

Ladeverhalten an öffentlichen Ladesäulen – probabilistische Verteilungen für die Modellierung

16.-18. Februar 2022

EnInnov 2022

Simon Kreutmayr

Jonas Allgaier, Simon Niederle, Christoph J. Steinhart, Christian Gutzmann, Michael Finkel, Rolf Witzmann

Im Rahmen des Projektes:



**Hochschule
Augsburg** University of
Applied Sciences

- **Motivation**
- Methodik
- Auswertung und Verallgemeinerung
- Bewertung gemessener Profilformen
- Erkenntnisse und Ausblick

Hintergrund:

- Klimawandel → Energiewende → Sektorenkopplung → E-Mobilität → E-PKW
- Weiterer Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur v.a. im städtischen Umfeld
- Untersuchung der Auswirkungen von Ladeinfrastruktur auf das Verteilnetz im Rahmen des Forschungsprojektes E-Motion-to-Grid
 - Modellierung von öffentlichen Ladesäulen mit Hilfe von Messdaten

Methodik:

Durchführung und Auswertung einer Messkampagne an öffentlichen Ladesäulen

Ziel der Arbeit:

Ermittlung probabilistischer Verteilungen des Ladeverhaltens aus Messdaten

Weitere Anwendung:

Parametrierung eines Lastprofilgenerators

- Motivation
- **Methodik**
- Auswertung und Verallgemeinerung
- Bewertung gemessener Profilformen
- Erkenntnisse und Ausblick

Messkampagne an 32 öffentlichen Ladesäulen

Typ 1: 17 Ladesäulen
Lade- 2x 22 kW AC
punkte:

Typ 2: 10 Ladesäulen
Lade- 50 kW DC &
punkte: 22 kW AC

Typ 3: 4 Ladesäulen
Lade- 150/225 kW DC
punkte: & 22 kW AC

Typ 4: 1 Ladesäule
Lade- 20 kW DC oder
punkte: 22 kW AC

Standort:

Straßenbereich mit unterschiedlicher Flächennutzung

- Wohngebiet: WA, WB, WR, W
- Gewerbeartiges Gebiet: SO, GE, AG
- Städtisches Kerngebiet: MK, GB

(Abkürzungen:
siehe Flächen-
nutzungsplan)

Standort:

- Tankstellengelände:
Ta
- Kundenparkplatz:
Ku (150 kW)

Standort:

- Kundenparkplatz von
Supermarkt: Ku (20 kW)
- Kostenlos, max. 1 h, nur
während Öffnungszeiten

- Je Ort zwischen 2 und 17 Monate Messung → ca. 20.000 Ladeprofile
- Fokus auf Auswertung des Wirkleistungsbezugs
- Identifikation einzelner Ladevorgängen aus Messzeitreihe durch steigende und fallende Flanken des Wirkleistungsverlaufs
- Speicherung und Charakterisierung der Profile (z.B.: E , P_{\max} , Δt , k_F , n_{LV})

- Agenda:**
- Vergleich allgemeiner Kennzahlen für die Gruppierung
 - Vergleichsparameter ①
 - Systematischer Abgleich ②
 - Startzeitpunkte ③
 - Weitere Einflussfaktoren ④
 - ➔ Gruppierung ⑤
 - Typische Standorte unter Berücksichtigung relevanter Einflüsse
 - Probabilistische Verteilungen
 - ➔ Gegebenenfalls Anpassung der Verteilungen für Zukunftsszenarien

Agenda:

