

Pilotprojekt

Elektromobilität 2030

Umsetzung Elektromobilitätsszenario 2030 in einer bestehenden Wohnhausanlage

Endbericht

August 2019

Auftraggeber: Klima- und Energiefonds

Projektpartner

e7 Energie Markt Analyse GmbH (Projektkoordination)
Walter Hüttler, Paul Lampersberger, Guntram Preßmair

Gemeinnützige Bau- u. Wohnungsgenossenschaft „Wien-Süd“
Sabine Prerovsky, Martin Strommer

Wien Energie GmbH
Paul Gredler-Oxenbauer, Sasha Golub

Wiener Netze GmbH
Gerhard Prochaska, Robert Bachinger

Energy Center / Urban Innovation Vienna GmbH
Gerald Franz



Impressum

e7 Energie Markt Analyse GmbH
Walter Hüttler, Paul Lampersberger, Guntram Preßmair
Walcherstraße 11/43
1020 Wien
Österreich

Telefon +43-1-907 80 26
Fax +43-1-907 80 26-10
office@e-sieben.at
<http://www.e-sieben.at>

Firmenbuchnummer: 295192 g
UID-Nr.: ATU63453337

Kurzfassung

Parallel zur Steigerung des e-Fahrzeugbestands wird auch im Wohnbau die Nachfrage an Ladeinfrastruktur in relevante Größenordnungen anwachsen.

Neben einer Reihe von Vorschlägen für die Weiterentwicklung des Wohnrechts, die Eingang in die #mission2030 gefunden haben, stellen sich aber zentrale technische Fragen.

Um Antworten auf diese Fragen zu erhalten, wurde mit dem Pilotprojekt Elektromobilität 2030 ein bisher in Österreich einzigartiges Pilotprojekt in einer bestehenden Wohnhausanlage der „Wien-Süd“ durchgeführt. Zentrales Ziel war die Umsetzung einer hohen e-Mobilitätsdichte von mehr als 50%, unter dem Motto „Jede 2. Wohneinheit des Objekts fährt elektrisch“.

In Zusammenarbeit von e7, Gemeinnützige Bau- u. Wohnungsgenossenschaft „Wien-Süd“, Urban Innovation Vienna, Wien Energie und Wiener Netze sowie mehrerer e-Fahrzeug-Anbieter konnte die Mess- und Ladeinfrastruktur errichtet, der Strom und die Fahrzeuge zur Verfügung gestellt, sowie die entsprechenden Messungen samt Datenauswertung bewerkstelligt werden. Das Pilotprojekt wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds unterstützt.

Es wurde eine gemeinschaftliche Ladeinfrastruktur mit 12 Ladepunkten inklusive Lastmanagementsystem errichtet und in einem 6-wöchigen Realbetrieb im Frühjahr 2019 getestet. Insgesamt 12 Haushalte der Wohnhausanlage erhielten e-Pkws unterschiedlicher Marken, die an den hausinternen Ladestationen geladen werden konnten.

Mit dem Pilotprojekt konnte erfolgreich demonstriert werden, dass die technische Implementierung von e-Ladeinfrastruktur in einem bestehenden Wohnhaus ohne Netzausbau oder Anpassung der elektrischen Anschlussleistung problemlos möglich ist. Mehr als die Hälfte der Haushalte stiegen während des Pilotzeitraums auf e-Fahrzeuge um, die überwiegend zuhause geladen wurden. Die Variante einer gemeinschaftlichen Ladeinfrastruktur mit Langsamladung stellt sich als optimale Lösung für die Ladung von e-Fahrzeugen in bestehenden Wohngebäuden heraus.

Die Versorgung der e-Ladeinfrastruktur erfolgte ohne Verstärkung der Anschlussleistung problemlos über den bestehenden elektrischen Hausanschluss. Es wurden geringe Ladeleistungen an der e-Ladeinfrastruktur nachgewiesen (Lastspitzen kleiner als 30 kW), da nicht immer alle Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden. Trotz der Erhöhung der Lastspitzen durch die Ladung der e-Fahrzeuge wird die vorhandene elektrische Anschlussleistung insgesamt (d.h. zusammen mit den Haushalten) nur zu maximal 50% ausgelastet. Weiters konnte die korrekte Funktion des Lastmanagementsystems bestätigt werden. Darüber hinaus wurde erkannt, dass in Zusammenhang mit einem

Lastmanagementsystem mehrere Optimierungsmöglichkeiten für den Ausgleich von Lastspitzen am elektrischen Hausanschluss vorliegen.

