

# ANSCHLUSSLEISTUNG FÜR WOHNHAUSANLAGEN MIT E-LADEINFRASTRUKTUR – PILOTVERSUCH UND SOFTWAREGESTÜTZTES AUSLEGUNGSTOOL

Guntram Preßmair\*, Paul Lampersberger, Walter Hüttler

e7 energy innovation & engineering, Walcherstraße 11 1020 Wien, +43 1907 80 26,  
[guntram.pressmair@e-sieben.at](mailto:guntram.pressmair@e-sieben.at), [paul.lampersberger@e-sieben.at](mailto:paul.lampersberger@e-sieben.at), [walter.huettler@e-sieben.at](mailto:walter.huettler@e-sieben.at), [www.e-sieben.at](http://www.e-sieben.at)

**Kurzfassung:** In einer Wohnhausanlage im Süden Wiens wurde eine Ladestation mit mehreren Ladepunkten installiert und im Rahmen eines Pilotversuchs in der Praxis getestet. Dabei konnte gezeigt werden, dass mehr als 50% der Haushalte auf e-Fahrzeuge umsteigen können, ohne dass die Leistung am bestehenden elektrischen Hausanschluss verstärkt werden muss. Aufbauend auf die Ergebnisse wurde ein softwaregestütztes Modell entwickelt, welches die Auslegung von e-Ladestationen durch eine zielgenaue Simulation des Lastprofils erleichtert.

**Keywords:** Elektromobilität, Ladeinfrastruktur, Wohnbau, Bestandswohngebäude, Anschlussleistung, Auslegung, Simulation

## 1 Hintergrund

Im Sinne einer effizienten und effektiven Mobilitätswende müssen sich zukünftig Ladestationen im öffentlichen Raum, am Arbeitsplatz und zu Hause sinnvoll ergänzen. Deshalb wird im Wohnbau die Nachfrage an Ladeinfrastruktur gleichzeitig mit der Steigerung des e-Fahrzeugbestands in relevante Größenordnungen anwachsen. Gemäß HochlaufszENARIO von AustriaTech werden 2030 in Österreich in großvolumigen Bestandswohngebäuden (11 oder mehr Wohnungen) insgesamt rund 349.000 Ladepunkte für e-Fahrzeuge benötigt [1]. In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass im Jahr 2030 in Österreich eine durchschnittliche e-Mobilitätsdichte von 34% e-Pkw-Nutzung pro Haushalt vorliegt. In Abhängigkeit der Bewohnerstruktur und des Gebäudestandorts scheinen e-Mobilitätsdichten von bis zu 50% („jeder zweite Haushalt nutzt ein e-Fahrzeug“) im Jahr 2030 realistisch. Besonders in Bezug auf bestehende Wohnhausanlagen stellen sich in diesem Zusammenhang zentrale technische Fragen, zu denen auch in Expertenkreisen erhebliche Unsicherheit besteht:

- Über welche Leistungskapazität muss ein elektrischer Hausanschluss verfügen, um zusätzliche Lasten durch das Laden von Elektrofahrzeugen bedienen zu können?
- Wie wird garantiert, dass Elektrofahrzeuge an einer hausinternen Ladestation für die NutzerInnen immer zufriedenstellend geladen werden?
- Inwiefern kann ein Lastmanagementsystem dabei helfen, den Betrieb einer hausinternen Ladestation zu bewerkstelligen, ohne dass Anschlussleistung nachgekauft bzw. Infrastruktur im Haus oder im vorgelagerten Verteilnetz ausgebaut werden müssen?

Um diesen Fragen nachzugehen, wurde ein in Österreich bisher einzigartiges Pilotprojekt in einer bestehenden Wohnhausanlage im Süden Wiens durchgeführt. In Zusammenarbeit der Projektpartner e7 energy innovation & engineering, Gemeinnützige Bau- u. Wohnungsgenossenschaft „Wien-Süd“, Urban Innovation Vienna, Wien Energie und Wiener Netze, sowie mehrerer e-Fahrzeug-Anbieter konnte dabei ein Szenario in der Praxis getestet werden, bei dem jeder zweite Haushalt über ein E-Auto verfügt. Das Pilotprojekt wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds unterstützt. Aufbauend auf die erhobenen Daten wurde ein softwaregestütztes Modell entwickelt, welches das Lastprofil einer geplanten Ladestation simuliert und somit die Auslegung von Ladestellen in Wohnhausanlagen vereinfacht.

## 2 Pilotversuch

Für den Pilotversuch [2] wurde in der Tiefgarage einer Wohnhausanlage (Baujahr 2010) der gemeinnützigen Bau- u. Wohnungsgenossenschaft „Wien-Süd“ eine Ladestation mit 12 Ladepunkten inklusive Lastmanagementsystem errichtet. Im Frühjahr 2019 wurde diese in einem 6-wöchigen Realbetrieb getestet, wobei insgesamt 12 Haushalte der Wohnhausanlage einen e-Pkw erhielten.

Als Untersuchungsobjekt wurde eine Anlage mit 71 Wohneinheiten und einer Tiefgarage mit 75 Stellplätzen ausgewählt. Für die Stromversorgung der Ladeinfrastruktur wurde der bestehende elektrische Hausanschluss des Teilobjekts *Stiege 3* mit 22 Wohneinheiten genutzt. Dieser Anschluss wurde in weiterer Folge als der untersuchte elektrische Hausanschluss eines einzelnen Objekts mit 22 Wohnungen betrachtet. Mit den 12 Ladepunkten ergab sich so ein Szenario einer Durchdringung mit e-Pkw von über 50%.

Mehrere MieterInnen des Wohnhauses meldeten sich freiwillig, um am Projekt als Nutzer eines e-Pkw teilzunehmen. Die Zuordnung der Personen zu den verfügbaren Fahrzeugen erfolgte jeweils unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Fahrleistungen und des derzeit genutzten konventionellen Pkw. So erhielten NutzerInnen mit hohen Fahrleistungen einen e-Pkw mit großer Batterie und hoher Reichweite. Um die Fahrzeuge auch im öffentlichen Raum laden zu können erhielten alle NutzerInnen eine TANKE-Ladekarte von Wien Energie. Während des 6-wöchigen Versuchs führten die NutzerInnen jeweils ein Fahrtenbuch, in dem Sie Ihre Ladevorgänge und Fahrleistungen dokumentierten.

Bei der Auswahl der e-Pkw wurde darauf geachtet, einen heterogenen Fahrzeugpool mit möglichst vielen der derzeit gängigen Modelle zu erreichen. Vor allem sollte das unterschiedliche Ladeverhalten berücksichtigt werden. Somit kamen sowohl einphasig (z.B. Hyundai Ioniq), zweiphasig (VW e-Golf), als auch dreiphasig ladende Fahrzeuge (z.B. Renault Zoe) zum Einsatz.

Die bestehende Stromversorgung des Teilobjekts *Stiege 3* weist eine Nennleistung von 92 kW auf (22 Wohneinheiten mit je 4 kW und Allgemeinstrom).

Die Ladeinfrastruktur wurde mit fixer Stellplatz-Zuordnung in Form einer gemeinschaftlichen Ladeinfrastruktur konzipiert und errichtet (vgl. Variante C in [3]). Das bedeutet, dass jeder e-Pkw einer eigenen Wallbox zugewiesen und ein zentraler Zählpunkt für die Ladeinfrastruktur eingerichtet wurde. Die Abrechnung der Strommengen erfolgt somit über einen Ladestellenbetreiber und nicht über die jeweiligen Wohnungszähler.