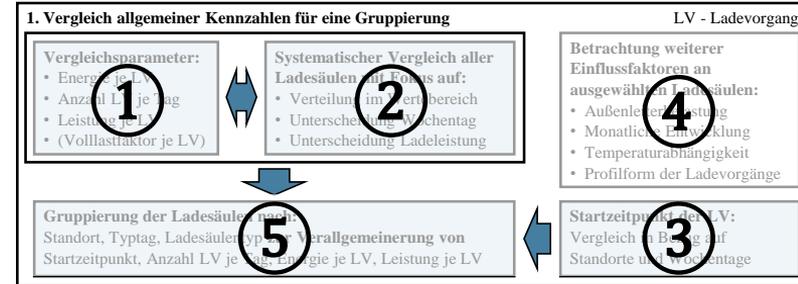
Motivation

Methodik

Verallgemeinerung

Profilform

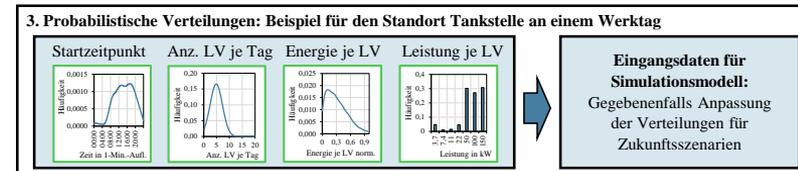
Erkenntnisse



2. Typische Standorte unter Berücksichtigung relevanter Einflussfaktoren Sa - Samstag, So - Sonntag

Standort Ladesäule	Startzeitpunkt	Anz. LV je Tag	Energie je LV	Leistung je LV
Kerngebiet: GB, MK	Werktag, Sa, So	Werktag, Sa, So	Typ 1, Typ 2	Typ 1
Gewerbegebiet: SO, GE	Werktag, Sa, So	Werktag, Sa, So	Typ 1, Typ 2	Typ 2
Wohngebiet: WA - W	Werktag, Sa, So	Werktag, Sa, So	Typ 1, Typ 2	Typ 2
Rastplatz: (AG)	Werktag, Sa, So	Werktag, Sa, So	Typ 2	Typ 2
Tankstelle: Ta, Ku (150 kW)	Werktag, Sa, So	Werktag, Sa, So	Typ 3	3
Kundenparkpl.: Ku (20 kW)	Werktag, Sa, So	Werktag, Sa, So	Typ 4	4

Markiert hier in Block 2 die probabilistischen Verteilungen für das in Block 3 gewählte Beispiel der Tankstelle



- Motivation
- Methodik
- **Auswertung und Verallgemeinerung**
- Bewertung gemessener Profilformen
- Erkenntnisse und Ausblick

Vergleich allgemeiner Kennzahlen (1)



Agenda:

Motivation

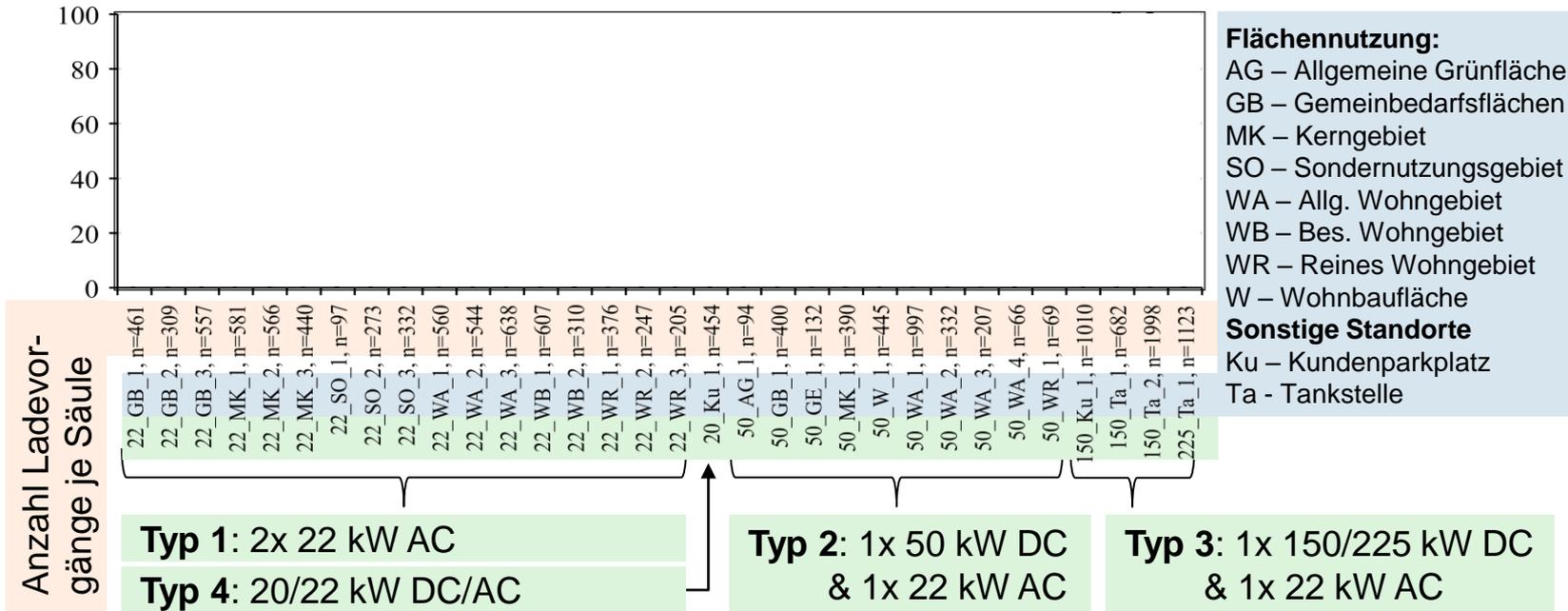
Methodik

Verallgemeinerung

Profilform

Erkenntnisse

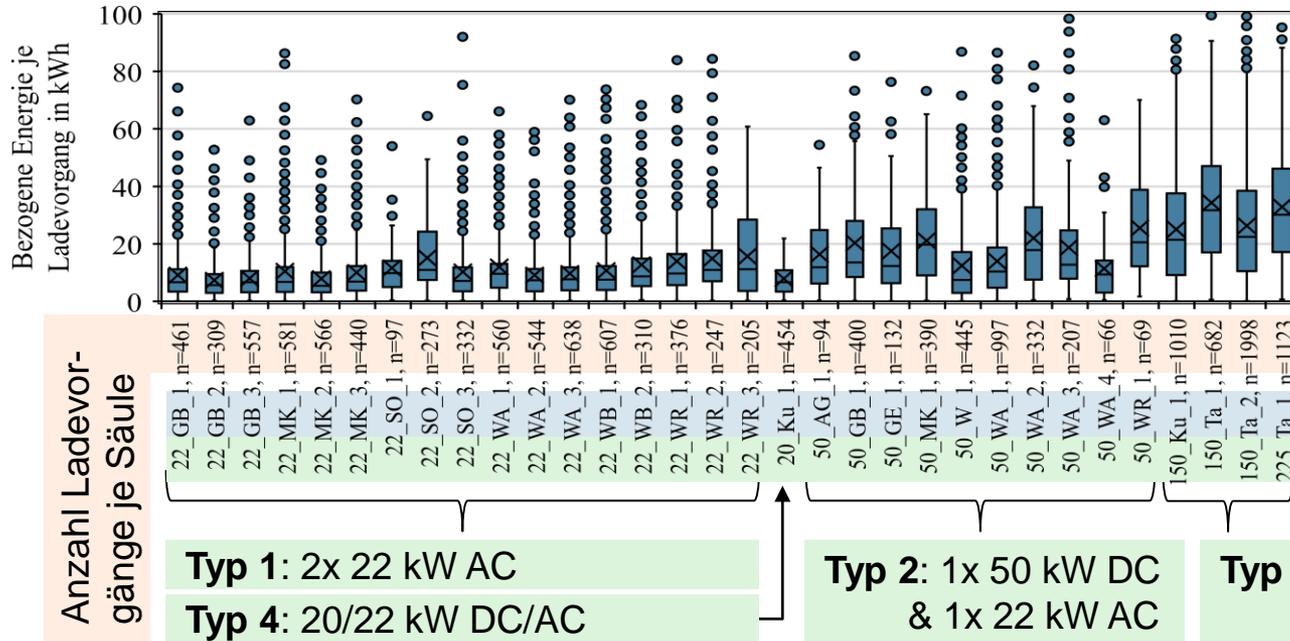
Beschreibung Diagrammaufbau



Vergleich allgemeiner Kennzahlen (2)



Bezogene Energie je Ladevorgang



Flächennutzung:
 AG – Allgemeine Grünfläche
 GB – Gemeinbedarfsflächen
 MK – Kerngebiet
 SO – Sondernutzungsgebiet
 WA – Allg. Wohngebiet
 WB – Bes. Wohngebiet
 WR – Reines Wohngebiet
 W – Wohnbaufläche

