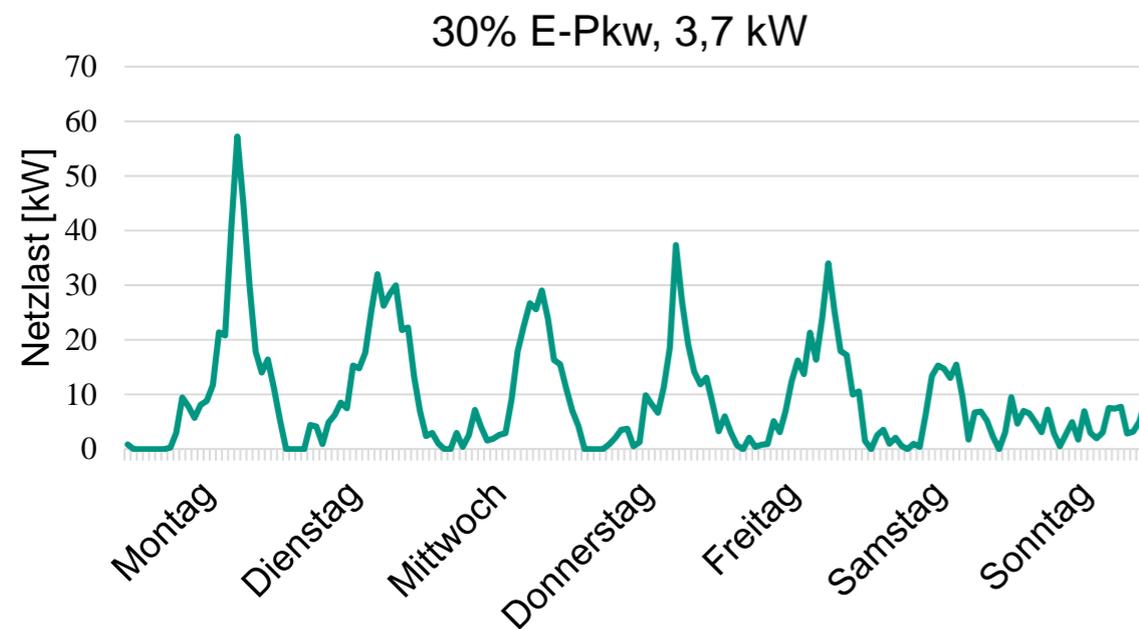
* Meldepflicht beim Netzbetreiber



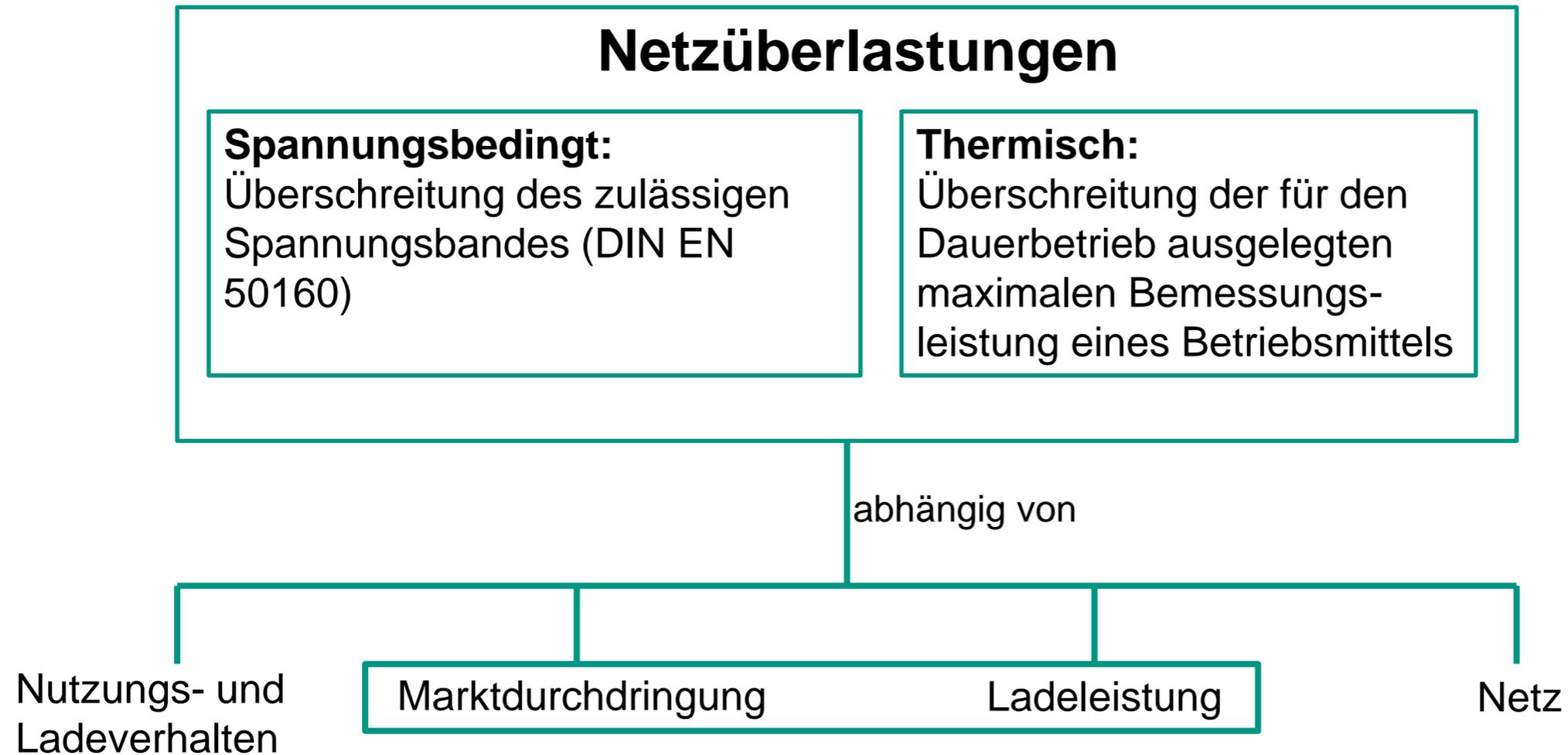
- Hotspot-Potenziale hängen stark von Ladekategorie und Ladeleistung ab.
- **Hotspot-Potenzial hinsichtlich Energiemenge:** Heimpladen (Speckgürtel, Land) von privatgenutzten E-Pkw.
 - Aber nur geringe Ladeleistung
 - Aber Unwissenheit über LIS-Ausbau kann eine Herausforderung für den Netzbetreiber darstellen.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