Inhalt

Kurzfassung.....	3
1 Ausgangslage.....	6
2 Untersuchungsdesign.....	8
2.1 Untersuchungsobjekt	8
2.2 Auswahl der e-Fahrzeug-NutzerInnen	10
2.3 Stromversorgung des Untersuchungsobjekts.....	11
2.4 Ladeinfrastruktur	12
2.5 Messkonzept und Datenübertragung.....	16
2.6 e-Fahrzeuge im Test	20
2.7 Ablauf des Pilotprojekts.....	22
3 Ergebnisse des Pilotprojekts.....	23
3.1 Fahrleistungen und Lade-Orte	23
3.2 Fahrzeugauslastung und Potenzial für Carsharing	26
3.3 Ladeverhalten der e-Pkws.....	27
3.3.1 Typische Ladeleistungen unterschiedlicher e-Fahrzeug-Modelle.....	27
3.3.2 Typische Ladekurven unterschiedlicher e-Fahrzeug-Modelle.....	28
3.3.3 Durchschnittsverbräuche der e-Fahrzeuge im Pilotzeitraum	31
3.4 Verhalten der e-Ladestation mit insgesamt 12 Wallboxen.....	32
3.4.1 Gemessene Lastprofile der e-Ladeinfrastruktur	32
3.4.2 Gemessene Energiemengen der e-Ladeinfrastruktur	36
3.4.3 Funktion des Lastmanagements.....	37
3.4.4 Belastung der Phasenleiter am Verteiler der e-Ladeinfrastruktur.....	37
3.4.5 Gleichzeitigkeitsfaktor.....	38
3.5 Auslastung des elektrischen Hausanschlusses	40
3.5.1 Lastspitzen am elektrischen Hausanschluss	40
3.5.2 Gemessene Lastprofile am elektrischen Hausanschluss	42
3.6 Auswirkungen der e-Ladung auf das vorgelagerte Stromnetz.....	45
3.7 Ergebnisse der NutzerInnen-Befragung.....	47
4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	50
5 Abbildungsverzeichnis.....	53
6 Tabellenverzeichnis	54
7 Literaturverzeichnis.....	55

1 Ausgangslage

Im Sinn einer effizienten und effektiven Mobilitätswende müssen sich zukünftig Ladestationen im öffentlichen Raum, Ladeinfrastruktur am Arbeitsplatz und Lademöglichkeiten zu Hause sinnvoll ergänzen. Deshalb wird im Wohnbau die Nachfrage an Ladeinfrastruktur gleichzeitig mit der Steigerung des e-Fahrzeugbestands in relevante Größenordnungen anwachsen. Zudem hat die Heimladung am eigenen Stellplatz neben dem Komfort auch energie-wirtschaftliche Vorteile, da die Ladevorgänge stromnetzschonend in Form von Langsamladungen typischerweise über Nacht möglich sind. Vor diesem Hintergrund wird ersichtlich, dass die Nachrüstung von e-Ladeinfrastruktur in bestehenden Wohnhausanlagen ein entscheidender Faktor für die Marktdurchdringung der Elektromobilität in Städten sein wird.

Gemäß HochlaufszENARIO der AustriaTech werden im Jahr 2030 in Österreich in großvolumigen Bestandswohngebäuden (11 oder mehr Wohnungen) insgesamt rund 349.000 Ladepunkte für e-Fahrzeuge benötigt (vgl. Eberhard T., Steger-Vonmetz C., 2019). In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass zum Zeitpunkt 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.

Neben einer Reihe von Vorschlägen für die Weiterentwicklung des Wohnrechts, die Eingang in die #mission2030 gefunden haben (Hüttler et al. 2017), stellen sich aber zentrale technische Fragen, zu denen auch in Expertenkreisen erhebliche Unsicherheit besteht:

- Reicht die Leistungskapazität des bestehenden elektrischen Hausanschlusses und wenn ja, für wie viele Fahrzeuge im realen Betrieb?
- Können die e-Fahrzeuge mit der verwendeten Ladeinfrastruktur zufriedenstellend geladen werden?
- Wieweit kann Lastmanagement in der Praxis tatsächlich gewährleisten, dass Ladestationen in nennenswertem Ausmaß bei bestehenden Wohnhausanlagen nachgerüstet werden, ohne dass erhebliche Anschlussleistungen nachgekauft werden müssen oder das vorgelagerte Niederspannungsverteilnetz ausgebaut bzw. der anspeisende Transformator getauscht werden muss?

Zu diesen wurde ein bisher in Österreich einzigartiges Pilotprojekt in einer bestehenden Wohnhausanlage der „Wien-Süd“ erfolgreich durchgeführt.

In Zusammenarbeit der Projektpartner e7, Gemeinnützige Bau- u. Wohnungsgenossenschaft „Wien-Süd“, Urban Innovation Vienna, Wien Energie und Wiener Netze, sowie mehrerer e-Fahrzeug-Anbieter konnte die Infrastruktur errichtet, der Strom sowie die Fahrzeuge zur Verfügung gestellt sowie die entsprechenden Messungen samt Datenauswertung bewerkstelligt werden. Das Pilotprojekt wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds unterstützt.

2 Untersuchungsdesign

2.1 Untersuchungsobjekt

Als Untersuchungsobjekt wurde ein Wohnhaus der „Wien-Süd“ mit gesamt 71 Wohneinheiten mit einer Tiefgarage ausgewählt. Die e-Ladeinfrastruktur mit insgesamt 12 Wallboxen wurde in einem zentralen Bereich der Tiefgarage installiert. Die Stromversorgung für die e-Ladeinfrastruktur erfolgte über den bestehenden elektrischen Hausanschluss des Teilobjekts „Stiege 3“ mit insgesamt 22 Wohneinheiten.