Sonstige Standorte
 Ku – Kundenparkplatz
 Ta - Tankstelle

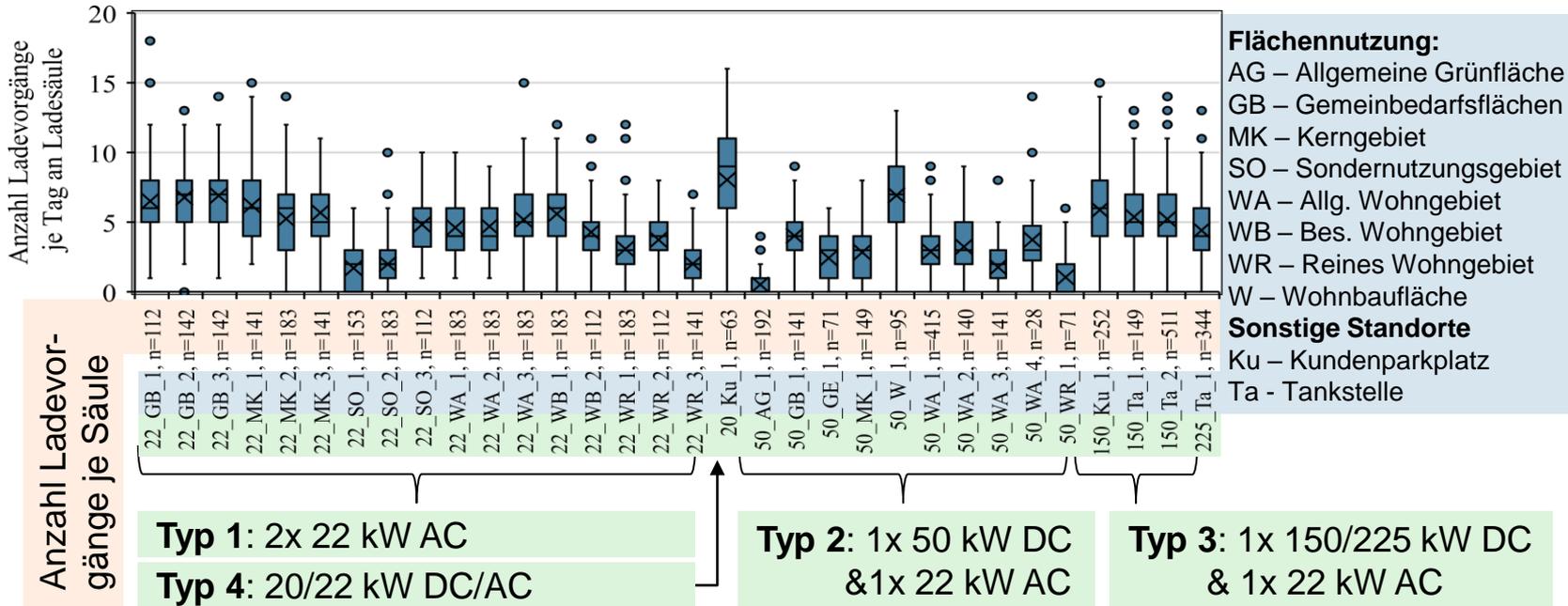
Erkenntnis: Je höher die Ladeleistung, desto größer die bezogene Energie je LV

- Agenda:
- Motivation
- Methodik
- Verallgemeinerung
- Profilform
- Erkenntnisse

Vergleich allgemeiner Kennzahlen (3)



Anzahl Ladevorgänge je Tag



Erkenntnis: Anzahl der LV primär von der Attraktivität des Standorts abhängig

Vergleich allgemeiner Kennzahlen (4)



Agenda:

Motivation

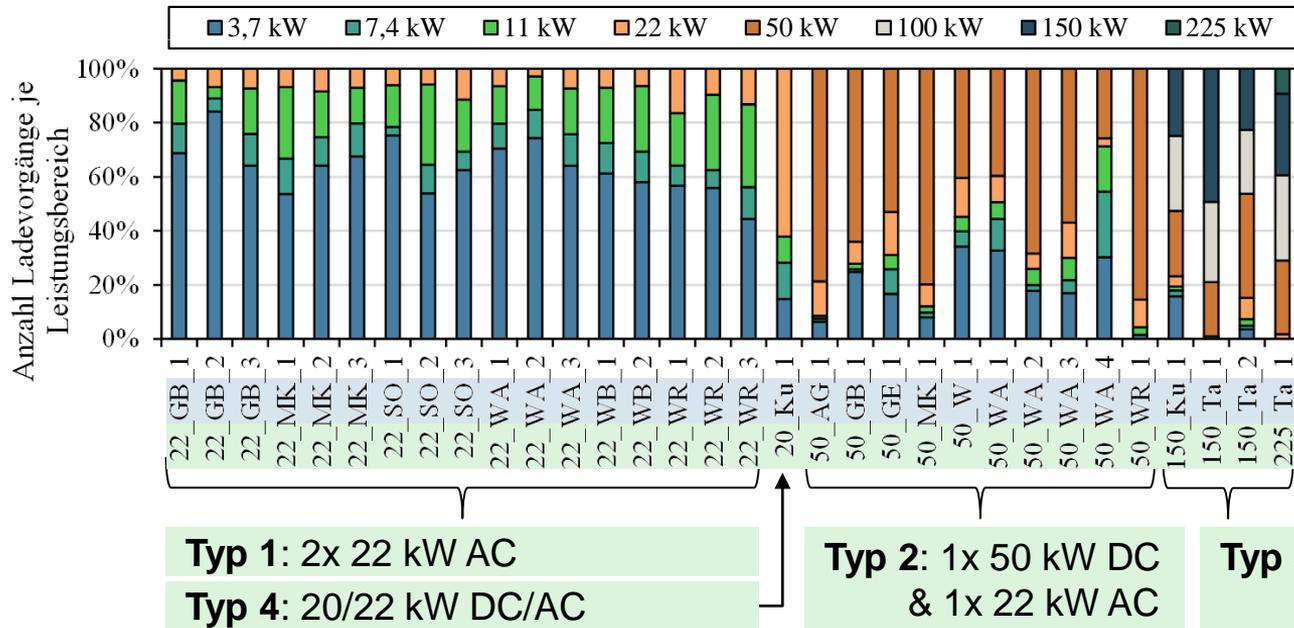
Methodik

Verallgemeinerung

Profilform

Erkenntnisse

Anteil Ladevorgänge je Ladeleistung

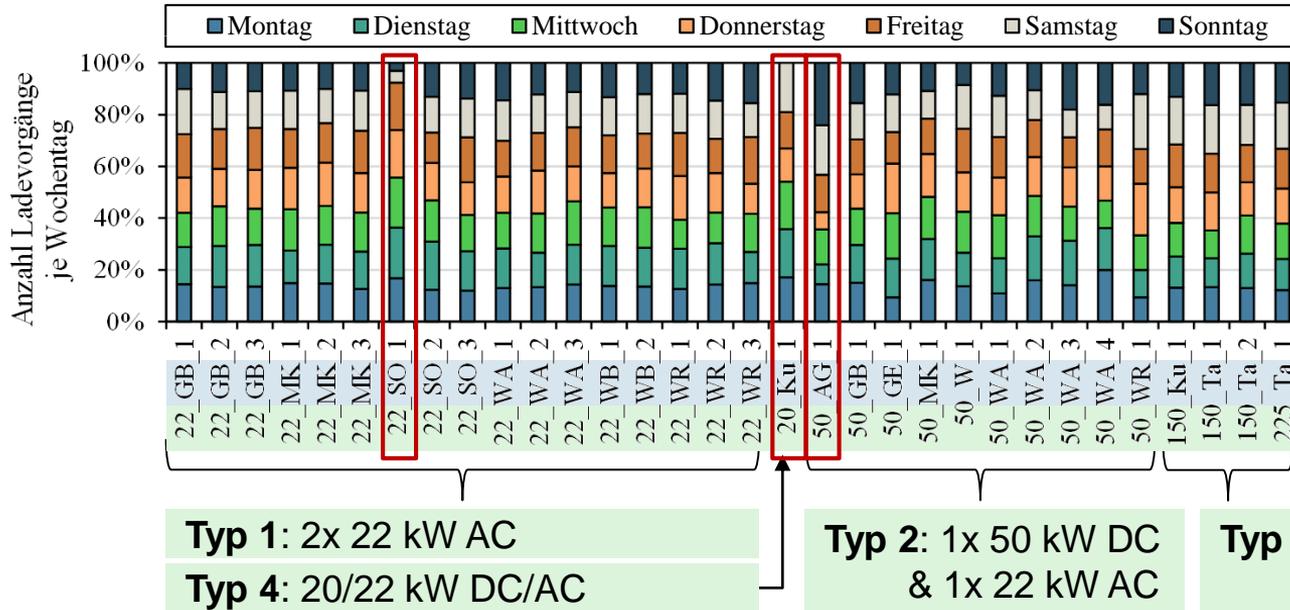


Erkenntnis: Verteilung der Ladeleistung primär abhängig von Ladesäulentyp

Vergleich allgemeiner Kennzahlen (5)



Anteil Ladevorgänge je Wochentag



Erkenntnis: Verteilung auf Wochentage meist sehr ähnlich, einzelne Orte anders

Agenda:

Motivation

Methodik

Verallgemeinerung

Profilform

Erkenntnisse

Verteilung Startzeitpunkte

Agenda:

1. Ermittlung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen für jede Ladesäule mit Hilfe der Kerndichteschätzung (nicht dargestellt)
2. Zusammenfassung von Ladesäulen mit ähnlicher Flächennutzung zu typischen Standorten → siehe Abbildung
3. Unterscheidung zwischen Wochentagen und Zusammenfassung ähnlicher Tage (nicht dargestellt)
4. Erstellung von drei Typtagen zu jedem typischen Standort → siehe Abbildung