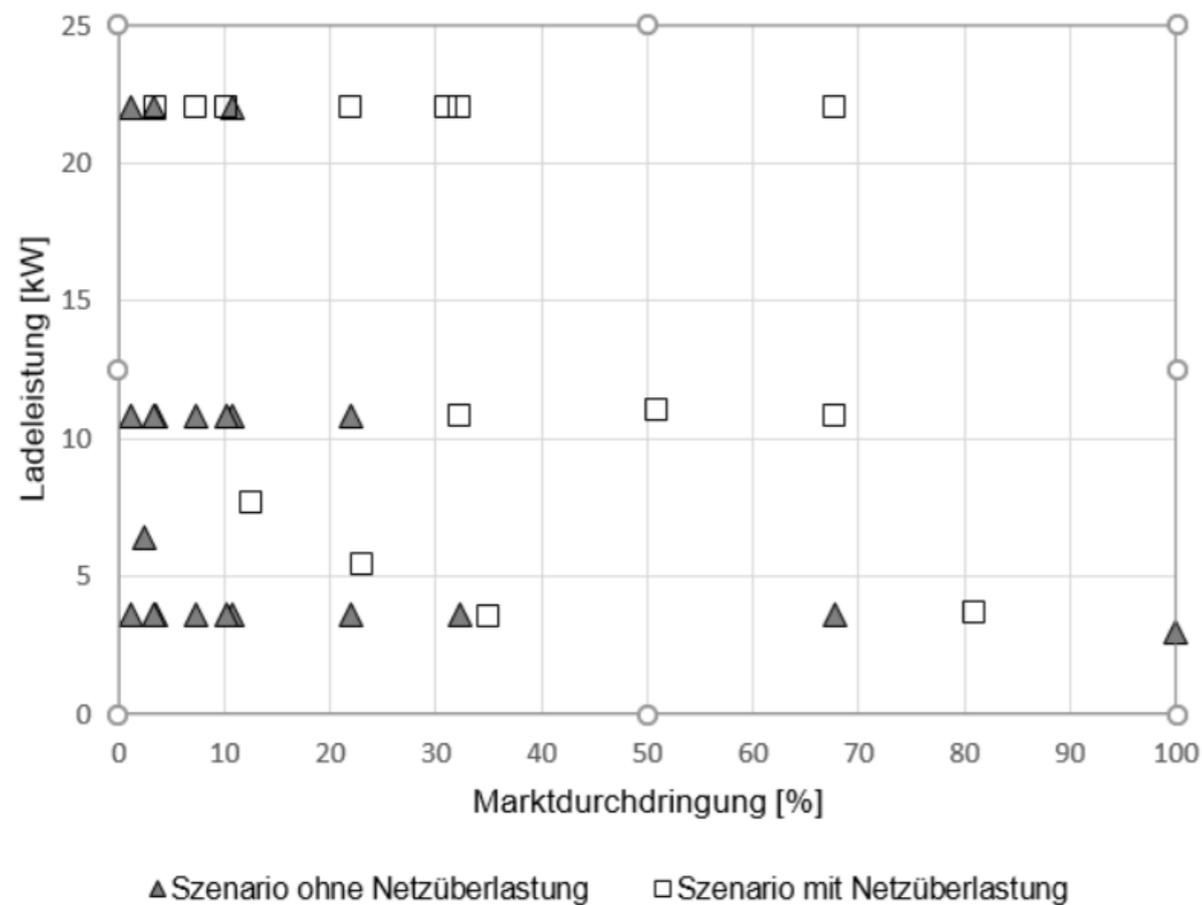


→ Die entstehenden Lastspitzen können für das Verteilnetz eine Herausforderung darstellen.



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