Die 12 Ladepunkte wurden jeweils als Wallbox ausgeführt. Die Steuerung dieser erfolgte zentral von einem Verteilerschrank aus. Das ermöglichte die Kommunikation zwischen den Wallboxen und damit den Einsatz eines intelligenten Lastmanagementsystems. Zum Einsatz kamen Wallboxen mit einer technisch möglichen Leistungsabgabe von max. 22 kW (AC) über ein Typ-2-Ladekabel. Allerdings wurden die Wallboxen auf je 11 kW begrenzt und nur jene für das e-Pkw-Modell Renault Zoe auf 22 kW freigegeben, da die übrigen Modelle geringere AC-Ladeleistungen aufwiesen. Die maximale Anschlussleistung der gesamten Ladeinfrastruktur wurde mit 38 kW begrenzt. Außerdem wurde einphasiges Laden an den Wallboxen mit 20 A beschränkt.

Zur Datenerfassung wurde ein Monitoringsystem mittels hochauflösender Messinstrumente im Untersuchungsobjekt errichtet. Ziel war die Erfassung energietechnischer Messwerte (Strom, Spannung, Schein-, Wirk-, und Blindleistung) sowohl von den Haushalten als auch der e-Ladeinfrastruktur. Insgesamt wurden 17 Messpunkte im Untersuchungsobjekt und 2 im vorgelagerten Verteilnetz eingerichtet, wie Abbildung 1 zeigt.

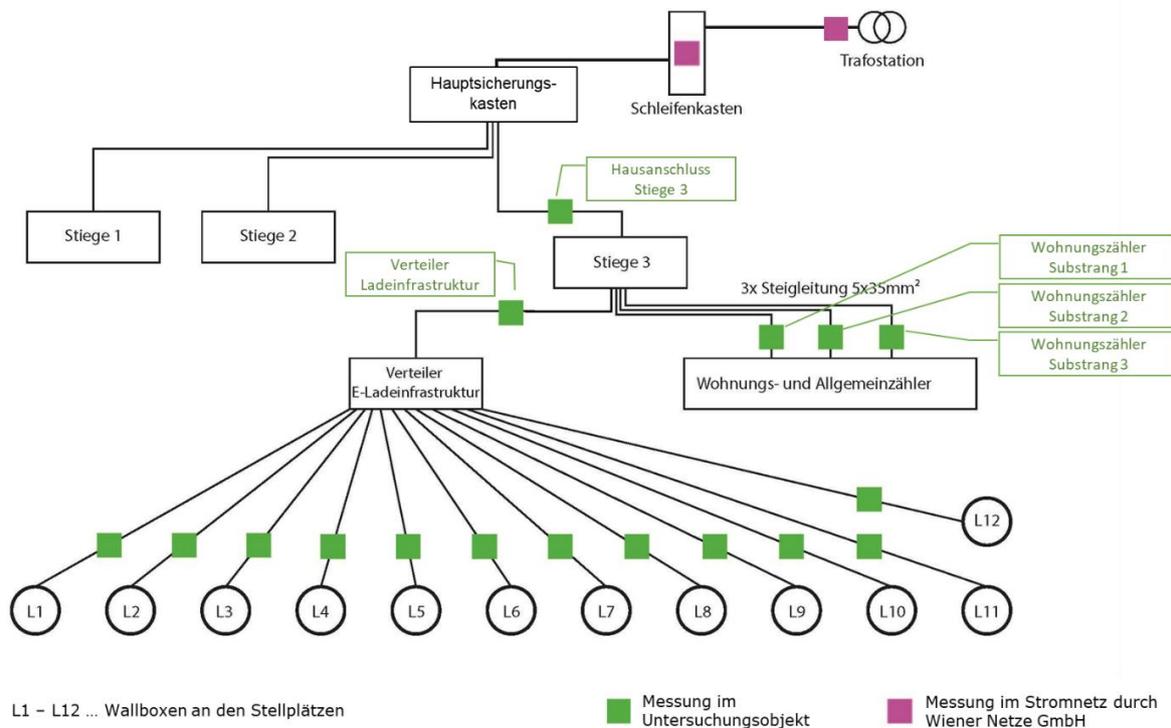


Abbildung 1: Messkonzept mit Messpunkten im Untersuchungsobjekt und im Stromnetz (Quelle: e7)

Um Überlastungen durch die Ladestation vorzubeugen, wurde ein statisches Lastmanagementsystem eingesetzt. Dabei wurde ein Maximalstrom von 55 A je Phase eingestellt, was insgesamt auf allen 3 Phasen einer Leistung von rund 38 kW entspricht. Als Ladestrategie des Systems wurde eine Load-Balancing oder Gleichverteilungsstrategie gewählt. Bevor der Maximalstrom an einer Phase überschritten wird, greift dabei das Lastmanagement ein und weist jedem angeschlossenen Fahrzeug den gleichen Strom zu. Wird durch die Verteilung jedoch ein Minimalstrom unterschritten (standardmäßig 6 A), pausiert eine Warteschlangenfunktion alle 15 Minuten der Reihe nach eine aktive Ladesitzung.

### 3 Simulationsmodell

Aufbauend auf den Ergebnissen des Pilotversuchs wurde ein Simulations-Tool entwickelt, welches auf einem bottom-up Modell basiert [4]. Mit diesem werden für einen gegebenen Zeitraum Ladeprofile einzelner e-Pkw probabilistisch erstellt und somit der Lastgang einer Ladestation in einem Wohnhaus simuliert. Dabei kann eine Vielzahl an Eingabeparametern variiert werden, wie ein Screenshot aus dem Setup-Menü der Anwendung zeigt (Abbildung 2).

The screenshot shows a 'Setup' menu with three main sections:

- Setup BEV:** Anzahl BEV: 16. BEV Modelle: Modell 1 (BMW i3): 4, Modell 2 (VW e-Golf): 4, Modell 3 (Hyundai Ioniq): 4, Modell 4 (Renault Zoe): 4. Fahrleistungen: Wenigfahrer: 5, Mittelfahrer: 6, Vielfahrer: 5.
- Setup Ladepunkte:** Anzahl Ladepunkte: 16. Beschränkung Wallbox je Phase [A]: 32. Beschränkung 1-phasiges Laden: 20. Phasen abwechselnd: ja. Immer anstecken: ja. (wenn nein) Bei einem Ladestand kleiner als: 0,8. Zuordnung zu den Ladepunkten: fix (selected), ermitteln. Berechnet sich aus Anzahl der BEV und Anzahl der Ladepunkte.
- Lastmanagement:** Art des Lastmanagements: statisch. Minimalstrom [A] je Phase (Gleichverteilung des LM unterschreitet diesen Wert nicht, sondern reißt BEV in Warteschlange ein): 6. Maximalstrom [A] je Phase bei statischem LM (erreicht eine Phase diesen Wert, greift das LM ein): 55. Verfügbare Anschlussstrom [A] je Phase bei dynamischem LM: 92.

Abbildung 2: Setup-Menü mit beispielhaften Setup-Parametern (BEV = battery electric vehicle)

Für die Simulation können die Anzahl der Fahrzeuge und Ladepunkte, die Fahrleistungen und das Ansteckverhalten der Nutzer, Spezifikationen der Wallboxen (inkl. abwechselnder bzw. paralleler Anschlussweise der Phasenleiter) und die Art des Lastmanagementsystems bestimmt werden. Außerdem stehen 4 reale Fahrzeugmodelle zur Auswahl, welche jeweils über charakteristische Ladeleistungen und -kurven verfügen (Abbildung 3).