Abbildung 1: Untersuchungsobjekt in Wien Liesing (Quelle: e7)

Details zum Untersuchungsobjekt:

- Eigentümer: Gemeinnützige Bau- u. Wohnungsgenossenschaft „Wien-Süd“
- Baujahr: 2010; Standort: 1230 Wien – Liesing
- Tiefgaragen-Stellplätze: insgesamt 75 Stück
- Teilobjekt „Stiege 3“
 - 22 Wohneinheiten, 2 bis 5-Zimmer Wohnungen mit 58,5 bis 116,7 m² Wohnnutzfläche, Wohnnutzfläche gesamt: 2.012 m²
 - BewohnerInnen-Struktur: 2-4 Personen pro Haushalt, rund 95% der BewohnerInnen sind berufstätig
- Energieversorgung:
 - Strom: Elektrischer Hausanschluss für die „Stiege 3“ (Abschnitt 2.3)

- Wärme: Fernwärme für Raumwärme und Warmwasserbereitung (dezentrale Wohnungsstationen)
- Küchenausstattung elektrisch (z.B. Herd)

2.2 Auswahl der e-Fahrzeug-NutzerInnen

Aus einer schriftlichen Umfrage, die an alle MieterInnen des gesamten Untersuchungsobjekts gerichtet wurde, gingen 17 InteressentInnen hervor. Die Auswahl der **12 e-Fahrzeug-NutzerInnen** für das Pilotprojekt erfolgte schlussendlich anhand der Angaben über die durchschnittlichen monatlichen PKW-Fahrleistungen. Die 12 MieterInnen mit den meisten monatlichen Fahrleistungen **verpflichteten sich schriftlich, ihr PKW-Mobilitätsbedürfnis über den Projektzeitraum mit den bereitgestellten e-PKWs zu decken**. Außerdem wurde vereinbart, dass das eigene Auto während der Pilotzeitraums nur in Ausnahmefällen verwendet wird.

Die Altersstruktur der NutzerInnen war vielfältig – Jungfamilien bis PensionistInnen nutzten die Gelegenheit, im Rahmen des Pilotprojekts die Elektromobilität kostenlos und ohne Einschränkungen für 6 Wochen zu „erfahren“.

Bei einer Informationsveranstaltung 10 Tage vor Projektstart erhielten die e-Fahrzeug-NutzerInnen unter Anwesenheit aller Projektpartner umfangreiche Informationen rund um das Thema e-Mobilität und den Projektablauf.



Abbildung 2: e-Fahrzeug-NutzerInnen (Quelle: Klima- und Energiefonds / APA-Fotoservice / Juhasz)

2.3 Stromversorgung des Untersuchungsobjekts

Das Untersuchungsobjekt wird über eine Niederspannungsverteilleitung und einem Schleifenkasten versorgt. Die anspeisende Netzstation samt Transformator befindet sich im Nachbargebäude. Der Hauptsicherungskasten des Objekts verfügt über insgesamt 3 Abgänge für die Hausanschlussleitungen der Stiegen 1 bis 3.

Das Teilobjekt **Stiege 3** ist für das Pilotprojekt von besonderer Bedeutung, da von diesem Objekt die **Versorgung der e-Ladeinfrastruktur** erfolgte. Die Kabeldimension der Hausanschlussleitung für die Stiege 3 beträgt $5 \times 70 \text{ mm}^2$, die Nennleistung des elektrischen Hausanschlusses wird mit 110 kW ausgewiesen. Die Netzbereitstellung wird mit 92 kW ausgewiesen (Versorgungseinheiten: 22 Wohneinheiten je 4 kW Netzbereitstellung und 1 Versorgungseinheit für den Allgemeinbereich mit 4 kW Netzbereitstellung).

Innerhalb des Teilobjekts Stiege 3 erfolgt die Versorgung der Wohnungen und des Allgemeinbereichs über 3 Substränge. Die insgesamt 23 Stromzähler (22 Wohnungs-Zähler, 1 Allgemein-Zähler) befinden sich über die Stockwerke verteilt in den jeweiligen Zählerschränken.

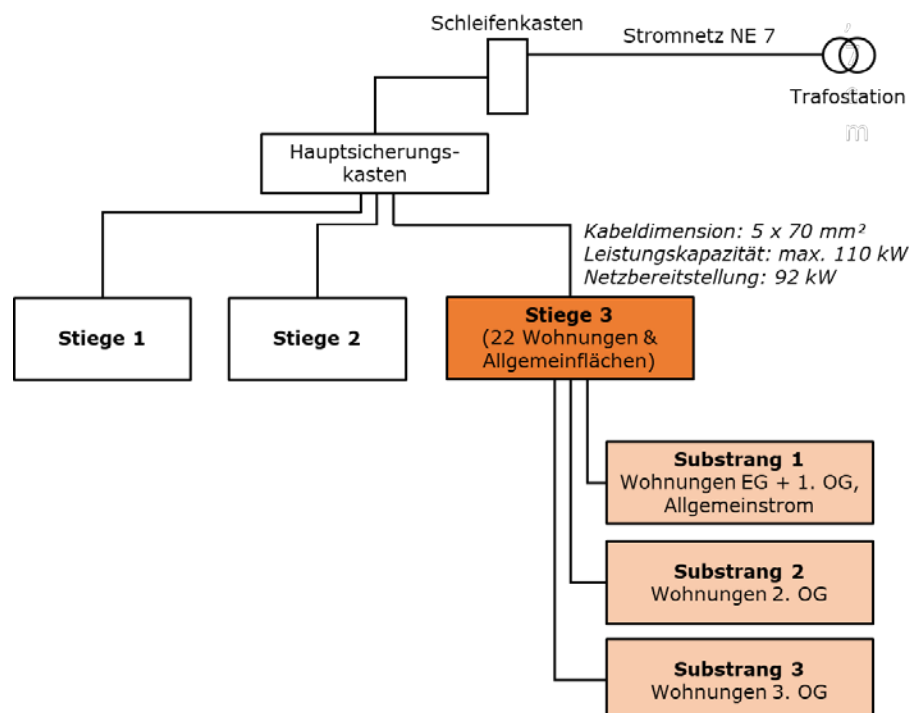


Abbildung 3: Stromversorgung des Untersuchungsobjekts ohne e-Ladeinfrastruktur (Quelle: e7)

Im Rahmen des Pilotprojekts wurde die vorhandene Kapazität des bestehenden elektrischen Hausanschlusses nicht erweitert.