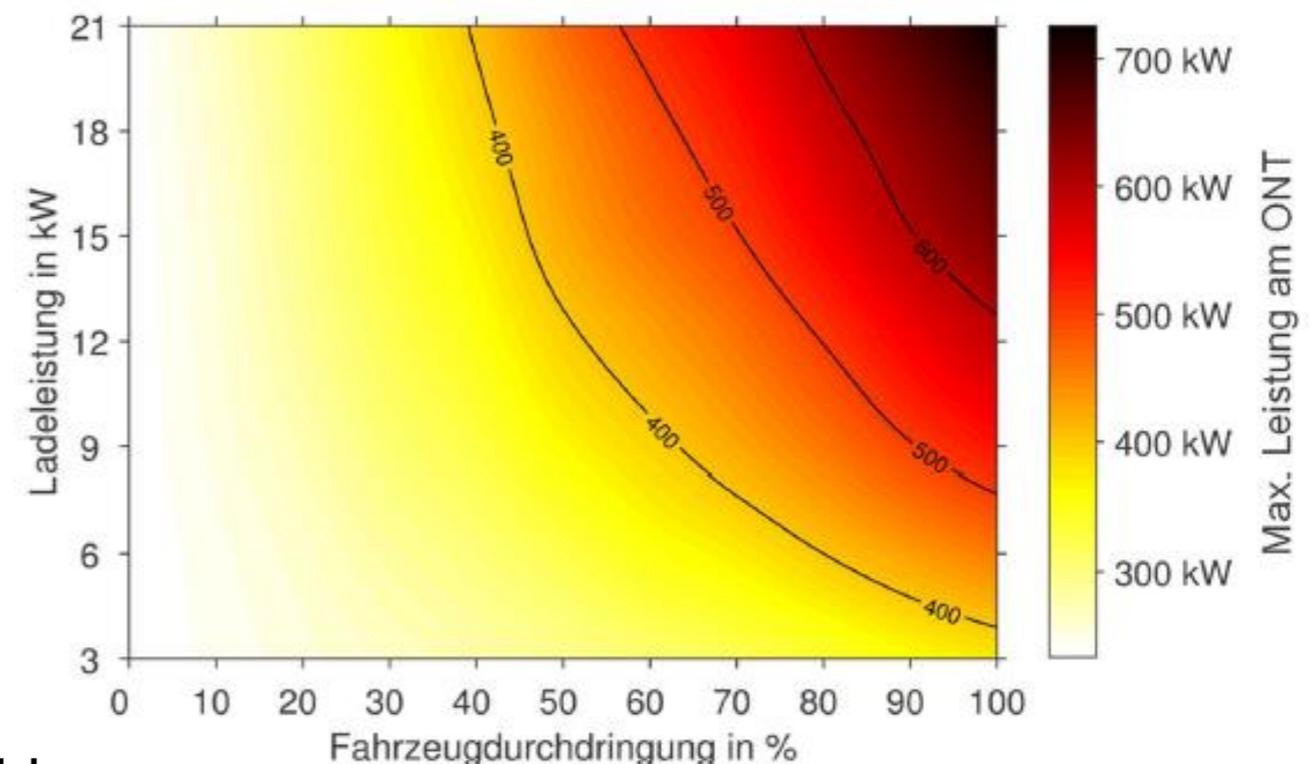
Literaturlauswertung elektrotechnischer Dissertationen (TUM, TUC, KIT, US) mit dem Fokus auf das NS-Netz