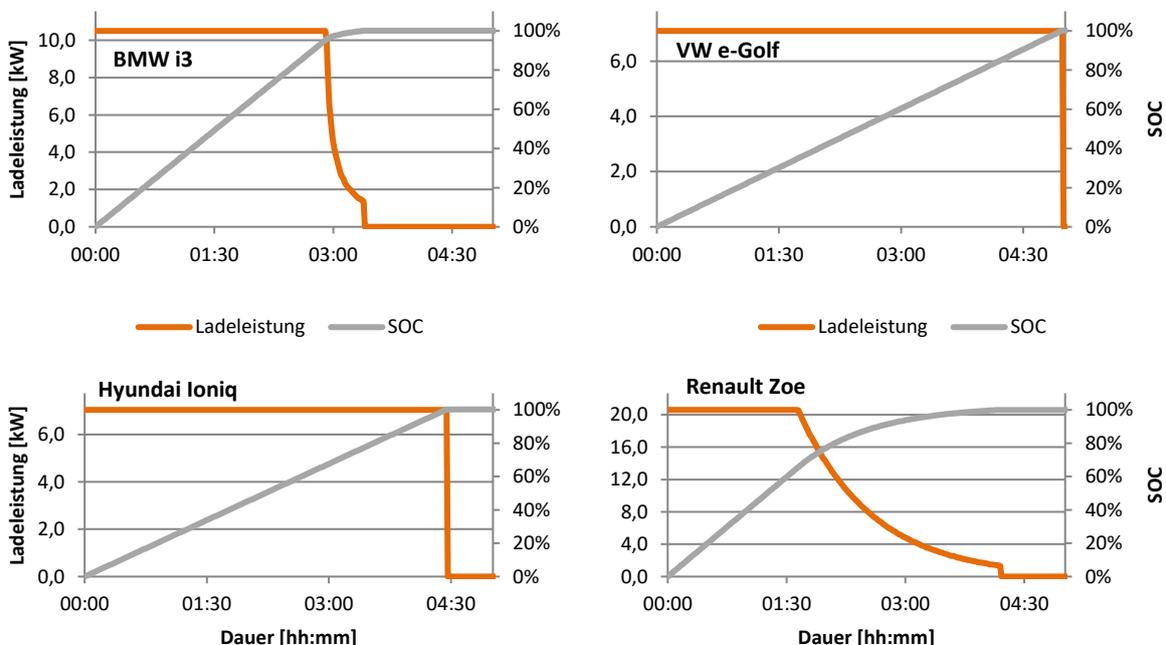


Abbildung 3: Ladekurven der 4 verschiedenen e-Pkw-Modelle im Simulationsmodell (SOC= state of charge)

Abbildung 4 zeigt nun schematisch den Ablauf des Simulationsprogramms, welches mittels Visual Basic als Excel-Tool umgesetzt wurde. Im ersten Teil des Vorgangs werden die Fahrprofile der einzelnen e-Pkw für jeden Tag generiert. Dabei werden mittels Zufallszahlen und Wahrscheinlichkeitsfunktionen die Werte für die Parameter *Anzahl Fahrten am Tag* (1, 2 oder 3 Fahrten), *Abfahrtszeit(en)*, *Ankunftszeit(en)* und *Tageskilometer* bestimmt. Diese Wahrscheinlichkeitsfunktionen wurden aus den im Pilotprojekt erhobenen Daten abgeleitet. Dabei wurde versucht, an die gemessenen relativen Häufigkeiten eine stetige Verteilungsfunktion anzunähern. Abbildung 5 illustriert diesen Vorgang am Beispiel der Verteilung der Ankunftszeiten von e-Pkw an einer Ladestation für den Fall eines Wochentags, an welchem nur 1 Fahrt zurückgelegt wurde. In diesem Fall reicht eine Normalverteilungskurve aus, um die Verteilung mit ausreichender Genauigkeit zu beschreiben. Ebenfalls dargestellt ist die Auswahl der simulierten Ankunftszeit mittels Zufallszahl.

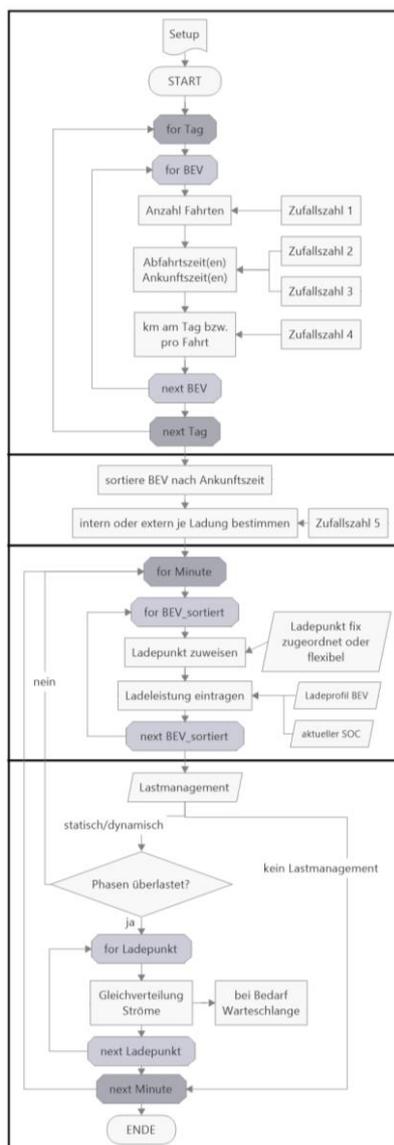


Abbildung 4: Modellkonzept

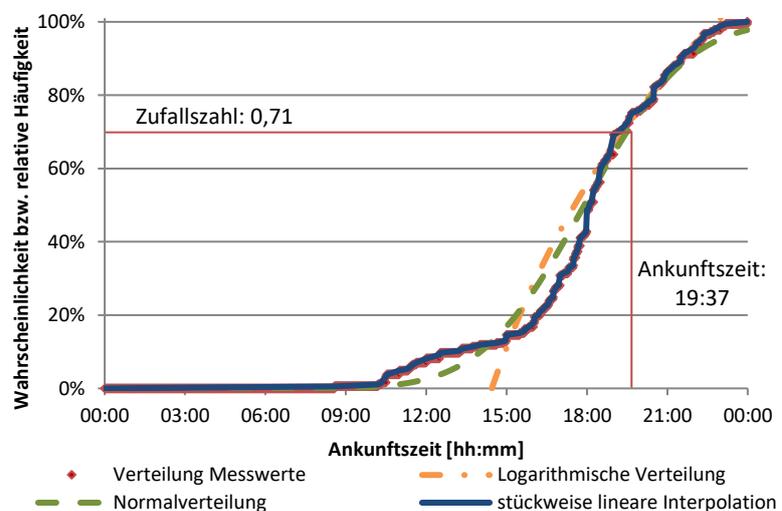


Abbildung 5: Approximation verschiedener stetiger Verteilungsfunktionen an die relativen Häufigkeiten der Ankunftszeiten in der Kategorie „1 Fahrt pro Tag an Wochentagen“

Nach Auswahl dieser Fahrparameter werden in einem Zwischenteil alle generierten Fahrten nach ihrer Ankunftszeit an einer Ladestation sortiert und wiederum mittels Zufallszahl bestimmt, ob es sich um eine hausinterne Ladung oder eine Ladung an einer öffentlichen Ladesäule handelt.

Im zweiten Teil werden schließlich die Ladevorgänge simuliert. Dabei wird der gesamte Simulationszeitraum in Minutenschritten durchlaufen. Bei Ankunft eines e-Pkw wird diesem ein Ladepunkt zugewiesen und dann zu jedem Zeitpunkt die passende Ladeleistung eingetragen.

Wird im simulierten Szenario ein Lastmanagementsystem eingesetzt, folgt der dritte Teil. In diesem wird zuerst geprüft, ob zum jeweiligen Zeitpunkt eine der drei Phasen überlastet ist

(Überschreiten des eingestellten Maximalstroms bei statischem Lastmanagement bzw. der verfügbaren Rest-Anschlussleistung bei dynamischem Lastmanagement). Dann werden die gleichverteilten Ströme für jeden Ladepunkt berechnet. Sollte dabei der eingestellte Minimalstrom unterschritten werden, wird das zuletzt angekommene Fahrzeug in eine Warteschlange eingereiht, bis genug Leistung verfügbar ist. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis der Minimalstrom erreicht wird. Wurde das für alle Ladepunkte durchgeführt, werden noch die Ströme an den Phasen jedes einzelnen e-Pkw angeglichen, sodass an allen Phasen der gleiche Strom bezogen wird. Ist die Schleife über den gesamten Simulationszeitraum abgeschlossen, beendet das Programm den Vorgang.