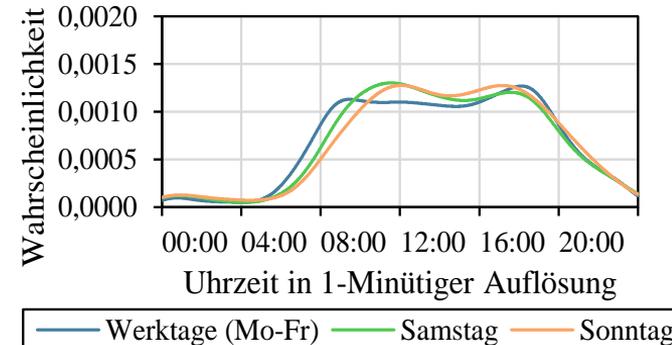
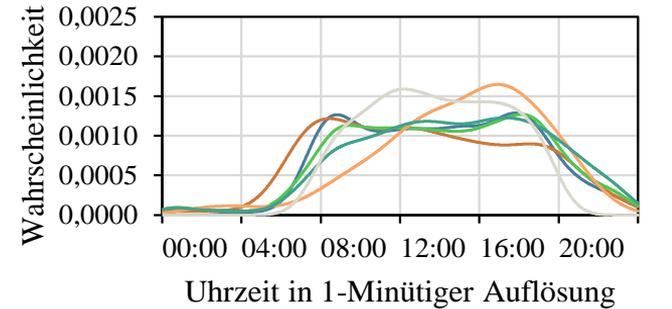
Motivation

Methodik

Verallgemeinerung

Profilform

Erkenntnisse



Verallgemeinerung (1)

Agenda:

Motivation

Methodik

Verallgemeinerung

Profilform

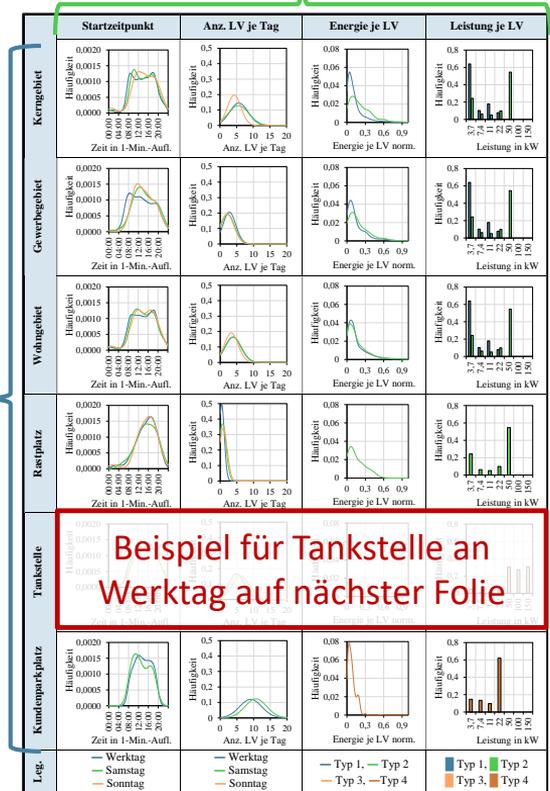
Erkenntnisse

Fünf typische Standorte

- Kerngebiet
- Gewerbegebiet
- Wohngebiet
- Rastplatz
- Tankstelle
- Kundenparkplatz