- 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:

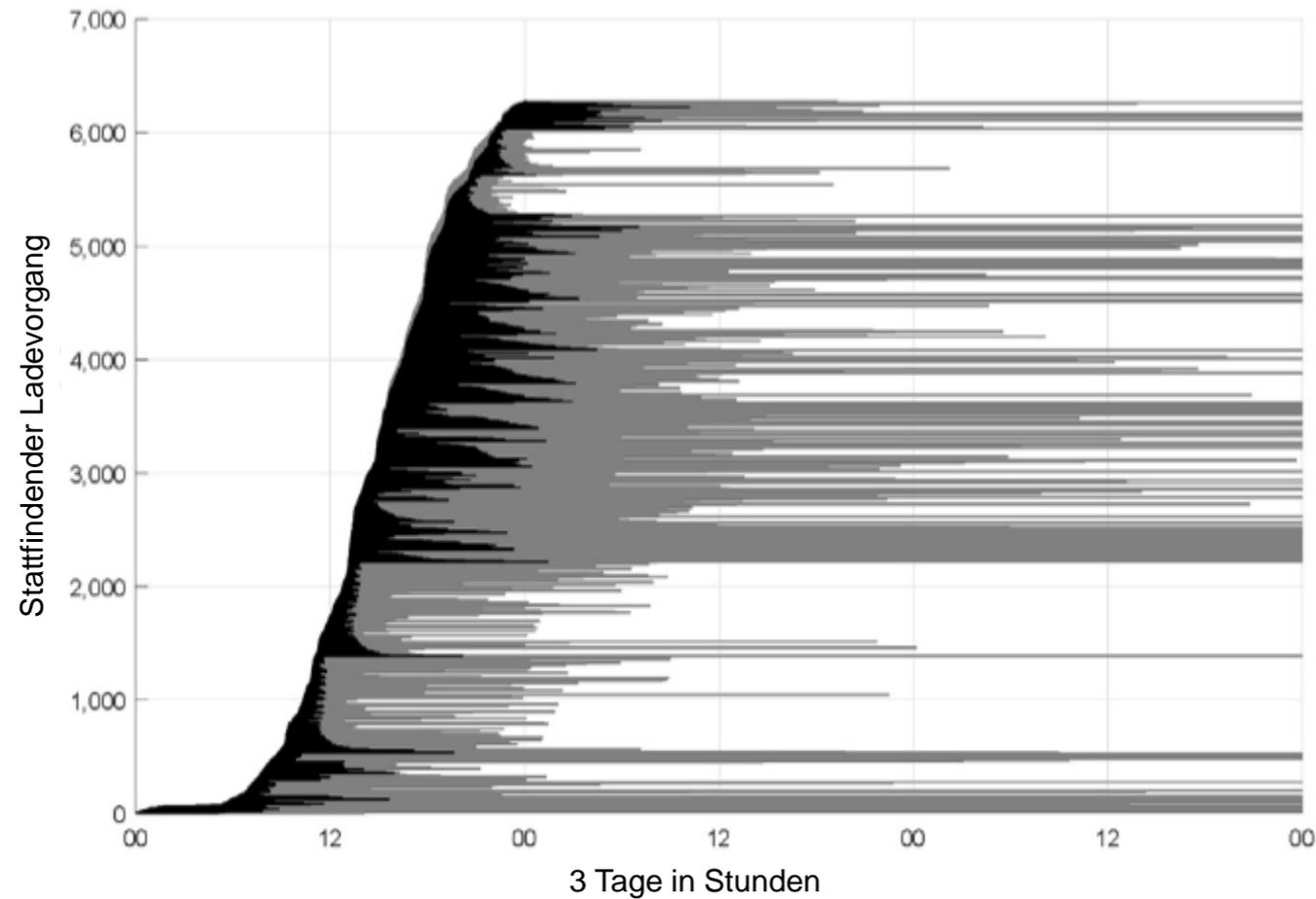
- Netztopologie
- Marktdurchdringung
- Ladeleistung
- Ladeverhalten der E-Pkw Nutzer (Gleichzeitigkeit)