Mit dem entwickelten Modell wurden auf diese Weise mehrere Szenarien simuliert. Zuerst wurden dazu die einzelnen Eingabeparameter aus dem Setup variiert und dann gemeinsam mit dem Lastprofil des Untersuchungsobjektes *Stiege 3* betrachtet.

## 4 Ergebnisse des Pilotversuchs

In der 6-wöchigen Pilotphase des Projekts wurde von den 12 NutzerInnen ein realistischer Mix aus hohen und niedrigen Fahrleistungen abgebildet. Wie Abbildung 6 (links) zeigt, beträgt der Mittelwert aller Fahrleistungen im Pilotzeitraum 1.756 km, was hochgerechnet auf ein ganzes Jahr rund 15.000 km bzw. umgelegt auf einen Tag knapp 41 km entspricht. Diese Werte liegen etwa 20% über dem österreichischen Durchschnitt für private Pkw-Nutzung [5]. Mit der Wien Energie TANKE-Ladekarte hatten die NutzerInnen auch die Möglichkeit kostenfrei Ladungen an öffentlichen BEÖ-Ladestationen durchzuführen. Wie in Abbildung 6 (rechts) ersichtlich, überwog jedoch die Heimladung mit einem Anteil von rund 85% deutlich. Lediglich 13% der Energiemenge für die Ladung der e-Pkw wurde an öffentlichen Ladestationen bezogen, der Rest an anderen Ladestellen bzw. privat (z.B. Wochenendhaus, gratis Ladestellen von Gemeinden).

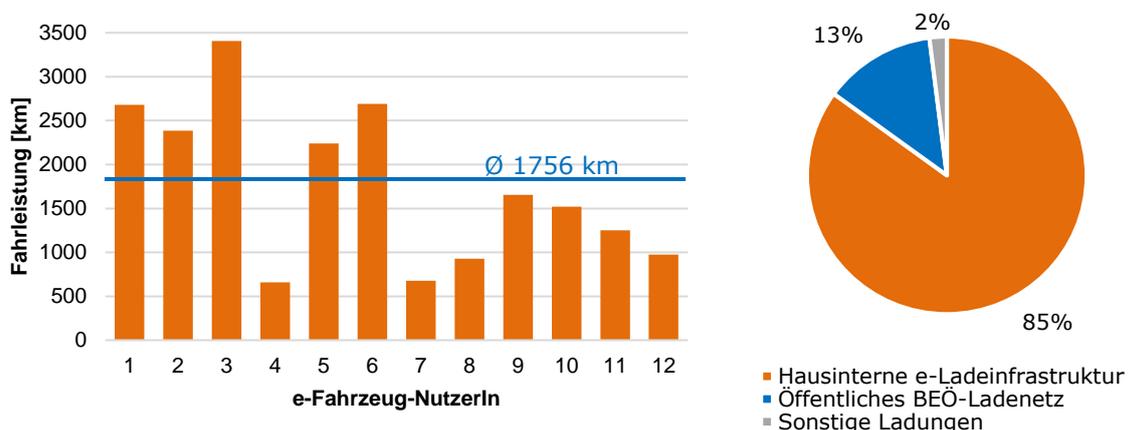


Abbildung 6 Links: Gesamt-Fahrleistungen je e-Fahrzeug-NutzerIn im Pilotzeitraum Rechts: Geladene Energiemengen an der hausinternen e-Ladeinfrastruktur, an öffentlichen BEÖ-Ladestationen und sonstige Ladungen (Quelle: e7 und Wien Energie GmbH)

Bei der der Auswertung der Lastprofile an den einzelnen Ladepunkten wurde sichtbar, dass sich die Ladekurven unterschiedlicher e-Pkw-Modelle deutlich unterscheiden. Die Gründe dafür sind in erster Linie unterschiedliche Lademodi (1-, 2-, 3-phasig), Nennladeströme (16 bzw. 32 A je Phase) und die Bauweise bzw. das Batteriemanagementsystems des Fahrzeugs. Beispielsweise konnte beim Renault Zoe ein deutlich absinkender

Wirkleistungsfaktor am Ende des Ladevorgangs festgestellt werden. Außerdem wurden aufgrund von Vorgaben zur Vermeidung von Schiefasten 1-phasige e-Pkw-Modelle nur mit maximal 20 A geladen, obwohl die Fahrzeuge teilweise eine Ladung mit 32 A zuließen.

Um den typischen Lastverlauf am Anschluss der gesamten hauseigenen Ladestation zu veranschaulichen, sind in Abbildung 7 die Lastprofile der 3 Tage mit den höchsten im Pilotversuch gemessenen Tageslastspitzen dargestellt. Dabei wird ersichtlich, dass die vom Verteiler-Anschluss zur Verfügung gestellte und durch das Lastmanagementsystem begrenzte Leistung bei weitem nicht ausgeschöpft wurde. Somit griff das Lastmanagementsystem während der Pilotphase immer nur an einzelnen Phasen ein, wenn die 55 A erreicht wurden, jedoch nie an allen 3 Phasen gleichzeitig. Die meisten Eingriffe dürften aufgrund Überlastung der Phase 1 erfolgt sein, da an dieser sowohl 1-, 2-, als auch 3-phasige e-Pkw geladen wurden. Allgemein zeigt das Lastprofil, dass die meisten Ladungen ca. zwischen 17:00 und 21:00 Uhr erfolgen. Dies weist auf ein erhebliches Optimierungspotenzial für den Ausgleich von Lastspitzen hin. Beispielsweise könnten durch Anpassungen im Lastmanagementsystem die Ladevorgänge von den Abendstunden in die Nachtstunden verschoben werden.

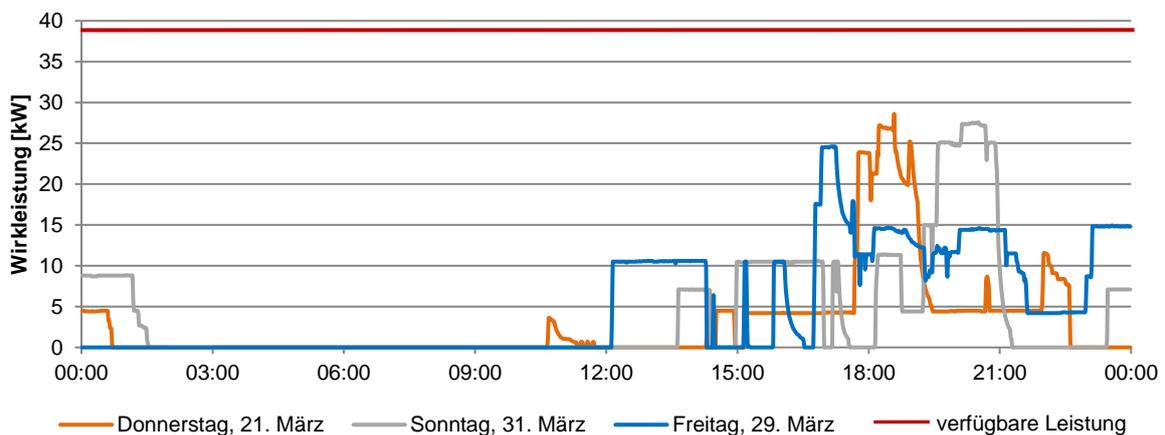


Abbildung 7: Wirkleistungsverlauf an den drei Tagen mit den höchsten Tageslastspitzen im Pilotzeitraum und verfügbare Leistung am Verteiler der e-Ladestation (Quelle: e7)

Für die Auslegung von elektrischen Anschlüssen wird in der Praxis ein Gleichzeitigkeitsfaktor herangezogen. Dieser soll hier aus den erhobenen Messdaten errechnet werden. Der Gleichzeitigkeitsfaktor  $g(n)$  wird als Quotient der maximal gemessenen Spitzenleistung während des Pilotprojekts  $P_{S,max}$  und der Summe der einzelnen Anschlussleistungen der Verbraucher  $\sum_{i=1}^n P_{max,i}$  berechnet [6]. Für die Summe der Anschlussleistungen wird einerseits die maximale Ladeleistung der Wallboxen zu diesem Zeitpunkt herangezogen, die bei je 11 kW lag<sup>1</sup>. Damit ergibt sich ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,22. Andererseits werden in einer alternativen Berechnung die maximal möglichen Ladeleistungen der einzelnen e-Pkw (unter Berücksichtigung der Beschränkung auf 20 A bei einphasiger Ladung) verwendet, wobei man einen Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,34 erhält. Die beiden ermittelten Gleichzeitigkeitsfaktoren sind in Abbildung 8 den Empfehlungen von Österreichs Energie [7]

<sup>1</sup> Zu diesem Zeitpunkt war kein Fahrzeug vom Modell Renault Zoe im Einsatz.

gegenübergestellt. Die Kurven betreffend Elektromobilität basieren hier ebenfalls auf 11 kW Ladepunkten.