Die vorhandene Leistungskapazität von 110 kW wurde für die Versorgung der

- **e-Ladeinfrastruktur mit 12 Ladepunkten (inkl. Lastmanagement-Funktion)** sowie der
- **22 Wohnungen inkl. Allgemeinbereich** genutzt.

2.4 Ladeinfrastruktur

Die Versuchsanordnung der Ladeinfrastruktur im Pilotprojekt wurde für Abstellanlagen mit fixer Stellplatz-Zuordnung in Form einer gemeinschaftlichen Ladeinfrastruktur mit Lastmanagement-Funktion durch Wien Energie konzipiert und errichtet (Variante C, vgl. Hüttler et al., 2017).

Der Energieversorger übernahm für die Dauer der Testphase auch die Rolle des Ladestellenbetreibers (insb. Wartung, Service, Adaptionen in der Testanordnung). Die Ladeinfrastruktur wurde für die Projektlaufzeit nur vorübergehend in der Tiefgarage des Untersuchungsobjekts angebracht und nach Ende des Feldtests rückgebaut.

Gemeinschaftliche Ladeinfrastruktur mit Lastmanagement

Bei der Ladeinfrastruktur fiel die Wahl auf eine Stromversorgung mittels Wallbox (1:1 Beziehung Auto:Ladepunkt). Pro Stellplatz wurde so eine Ladestation angebracht (insgesamt 12 Stück), die Stromversorgung, elektrotechnische Sicherung und Steuerung erfolgte von einem zentralen Verteilerschrank in der Garage aus, in der auch die Ethernet-Kabel terminierten. Letztere ermöglichen die **Kommunikation der Wallboxen untereinander nach dem Master-Slave-Prinzip** (vgl. Abbildung 4). Hierbei übernimmt eine Wallbox die Rolle der Steuerungseinheit (=Master), um die Ladungen zwischen den übrigen Wallboxen (=Slaves) nach vorgegebenen Parametern zu balancieren.

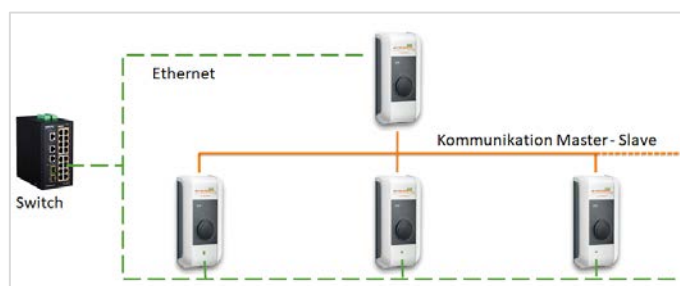


Abbildung 4: Kommunikationssystem der Ladeinfrastruktur (Quelle: Wien Energie GmbH)

Zusätzlich zur Errichtung eines Verteilerschranks in der Tiefgarage wurden Absicherungen nach elektrotechnischen Normen TAEV für Ladestationen verbaut, sowie zusätzliche Modbus-Messeinrichtungen installiert. Zum Einsatz kamen **12 Wallboxen** mit einer technisch möglichen Leistungsabgabe von max. 22 kW (AC = Wechselstrom) mit einem Typ-2-Ladekabel. Es wurde eine **maximale Anschlussleistung von insgesamt 38 kW für die gesamte e-Ladeinfrastruktur** eingeplant. Durch ein intelligentes Lastmanagement und unter Berücksichtigung von Gleichzeitigkeitsfaktoren sollte die Versorgung der Elektrofahrzeuge gewährleistet sein. Die Wallboxen waren auf eine maximale Leistungsabgabe von jeweils 11 kW eingestellt. Zum Zeitpunkt der Aufnahme von 2 Stück Renault ZOE in den Fahrzeug-Pool (ab Versuchswoche 4) wurde an 2 Wallboxen die maximale Ladeleistung von 22 kW freigegeben.

Funktionen des Lastmanagements

Neben der Untersuchung der maximal notwendigen Anschlussleistung, wurde das Lastmanagementsystem der e-Ladeinfrastruktur getestet. Hierbei muss zwischen Lastmanagement und Ladestrategie unterschieden werden. Integriert in die Ladeinfrastruktur ermöglicht ein **intelligentes Lastmanagement** vor allem zu Spitzenzeiten die optimale Netzauslastung unter Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten. Zu Zeiten, in denen viele Fahrzeuge gleichzeitig laden, gewährt das Lastmanagement somit Betriebssicherheit. Solange ausreichend Kapazität für alle angeschlossenen Fahrzeuge zur Verfügung steht, können diese mit voller Leistung geladen werden. Überschreitet die Summe der Ströme aller genutzten Ladepunkte die Vorgabe eines maximalen Stromwerts, greift das Lastmanagement ein: Die Ladeströme für die genutzten Ladepunkte werden reduziert. Außerdem ist auf diese Art sichergestellt, dass an jedem Ladepunkt der Wert eines einstellbaren Mindeststroms nicht unterschritten wird. Auf diese Art gewährleistet das Lastmanagement hohe Verfügbarkeit und Betriebssicherheit. Kostspielige Leistungsspitzen in der Stromversorgung lassen sich so vermeiden.