- 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

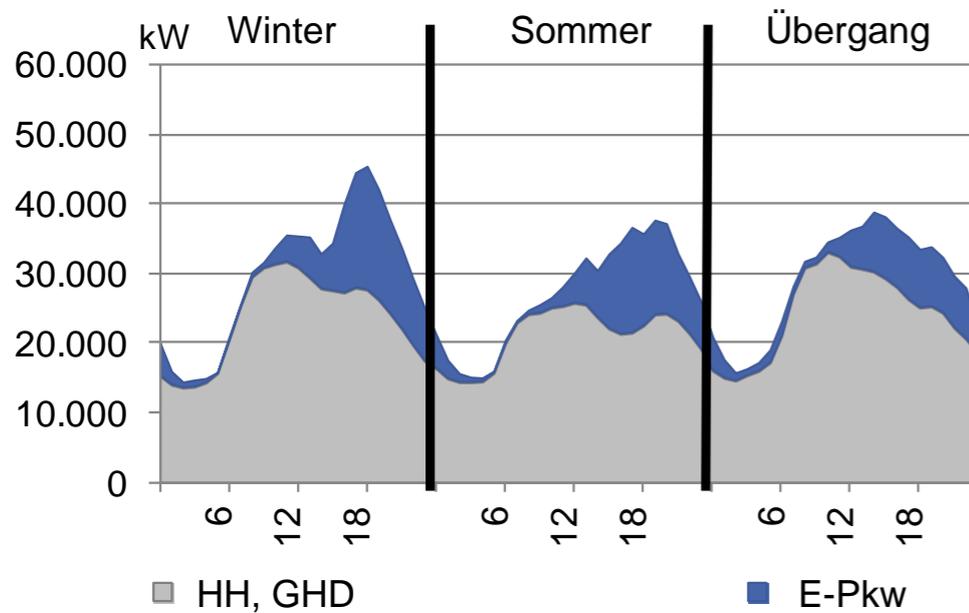


Schäuble et. al (2017)

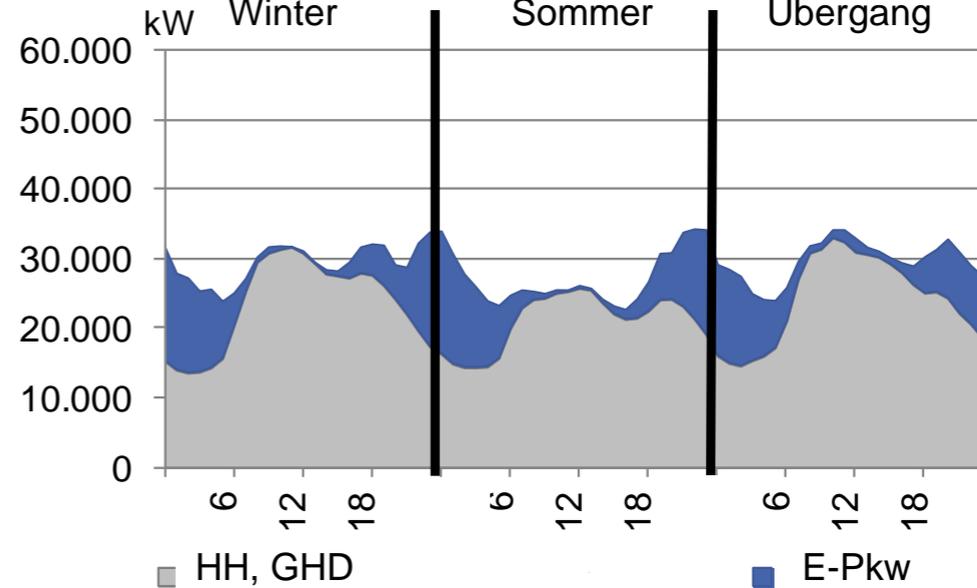
- Häufig ist die Ladedauer kürzer als Einsteckdauer
→ Flexibilitätspotenzial