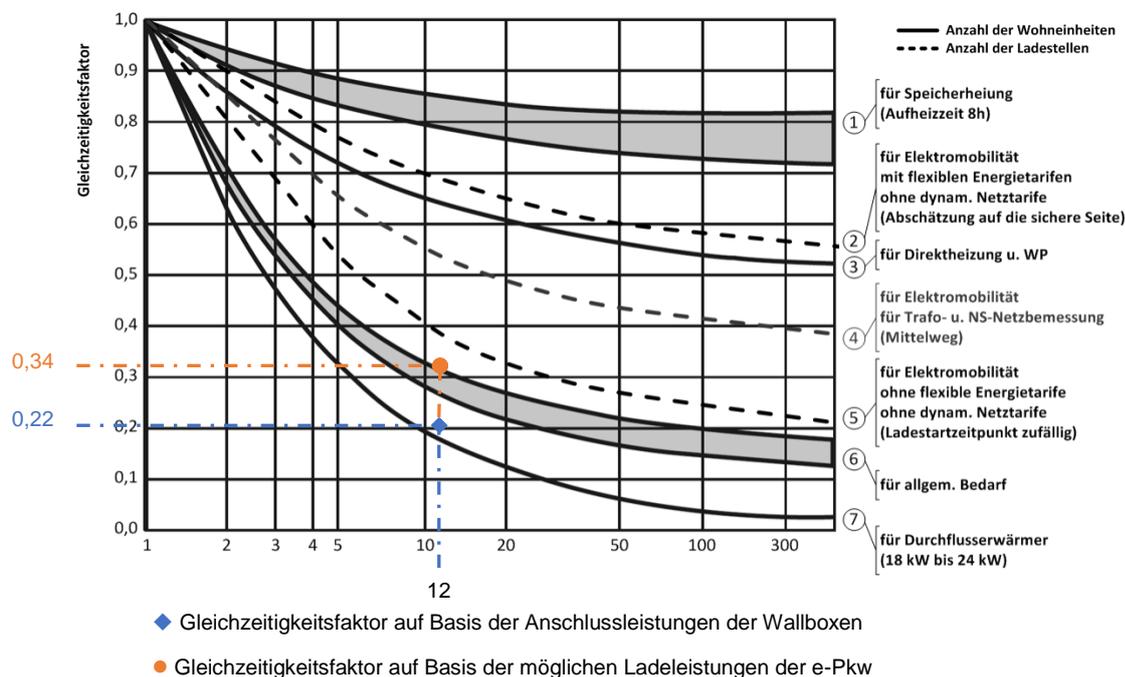


Abbildung 8: Vergleich der Gleichzeitigkeitsfaktoren von Wohneinheiten bzw. Wallboxen (11kW) mit den im Pilotversuch erhobenen Gleichzeitigkeitsfaktoren (Quelle: e7, verändert nach [7])

Im nächsten Schritt soll das Lastprofil des gesamten Untersuchungsobjekts analysiert werden.

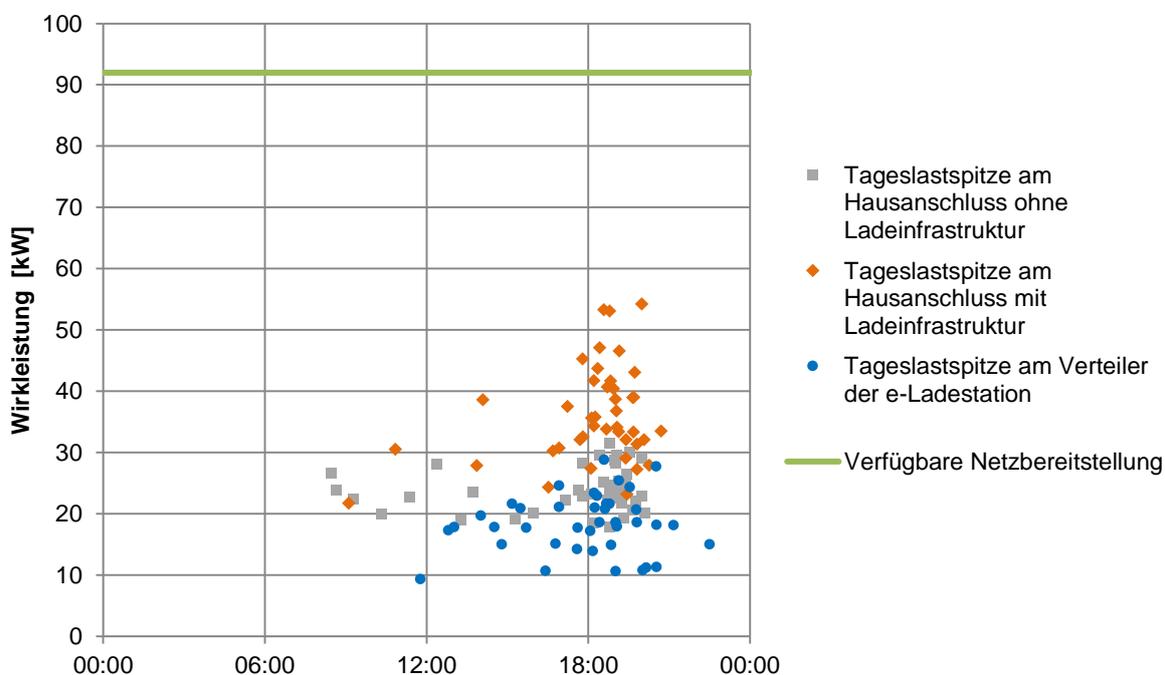


Abbildung 9: Tageslastspitzen am Hausanschluss im Pilotzeitraum mit Ladeinfrastruktur (Wohnen + Laden) und ohne Ladeinfrastruktur, sowie verfügbare Anschlussleistung und Tageslastspitzen am Anschluss der Ladeinfrastruktur (Quelle: e7)

Abbildung 9 zeigt dazu die aufgetretenen Tageslastspitzen am Hausanschluss inklusive sowie exklusive der Ladeinfrastruktur während der Pilotphase. Im Vergleich dazu ist die gesamte verfügbare Anschlussleistung eingetragen. Außerdem sind auch die Tageslastspitzen am Anschluss der Ladestation eingezeichnet. Die maximalen Tageslastspitzen mit Ladeinfrastruktur liegen im Bereich von 55 kW, ohne Ladeinfrastruktur liegen diese bei maximal 30 kW. Durch das Laden von e-Autos in der Tiefgarage erhöhen sich demnach die Lastspitzen am Hausanschluss um nahezu das Doppelte und verschieben sich mehr in die Abendstunden. Ausgehend von der Netzbereitstellung in der Höhe von 92 kW wird ersichtlich, dass trotz Erhöhung der Lastspitzen durch die e-Ladeinfrastruktur noch eine Reserve von rund 40% am bestehenden Hausanschluss besteht.