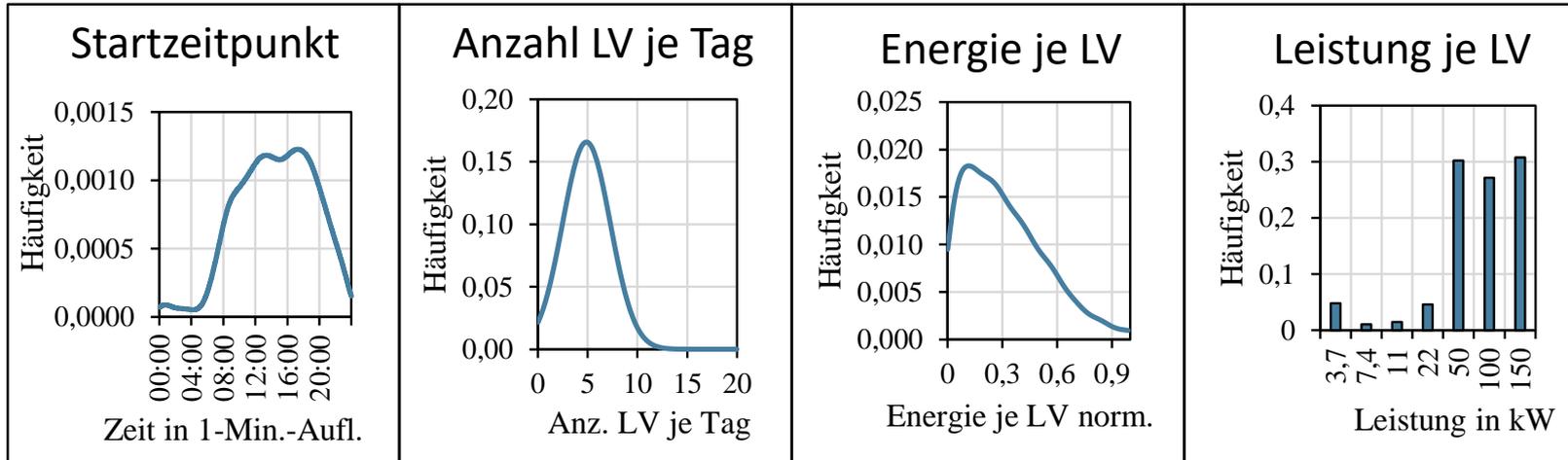
Vier probabilistische Verteilungen

- Startzeitpunkt → 3 Typtage
- Anzahl LV je Tag → 3 Typtage
- Energie je LV → Ladesäulentyp
- Leistung je LV → Ladesäulentyp



Beispiel probabilistischer Verteilungen:

- Standort: Tankstelle
- Typtag: Werktag
- Ladesäule: Typ 4 (150 kW DC)



- Motivation
- Methodik
- Auswertung und Verallgemeinerung
- **Bewertung gemessener Profilformen**
- Erkenntnisse und Ausblick

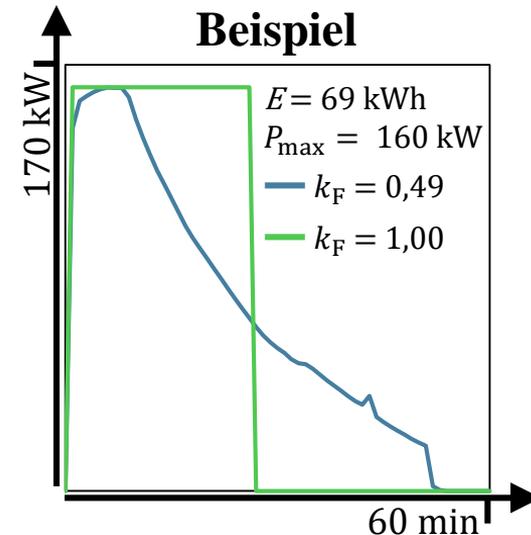
Beschreibung der Profilform vereinfacht mit dem Volllastfaktor k_F :

$$k_F = \frac{E}{P_{\max} \cdot \Delta t} = \frac{69 \text{ kWh}}{160 \text{ kW} \cdot 0,88 \text{ h}} = 0,49$$

k_F	Volllastfaktor des Ladevorgangs
E	Bezogene Energie während des Ladevorgangs
P_{\max}	Maximale Wirkleistung während des Ladevorgangs
Δt	Ladedauer des Ladevorgangs (mit Energiebezug)

Erkenntnisse:

- Wertebereich der vermessenen Ladevorgänge k_F zwischen 0,3 und 1,0
- Je kleiner die Ladeleistung, desto größer der Volllastfaktor:
 $k_F 3,7 \text{ kW} \approx 0,92$; $k_F 11 \text{ kW} \approx 0,88$; $k_F 50 \text{ kW} \approx 0,75$; $k_F 150 \text{ kW} \approx 0,70$; $k_F 225 \text{ kW} \approx 0,60$



Vergleich gemessener Profile

Agenda:

Motivation

Methodik

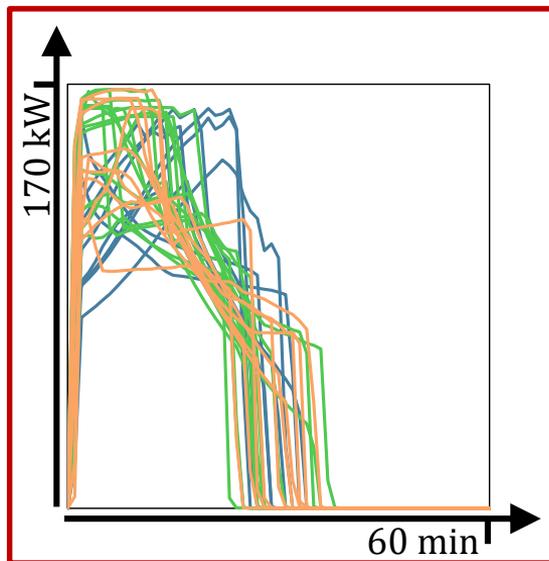
Verallgemeinerung

Profilform

Erkenntnisse

Gemessene Ladepprofile mit einer Nennleistung von 150 kW sortiert nach:

- Energie $E \rightarrow$ horizontal 40 – 70 kWh
- Volllastfaktor $k_F \rightarrow$ vertikal 0,3 – 1,0
- Umgebungstemperatur ϑ
 - $\vartheta \leq 10^\circ\text{C}$ (blau)
 - $10^\circ\text{C} < \vartheta \leq 20^\circ\text{C}$ (grün)
 - $\vartheta > 20^\circ\text{C}$ (orange)

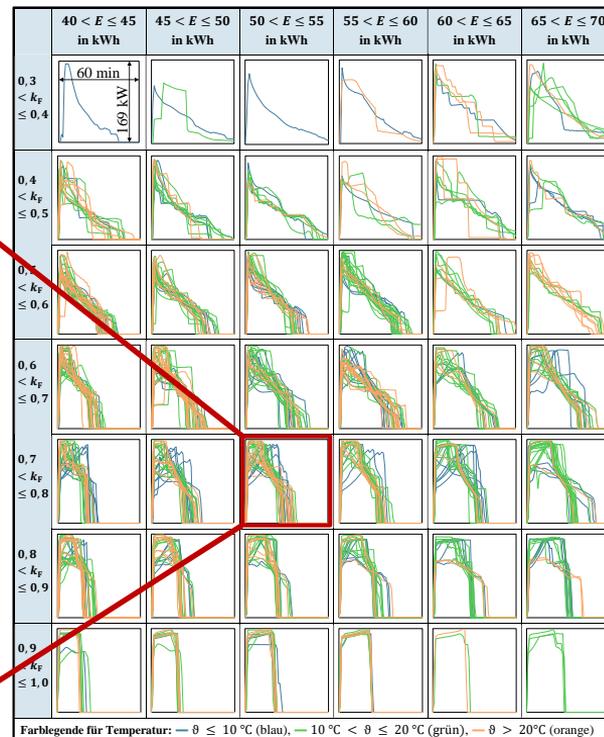


$E = 40 \text{ kWh}$

$E = 70 \text{ kWh}$

$k_F = 0,3$

$k_F = 1,0$



- Motivation
- Methodik
- Auswertung und Verallgemeinerung
- Bewertung gemessener Profilformen
- **Erkenntnisse und Ausblick**

Agenda:

Motivation

Methodik

Verallgemeinerung

Profilform

Erkenntnisse

Erkenntnisse

- Messkampagne an 32 öffentlichen Ladesäulen ermöglicht die Ermittlung von probabilistischen Verteilungen zum Ladeverhalten
- Definierte typische Standorte: Kerngebiet, Gewerbegebiet, Wohngebiet, Rastplatz, Tankstelle, Kundenparkplatz
- Probabilistische Verteilungen: Startzeitpunkt, Anzahl LV je Tag, Energie je LV, Leistung je LV
- Charakterisierung der Profilformen ist mit dem Volllastfaktor k_F möglich

Ausblick

- Prüfung des Einflusses des Volllastfaktors k_F auf die Netzbelastung
- Betrachtung von Blindleistung und Netzurückwirkungen
- Weitere Anwendung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Parametrierung von Lastprofilgeneratoren und zur Ermittlung von Gleichzeitigkeitsfaktoren

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Simon Kreutmayr
Hochschule Augsburg
Fakultät für Elektrotechnik
An der Hochschule 1
86161 Augsburg

Tel.: + 49 821 5586 3634

E-Mail: simon.kreutmayr@hs-augsburg.de

Im Rahmen des Projektes:



Hochschule Augsburg
University of Applied Sciences



Stadtwerke München



<https://www.hs-augsburg.de/E-Motion-to-Grid.de>