Die **Ladestrategie** gibt Auskunft darüber, mit welcher Methode eine Leistungsreduktion erreicht werden soll. Beim betrachteten Forschungsobjekt kam die **Load-Balancing-Strategie**, auch Gleichverteilungsmodus genannt, zum Einsatz. Wenn die parallel aktiven Ladestationen in einem lokalen Ladenetzwerk mehr Strom anfordern, als der Stromanschluss zur Verfügung stellt (eingestellter Maximalstrom), wird der verfügbare Ladestrom gleichmäßig auf alle Ladesitzungen aufgeteilt.

$$\text{Ladestrom je Ladestation} = \frac{\text{eingestellter Maximalstrom pro Phase}}{\text{Anzahl der aktiven Ladesitzungen auf dieser Phase}}$$

Wenn für einen zusätzlichen Ladevorgang im Ladenetzwerk nicht mehr ausreichend Strom für eine Gleichverteilung zur Verfügung steht (eingestellter Mindeststrom wird unterschritten), wird der neue Ladevorgang in eine Warteschlange aufgenommen. Alle 15 Minuten wird der Reihe nach eine aktive Ladesitzung pausiert, hinten in der Warteschlange eingereiht und die nächste Ladesitzung in der Warteschlange fortgesetzt.

Die folgende Abbildung 5 zeigt die Funktionsweise des Lastmanagements. Die Blöcke sollen Ladevorgänge unterschiedlicher e-Fahrzeuge darstellen, welche anschließend durch das Lastmanagement reduziert werden. Die rechts befindliche Legende zeigt die mögliche Ladeleistung des jeweiligen e-Fahrzeugs.

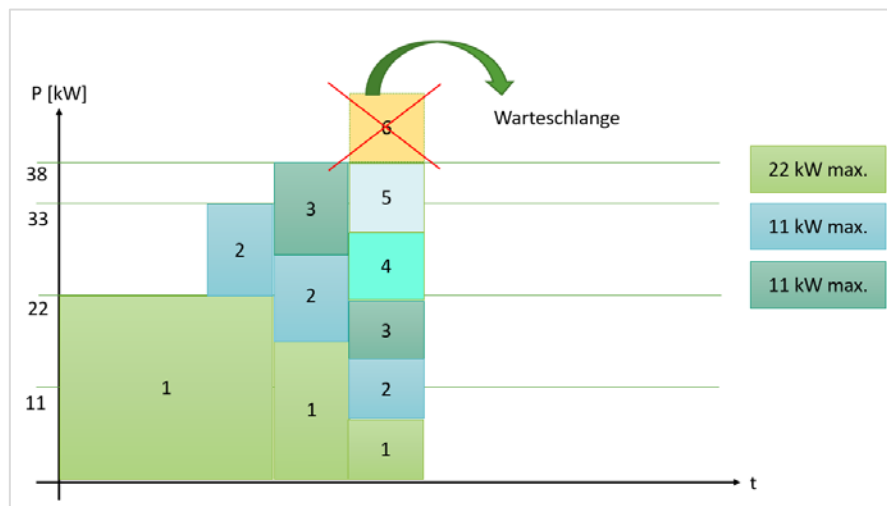


Abbildung 5: Lastmanagementverhalten - Load-Shifting und Load-Balancing (Quelle: Wien Energie GmbH)

Um das Lastmanagement ausführlich zu testen, wurde ein Worst-Case-Szenario erprobt, in dem ein Phasenleiter des Anschlusses für die e-Ladeinfrastruktur häufiger belastet wurde.

Laut TAEV sollte einphasiges Laden mit maximal 16 Ampere beschränkt sein, um Netzurückwirkungen zu vermeiden.

Durch die Betreibung der Ladungen mithilfe eines Lastmanagements konnten durch die gebotene Betriebssicherheit mehrere Einstellungen getestet werden.

Im Pilotprojekt wurden unter anderem wie in Deutschland maximal 20 A für 1-phasige Fahrzeuge konfiguriert, um entsprechend den Handlungsempfehlungen des bmvit (vgl. Arbeitsgruppe „E-Mobilität und Auswirkungen auf Gebäudestandards- und Ausrüstung“ siehe Hüttler et al.) für Heimladungen auf eine langsame Ladeleistung von etwa 4,2 kW zu gelangen.

TANKE-Ladekarte und Hotline der Wien Energie

Für die laufende Projektdauer wurde für die e-Fahrzeug-NutzerInnen eine Hotline eingerichtet, um bei auftretenden Fragen eine schnelle Kommunikation zu garantieren. Die NutzerInnen erhielten zu Beginn der Testphase eine Wien Energie TANKE-Ladekarte¹, um ihr e-Fahrzeug auch im öffentlichen Raum laden zu können. Die NutzerInnen hatten somit Zugang zum österreichweiten BEÖ-Ladestellennetzwerk, wo ihnen über 1.000 e-Ladepunkte in Wien und Umgebung zur Verfügung standen. Für den Pilotzeitraum entstanden für die NutzerInnen sowohl für die Benutzung der privaten, als auch der öffentlichen Ladeinfrastruktur keine Kosten.

Die TANKE-Ladekarte fungierte außerdem als „Schlüssel“, um mittels Authentifizierung an der zugeordneten „eigenen“ Wallbox im Wohnhaus einen Ladevorgang starten zu können. Diese Funktion wurde durch Wien Energie erfolgreich für eine Woche getestet und die restlichen 5 Wochen deaktiviert, um ein barrierefreies Laden zu ermöglichen und den Ladevorgang so angenehm wie möglich zu gestalten.