Ebenso zeigten die Untersuchungen am Transformator, dass im vorgelagerten Verteilnetz keine negativen Auswirkungen durch die zusätzliche Belastung der e-Ladungen hervorgerufen wurden. Die Auswertung einer abschließenden NutzerInnen-Befragung ergab eine hohe Zufriedenheit sowohl mit den Fahrzeugen als auch mit den Ladevorgängen. Mehr als die Hälfte der e-Fahrzeug-NutzerInnen konnte sich außerdem vorstellen an einem lokalen e-Carsharing teilzunehmen.

## 5 Ergebnisse der Simulation

Für jedes Szenario wurde im Modell ein 4-wöchiger Testzeitraum simuliert. In diesem Abschnitt werden die Auswertungen ausgewählter Szenarien diskutiert. In der ersten Simulation wurde die Anzahl an e-Pkw inkl. Ladepunkten variiert. Es wurde ein statisches Lastmanagementsystem mit einer maximal zulässigen Leistung von 38 kW definiert (55 A je Phase). Abbildung 10 stellt die Tageslastspitzen am Anschluss der gesamten Ladestation nach ihren Auftrittszeitpunkten dar.

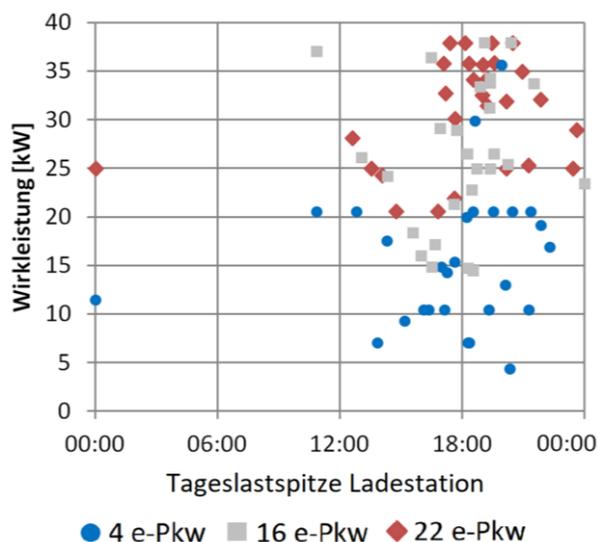


Abbildung 10: Tageslastspitzen am Anschluss der Ladestation bei verschiedener Anzahl an e-Pkw

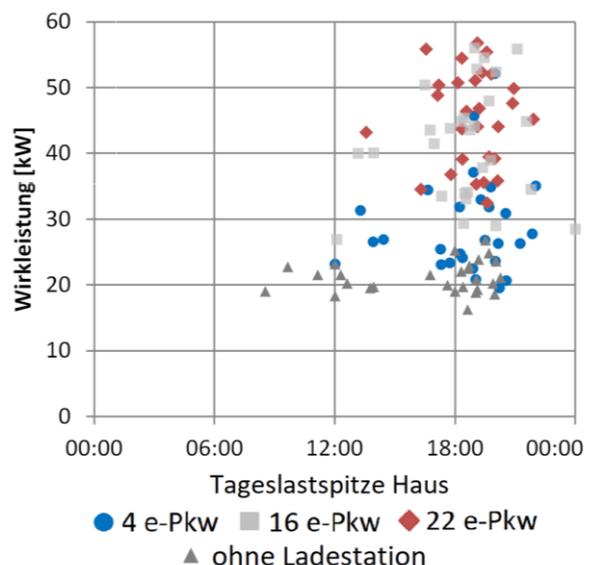


Abbildung 11: Tageslastspitzen am Hausanschluss bei verschiedener Anzahl an e-Pkw

Es zeigt sich, je höher die Anzahl an Fahrzeugen angenommen wird, desto höher fallen die Tageslastspitzen aus. Demnach wird auch das Lastmanagementsystem öfter aktiv, je mehr e-Pkw simuliert werden und unterbindet Lastspitzen größer 38 kW.

In Abbildung 11 wird die simulierte Ladestation gemeinsam mit einem tatsächlichen Lastprofil des Untersuchungsobjekts *Stiege 3* betrachtet. In dieser Darstellung liegen die maximalen Lastspitzen im Bereich von 57 kW, wobei bei mehr Fahrzeugen wiederum deutlich mehr Spitzen in dieser Größenordnung auftreten. Die maximal bezogene Leistung ohne eine Ladestation liegt bei 27 kW. Für das untersuchte Haus entsprechen 22 e-Pkw einer Durchdringung mit 100% e-Pkw unter der Annahme, dass pro Haushalt ein Fahrzeug betrieben wird.

In einem weiteren Szenario wird eine unterschiedliche Konfiguration des statischen Lastmanagementsystems simuliert. Wie die Lastspitzen am Anschluss der Ladestation zeigen (Abbildung 12), wird bei einer besonders niedrig angesetzten zulässigen Stromstärke je Phase (32 A) der maximale Leistungswert von 22 kW an den meisten Tagen erreicht. Die gegenübergestellte Simulation ohne Lastmanagementsystem zeigt, dass ohne eine Begrenzung deutlich höhere Lastspitzen zustande kommen. Außerdem zeigt eine weitere Auswertung der Ergebnisse, dass es bei keinem dieser Szenarien zu Beeinträchtigungen von Fahrbedürfnissen der NutzerInnen aufgrund zu kurzer Ladezeiten kam. Nach den Ergebnissen dieser Simulation würde damit eine Anschlussleistung von 22 kW für eine Ladestation mit 16 e-Pkw ausreichen. Wird wiederum der gesamte Hausanschluss betrachtet (Abbildung 13) erreicht im Szenario mit dem niedrigen Lastmanagement (32 A) die maximale Lastspitze 46 kW. Ohne Lastmanagement liegt der Wert bei knapp 64 kW.

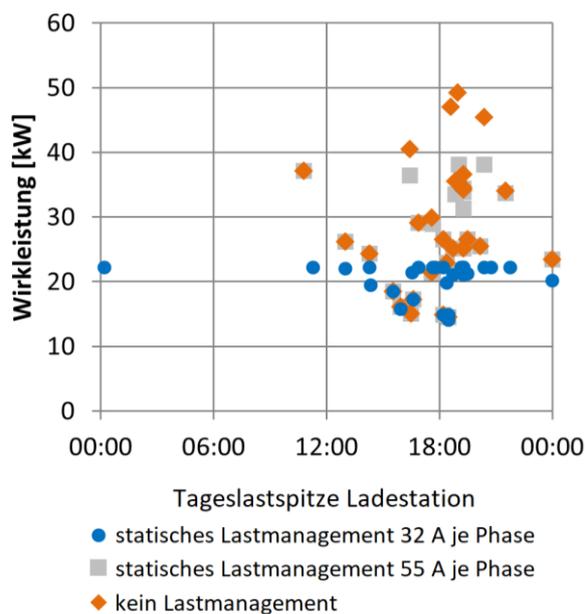


Abbildung 12: Tageslastspitzen am Anschluss der Ladestation bei unterschiedlichem Lastmanagement

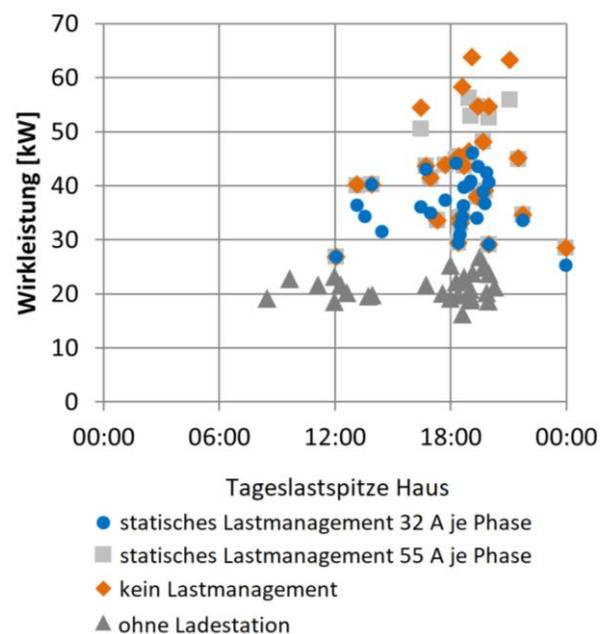


Abbildung 13: Tageslastspitzen am Hausanschluss bei unterschiedlichem Lastmanagement