Auswirkungen durch Laststeuerung

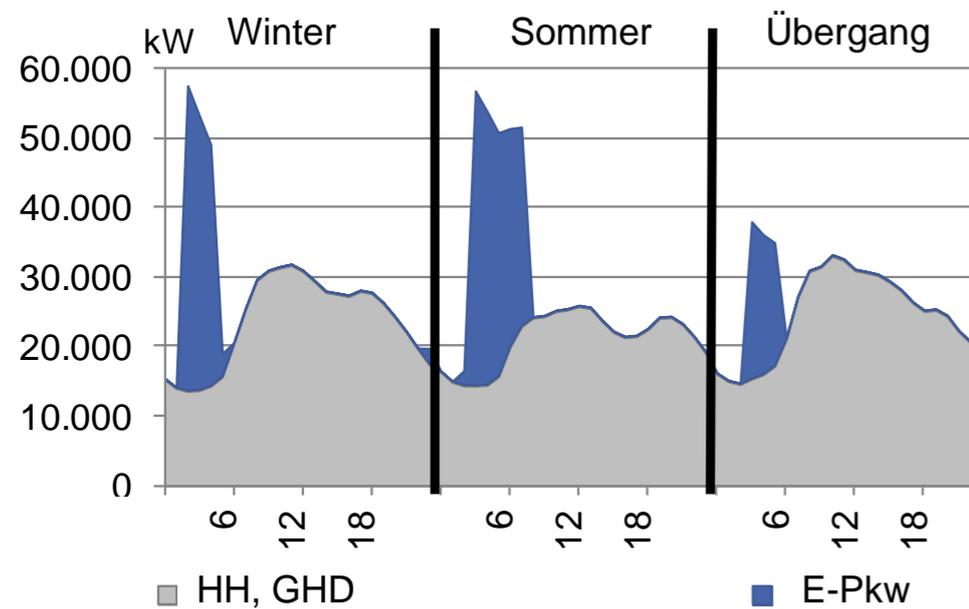
Sofortiges Laden: Neue Lastspitzen



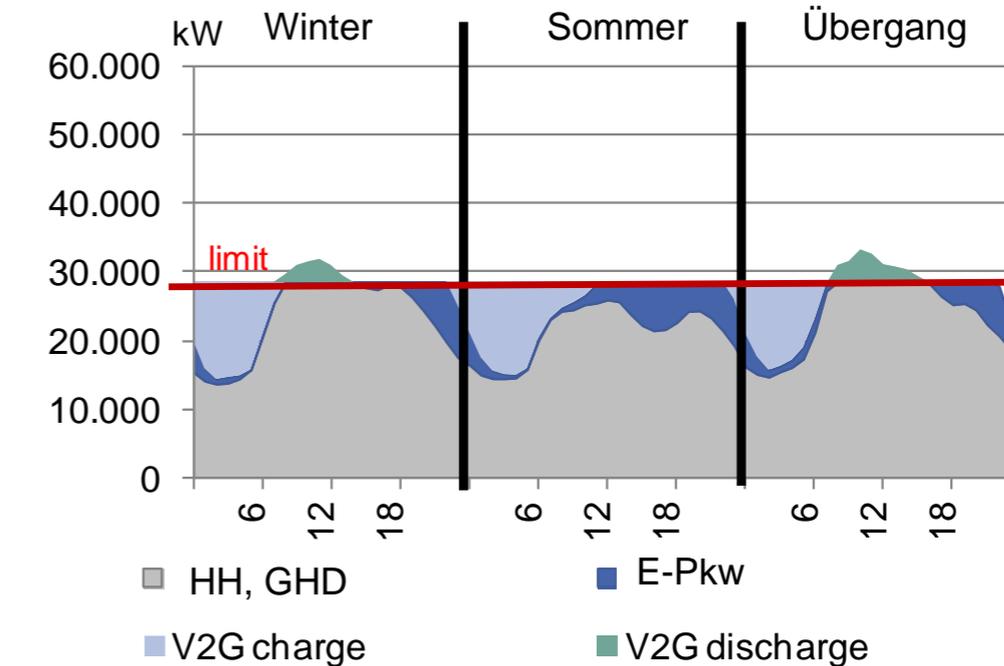
Zeitverzögertes Laden: Gleichmäßiger Bezug



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