¹ Weblink betreffend weiteren Infos zu Wien Energie TANKE-Ladekarte: <https://www.tanke-wienenergie.at/>

2.5 Messkonzept und Datenübertragung

Die Datenerfassung zu energietechnischen Parametern im Untersuchungsobjekt sowie der Fahrleistungen bzw. Ladevorgängen der Pkws erfolgte über folgende Methoden:

1. Energietechnische Messinfrastruktur im Untersuchungsobjekt

Zweck: Erfassung energietechnischer Daten von den Haushalten und der e-Ladeinfrastruktur

Messpunkte: Insgesamt 17 Messpunkte (siehe Abbildung 6)

Erfasste Messparameter je Messpunkt:

- Spannung L1, L2, L3 in [V]
- Strom L1, L2, L3 in [A]
- Schein-, Wirk-, und Blindleistung
- Wirkleistungsfaktor $\cos(\phi)$
- Schein-, Wirk-, und Blindenergie (verbrauchte Energiemenge)
- Messpunkte bei den Wallboxen: Ladedauer

Messintervall: Das Monitoringsystem erfasste Maximal-, Minimal und Mittelwerte je Minute, wobei die Abtastrate der Messgrößen 1 Sekunde beträgt.

2. Energietechnische Messinfrastruktur im Stromnetz

Durchführung: Wiener Netze GmbH

Zweck: Erfassung und Beurteilung von Auswirkungen auf das vorgelagerte Stromnetz

Messpunkte: 2 Messpunkte; Ein Messpunkt wurde an der Sekundärseite des Netztrafos in der Netzstation Dirmhirngasse 84 eingerichtet. Der zweite Messpunkt wurde im Schleifenkasten beim Untersuchungsobjekt Dirmhirngasse 88 platziert.

Erfasste Messparameter je Messpunkt:

- Versorgungsspannung
- Strom-Belastung

Messintervall: Die Mittelungszeit der Messwerte beträgt 10 Millisekunden für den Maximalwert des Stroms sowie der Spannung und 200 Millisekunden für alle anderen Messgrößen.

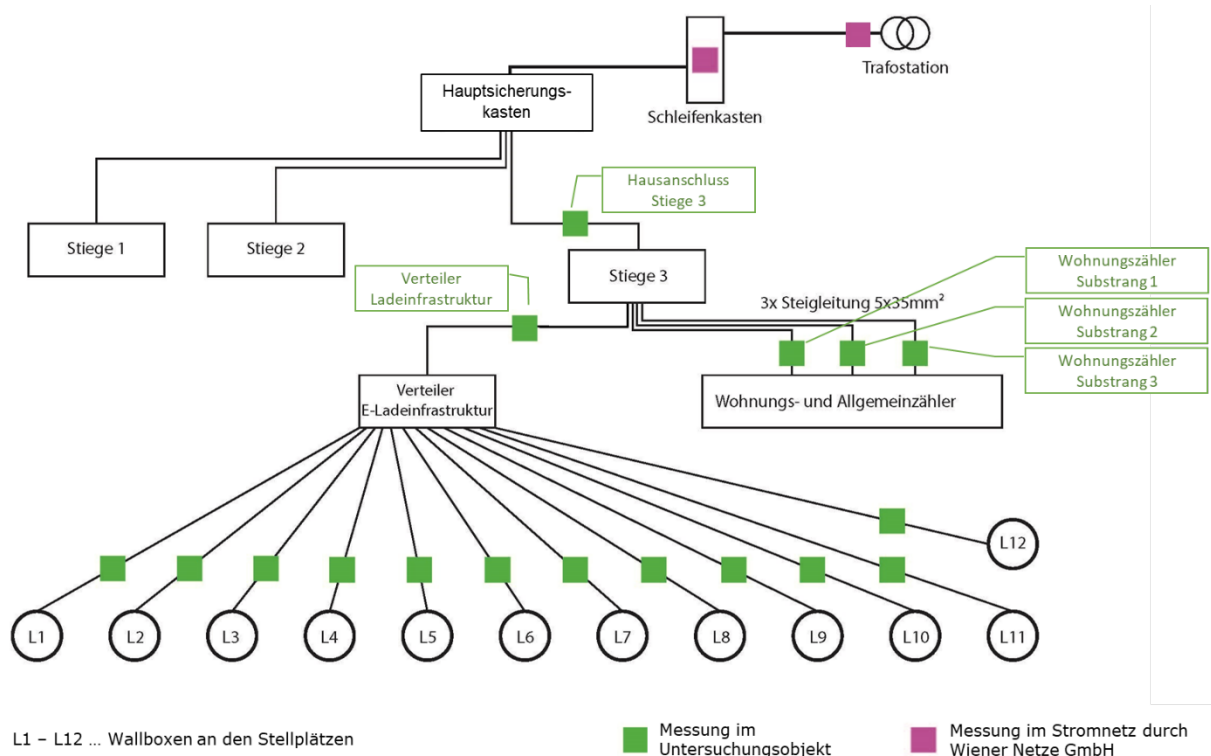


Abbildung 6: Messpunkte im Untersuchungsobjekt und im Stromnetz (Quelle: e7)

3. Datenübertragung

Die hausinternen Messpunkte (siehe grüne Quadrate in Abbildung 6) wurden durch den Monitoring-Dienstleister LineMetrics GmbH ausgestattet und betrieben.