Die nächsten beiden Szenarien vergleichen bei wiederum 16 e-Pkw mit einem Lastmanagementsystem von 55 A je Phase die Installationsweise der Wallboxen. Parallel bedeutet hierbei, dass bei allen Wallboxen die Phasen gleich an die Phasen des Verteilers angeschlossen werden. Bei abwechselndem Phasenanschluss erfolgt dies bei jeder Wallbox unterschiedlich. Abbildung 14 stellt die Tagesstromspitzen an den einzelnen Phasen dar und zeigt bei parallelem Phasenanschluss eine ungleichmäßige Belastung. Da an Phase L1 sowohl 1-, 2- als auch 3-phasige e-Pkw laden, wird hier an den meisten Tagen der eingestellte Maximalwert von 55 A erreicht. Die erhöhten Eingriffe an dieser Phase vermeiden zwar größere Schiefasten, führen jedoch zu einem nicht optimalen Betrieb der Ladestation. Bei abwechselndem Phasenanschluss hingegen zeigt sich eine sehr gleichmäßige Verteilung der Lasten.

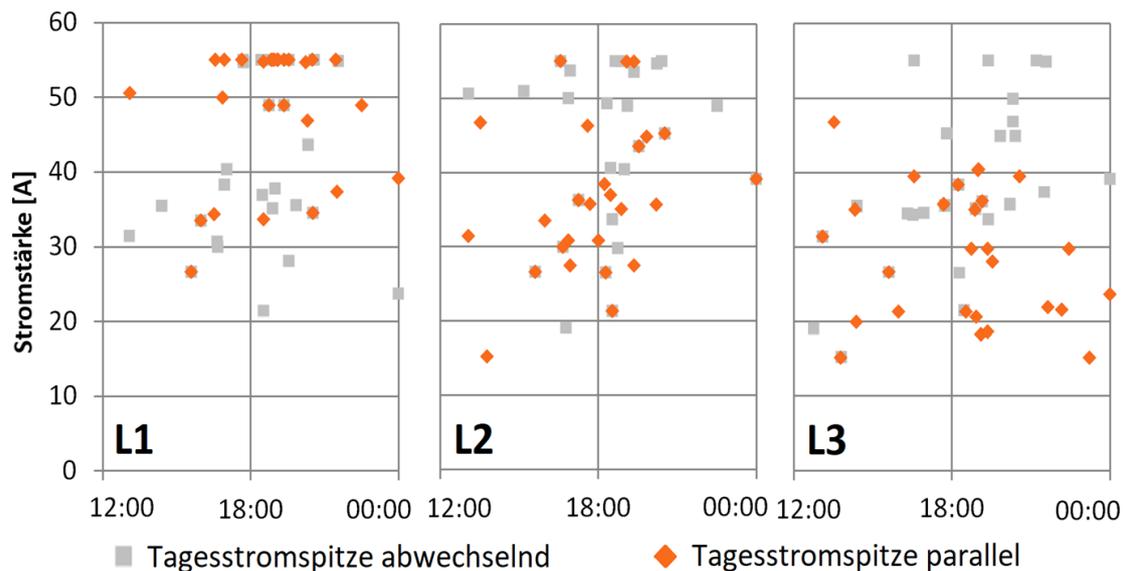


Abbildung 14: Tagesstromspitzen am Anschluss der Ladestation bei abwechselndem und parallelem Phasenanschluss

Abbildung 15 zeigt den Unterschied bei Einzelnutzung und gemeinsamer Nutzung der verfügbaren Ladepunkte. Während bei Einzelnutzung für 16 e-Pkw 16 Ladepunkte benötigt werden kann diese Zahl durch gemeinsame Nutzung auf 15 reduziert werden. Die Tageslastspitzen ändern sich dabei kaum. Ein anderes Bild ergibt sich, wenn zusätzlich die NutzerInnen den e-Pkw erst ab einem Ladestand < 80% anstecken. In diesem Fall ergeben sich höhere Lastspitzen, was darauf zurückzuführen sein könnte, dass die Ladungen zwar seltener aber länger auftreten und sich somit zeitlich eher überschneiden. Außerdem werden hier nur 13 Ladepunkte benötigt. Diese Gegenüberstellung legt nahe, dass nur durch selteneres Anstecken der Fahrzeuge die Zahl der benötigten Ladepunkte wesentlich verringert werden kann, was aber auf Kosten höherer Lastspitzen erfolgt. Daher muss in der Praxis zwischen den Kosten zusätzlicher Anschlussleistung und den Ersparnissen durch eine geringere Anzahl an Wallboxen abgewogen werden. Überdies spielt der Nutzerkomfort in dieser Frage eine sehr wichtige Rolle.

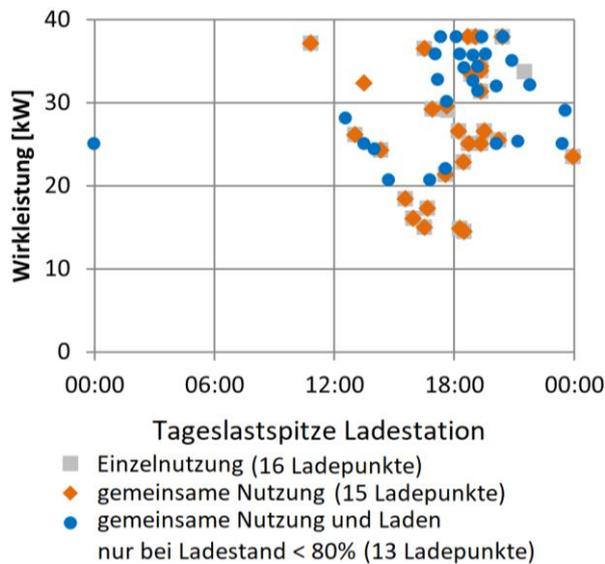


Abbildung 15: Tageslastspitzen am Anschluss der Ladestation bei unterschiedlicher Nutzung der Ladepunkte

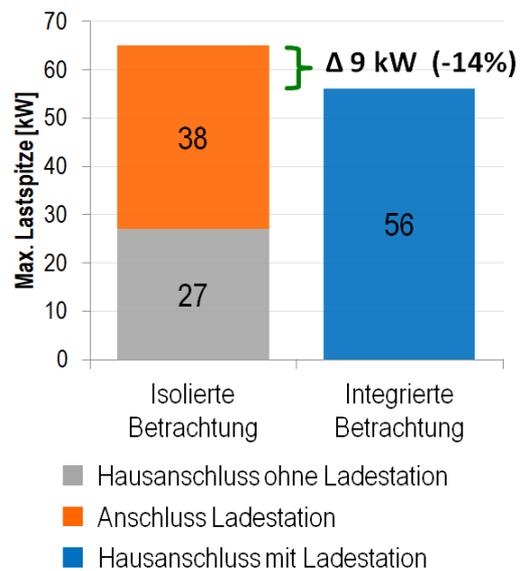


Abbildung 16: Maximale Lastspitze am Hausanschluss bei isolierter und integrierter Betrachtung

Nun soll anhand des Szenarios mit 16 e-Pkw und einem Lastmanagement von 55 A je Phase gezeigt werden, wie bei der Auslegung des Hausanschlusses einer Wohnhausanlage mit Ladestation vorgegangen werden kann (Abbildung 16). In der Praxis ist die isolierte Betrachtung eine durchaus übliche Vorgangsweise. Dabei wird zuerst die maximale Lastspitze des Hauses ohne Ladestation gemessen bzw. abgeschätzt und die für die Ladestation vorgesehene Leistung dazu addiert. Integriert bedeutet hingegen, dass die Lastprofile von Haus und Ladestation gemeinsam betrachtet werden und die dabei auftretende maximale Lastspitze zur Auslegung herangezogen wird. Es zeigt sich, dass in einer integrierten Betrachtung in diesem Szenario 14% weniger Anschlussleistung benötigt wird und somit einer Überdimensionierung besser vorgebeugt werden kann.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Pilotprojekt Elektromobilität 2030 konnten wichtige Erkenntnisse für die Implementierung von e-Ladeinfrastruktur im bestehenden Wohnbau gewonnen werden. In diesem Praxisversuch wurde eine gemeinschaftlich errichtete Ladeinfrastruktur mit Lastmanagement-Funktion und einer derzeit typischen e-Fahrzeuge-Flotte mit realistischem Fahrverhalten erprobt. Es wurde gezeigt, dass mehr als die Hälfte der Haushalte auf e-Fahrzeuge umsteigen können, ohne dass die Leistung am bestehenden elektrischen Hausanschluss verstärkt werden muss. Es wurden geringe Ladeleistungen an der e-Ladeinfrastruktur nachgewiesen (Lastspitzen kleiner 30 kW bei insgesamt 12 Ladepunkten bzw. Fahrzeugen). Selbst an Tagen, an denen hohe Ladeleistungen zu erwarten wären (z.B. schöner, sonniger Sonntag – typisches Ausflugs Wetter), war die tatsächliche, maximal abgefragte elektrische Leistung der Ladeinfrastruktur weniger als ein Drittel der insgesamt zur Verfügung stehenden elektrischen Hausanschlusskapazität. Zusammen mit der Nachfrage der Haushalte ergibt sich eine maximale Auslastung der insgesamt zur Verfügung stehenden elektrischen Hausanschlusskapazität von etwa 60% (e-Ladeinfrastruktur und Haushaltsstrom). Der wesentliche Grund dafür liegt darin, dass nicht immer alle e-Pkw gleichzeitig geladen werden. Darüber hinaus können viele e-Fahrzeuge nur 1-phasigen Wechselstrom laden. D.h. auch wenn die Wallbox 11 kW (3-phasige Versorgung) zur Verfügung stellt, erfolgt die Ladung eines 1-phasigen e-Fahrzeugs nur mit maximal 3,7 bzw. 4,6 kW. Außerdem liegen die regelmäßig von den NutzerInnen zurückgelegten Fahrten im Bereich von weniger als 50 km, wodurch nur selten Vollladungen erforderlich sind. Die Auswertung der Messungen hat gezeigt, dass ein erhebliches Optimierungspotenzial für den Ausgleich von Lastspitzen am elektrischen Hausanschluss vorliegt. Beispielsweise könnten durch Anpassungen im Lastmanagementsystem die Ladevorgänge von den Abendstunden in die Nachtstunden verschoben werden.

Mit dem Simulationsmodell konnte ein Tool entwickelt werden, welches die Auslegung von e-Ladestationen in Wohnhausanlagen erleichtert. Durch eine Vielzahl an individuell einstellbaren Parametern, wie Fahrzeugmodelle, Fahrleistungen und Konfiguration des Lastmanagements, ist eine zielgenaue Abschätzung der benötigten Anschlussleistung möglich. Die hier behandelten Szenarien zeigten den Einfluss des Lastmanagementsystems und der Anzahl an e-Pkw an der Ladestation auf. Die Simulationsergebnisse legen nahe, Wallboxen einer Ladestation „abwechselnd“ an den Phasen des übergeordneten Verteilers zu installieren, da somit Schiefasten verhindert werden können. Weiters ist abzuwägen, ob eine Minimierung der benötigten Wallboxen durch selteneres Anstecken der Fahrzeuge die Kosten für höhere Anschlussleistung bzw. den damit möglicherweise einhergehenden Komfortverlust rechtfertigt. Bei der Auslegung eines Hausanschlusses wird außerdem empfohlen, eine integrierte Betrachtung von Haus und Ladestation einer isolierten Betrachtung vorzuziehen um somit einer Überdimensionierung vorzubeugen.

Die Ergebnissen des Pilotversuchs und das darauf aufbauende Simulationstool werden in Zukunft bei der praktischen Auslegung von e-Ladestationen sowohl in Bestandswohngebäuden als auch bei Neubauprojekten eingesetzt. Darüber hinaus startet am Untersuchungsobjekt im Frühjahr 2020 ein Nachfolgeprojekt, bei dem ein liegenschaftsübergreifendes e-Carsharingsystem erprobt werden soll.

## Referenzen

- [1] T. Eberhard und C. Steger-Vonmetz, "Elektro-Autos zuhause laden: Bedarf an und Maßnahmen für Heimpladestationen in Wohnanlagen," austriatech, Wien, 2019. [Online] Verfügbar unter: <https://austriatech.at/assets/Uploads/Publikationen/PDF-Dateien/7a80fa2cb2/WEB-Mobility-Explored-April-2019.pdf>. Abgerufen am: 01.12.2019.
- [2] W. Hüttler, P. Lampersberger, G. Preßmair, P. Gredler, und S. Golub, "Pilotprojekt Elektromobilität 2030: Umsetzung Elektromobilitätsszenario 2030 in einer bestehenden Wohnhausanlage," Wien, 2019. [Online] Verfügbar unter: [https://www.e-sieben.at/de/download/18056\\_Pilotprojekt-Elektromobilitaet-2030\\_Endbericht\\_final.pdf](https://www.e-sieben.at/de/download/18056_Pilotprojekt-Elektromobilitaet-2030_Endbericht_final.pdf). Abgerufen am: 20.11.2019.
- [3] W. Hüttler, C. Amann, P. Lampersberger, und P. Fidler, "Nachrüstung von Ladestationen in bestehenden großvolumigen Wohngebäuden," Endbericht, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2017. [Online] Verfügbar unter: [https://www.e-sieben.at/downloads/publikationen/17036\\_Studie\\_Nachruestung\\_von\\_Ladestationen.pdf](https://www.e-sieben.at/downloads/publikationen/17036_Studie_Nachruestung_von_Ladestationen.pdf). Abgerufen am: 01.12.2019.
- [4] G. Preßmair, "Modellierung und Simulation von Lastprofilen batterieelektrischer Fahrzeuge zur Auslegung von Ladestationen in Wohnhausanlagen," Diplomarbeit, Institut für Verfahrens- und Energietechnik, Universität für Bodenkultur Wien, Wien, 2019.
- [5] Statistik Austria, "Energieeinsatz der Haushalte: Fahrleistungen, Treibstoffeinsatz und Energieverbrauch privater Pkw," Statistik Austria, Wien, 2019. [Online] Verfügbar unter: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_umwelt\\_innovation\\_mobilitaet/energie\\_und\\_umwelt/energie/energieeinsatz\\_der\\_haushalte/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energieeinsatz_der_haushalte/index.html). Abgerufen am: 01.12.2019.
- [6] T. Wieland *et al.*, "Probabilistische Methode zur Modellierung des Ladeverhaltens von Elektroautos anhand gemessener Daten elektrischer Ladestationen – Auslastungsanalysen von Ladestationen unter Berücksichtigung des Standorts zur Planung von elektrischen Stromnetzen," *Elektrotech. Inftech.*, vol. 132, no. 3, pp. 160–167, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00502-015-0299-0>, 2015.
- [7] EP Elektromobilität des AK Verteilernetze, "Abschlussbericht des EP Elektromobilität," Österreichs Energie, Wien, 2018. [Online] Verfügbar unter: [https://oesterreichsenergie.at/files/Downloads%20Netze/Abschlussbericht\\_EP-Elektromobilit%C3%A4t.pdf](https://oesterreichsenergie.at/files/Downloads%20Netze/Abschlussbericht_EP-Elektromobilit%C3%A4t.pdf). Abgerufen am: 20.11.2019.