Die Übertragung der Monitoringdaten auf die LineMetrics-Online-Cloud erfolgte in Echtzeit per innovativer Mobilfunk-Technologie. Darüber hinaus bot die Cloud-Lösung umfangreiche Visualisierung- und Auswertemöglichkeiten, welche für die Überwachung der Ladevorgänge und der Versorgungsstruktur während des Pilotzeitraums sehr vorteilhaft waren.

4. Ladevorgänge an öffentlichen Ladestellen

Die Energiemengen, Zeitpunkte und Ort der Ladungen an öffentlichen Ladestellen wurden per Wien Energie TANKE-Ladekarten-System erfasst.



Abbildung 7: Wien Energie TANKE-Ladekarte (Quelle: Wien Energie GmbH)

5. Dokumentation durch e-Fahrzeug-NutzerInnen

Die e-Fahrzeug-NutzerInnen dokumentierten Ihre Ladevorgänge und Fahrleistungen in den persönlichen **Fahrtenbüchern**, welche zu Beginn des Pilotprojekts ausgehändigt wurden.

powered by 

Fahrtenbuch Pilotprojekt e-Mobilität 2030

Abfahrt von Ladestation			Ankunft bei Ladestation			Ladestation		Bemerkungen und an welchem Ort haben Sie Ihren E-Pkw extern geladen, bitte hier eintragen.
Datum und Uhrzeit [tt.mm.] / [hh:mm]	Kilometer- stand [km]	Akku- stand [%]	Datum und Uhrzeit [tt.mm.] / [hh:mm]	Kilometer- stand [km]	Akku- stand [%]	Haus	Extern	
22.03.19 ⁰³	48125	100	22.03.11 ³⁸	48236	89		✓	LAUBENBACHMÜHLE FRANKFURT
22.03.11 ⁴¹	48236	40	23.03.11 ³⁸	48251	33		✓	—
23.03.14 ³³	48251	100	24.03.18 ¹²	48365	47,5	✓		
25.03.8 ³⁰	48365	100	25.03.17 ³⁵	48403	84,5	✓		
26.03.8 ⁴⁷	48403	100	28.03.14 ¹⁷	48484	51,5	✓		
29.03.9 ³⁵	48484	100	30.3.15 ³⁰	48603	88,5		✓	FRANKFURT Gehradweg - GRATIS
30.3.18 ⁰⁵	48603	100	31.3.19 ¹³	48710	47,5	✓		
1.4.9 ⁵¹	48710	100	2.4.11 ²⁰	48792	70,5			
3.4.06 ³⁰	48792	70,5	4.4.18 ⁰⁴	48884	63	✓		
5.4.9 ⁰⁰	48884	100	5.4.12 ³²	48906	93	✓		

Abbildung 8: Ausschnitt einer Fahrtenbuch-Aufzeichnung (Quelle: e7)

Die Fahrtenbücher stellen eine bedeutende Grundlage für eine Reihe von Auswertungen dar. Dazu zählen u.a.

- die Berechnung der Fahrleistungen,
- die Ermittlung der Anzahl von Vollladungen,
- die Erhebung von Informationen über externe Ladungen sowie
- die Berechnung der durchschnittlichen e-Pkw-Verbräuche.

6. Datenschutz

Vor Start des Pilotzeitraums wurde mit allen e-Fahrzeug-NutzerInnen schriftlich vereinbart, dass die aufgezeichneten Zähler- und Monitoringdaten aus der Fahrzeugnutzung, die Informationen aus dem NutzerInnen-Fragebogen sowie die Informationen aus den Fahrtenbüchern für die Auswertung im Projekt zur Verfügung stehen.

Alle Auswertungen von personenbezogenen Daten sowie die Darstellung auf der Online-Cloud erfolgten anonymisiert, sodass keine Rückschlüsse auf das Nutzerverhalten einzelner Personen möglich sind.

2.6 e-Fahrzeuge im Test

Nachfolgende Tabelle zeigt die Fahrzeuge des Pilotprojekts. Bei der Auswahl der e-Fahrzeuge wurde sowohl auf die Verfügbarkeit der Fahrzeuge als auch auf eine ausgewogene Modell-Vielfalt geachtet, um dementsprechend auch unterschiedliches Ladeverhalten der Fahrzeuge im Projekt abbilden zu können.

Tabelle 1: e-Fahrzeuge im Pilotprojekt

Modell	Anzahl	Herstellerangaben zu AC-Lademodus		
		Nutzung Phasenleiter [Anzahl]	max. Strom [A]	AC- Nennladeleistung [kW]
BMW i3	3	3-phasig	16A	11,0
Hyundai Kona	1	1-phasig	32A	7,4
Hyundai Ioniq	2	1-phasig	32A	7,4
Kia Soul	1	1-phasig	32A	7,4
Nissan Leaf	1	1-phasig	16A	3,7
Renault Zoe	2	3-phasig	32A	22,0
VW e-Golf	4	2-phasig	16A	7,4

Zur Halbzeit des Pilotzeitraums (5. April 2019) wurde ein Wechsel von Fahrzeugen durchgeführt. Es wurden 2 Stück VW e-Golf durch 2 Stück Renault Zoe ersetzt. Somit waren ab diesem Zeitpunkt 2 e-Fahrzeuge mit einer AC-Nennladeleistung von 22 kW im Einsatz.

Sämtliche Fahrzeuge waren durchgehend mit Winterreifen ausgestattet.

Die Fahrzeuge wurden zur Verfügung gestellt von:



Abbildung 9: e-Fahrzeuge bei der Übergabe an die NutzerInnen (Quelle: e7)

2.7 Ablauf des Pilotprojekts

Der Ablauf des Pilotprojekts lässt sich anhand nachfolgender Zeitskala darstellen.

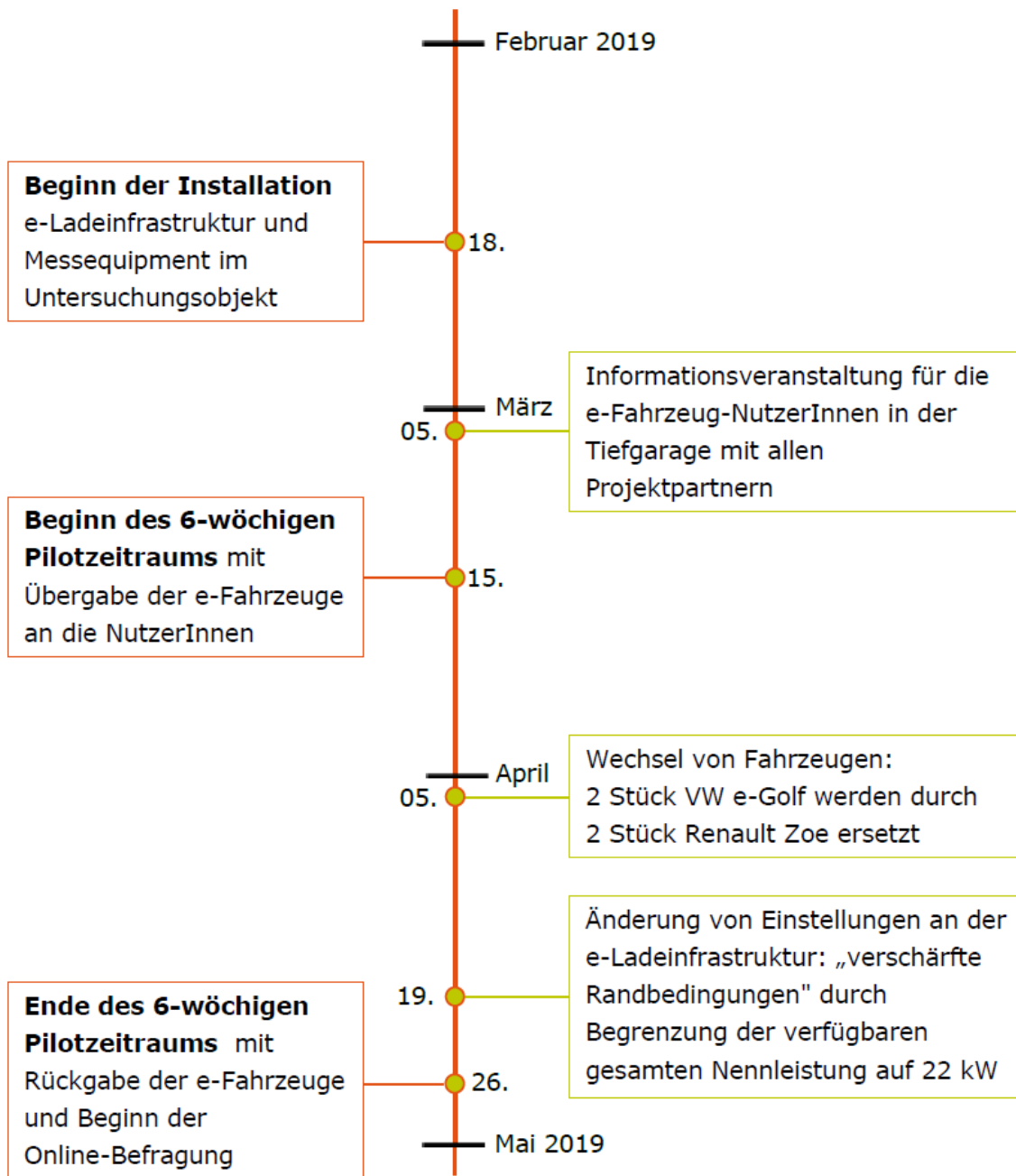


Abbildung 10: Ablauf des Pilotprojekts (Quelle: e7)

3 Ergebnisse des Pilotprojekts

3.1 Fahrleistungen und Lade-Orte

Die e-Fahrzeug-NutzerInnen nutzten die zur Verfügung gestellten Fahrzeuge, um ihre täglichen motorisierten Mobilitätsbedürfnis zu decken. Neben Fahrten im Rahmen alltäglichen Erledigungen oder Arbeitswege wurden auch Ausflugs- und Urlaubsfahrten getätigt.

In Abbildung 11 sind die Fahrleistungen während des 6-wöchigen Pilotzeitraums je NutzerIn ersichtlich. Die Fahrleistungen reichen von 660 bis 3.405 km. Diese Streuung zeigt ein realistisches Bild der unterschiedlich intensiven Nutzung von Fahrzeugen. Der Mittelwert aller Fahrleistungen im Projektzeitraum beträgt 1.756 km, was hochgerechnet einer durchschnittlichen Jahres-Fahrleistung von rund 15.000 km entspricht. Dieser Wert liegt etwa 20% über der durchschnittlichen Jahres-Fahrleistung mit privatem Pkw für Österreich (vgl. VCÖ 2019 auf Basis Statistik Austria).

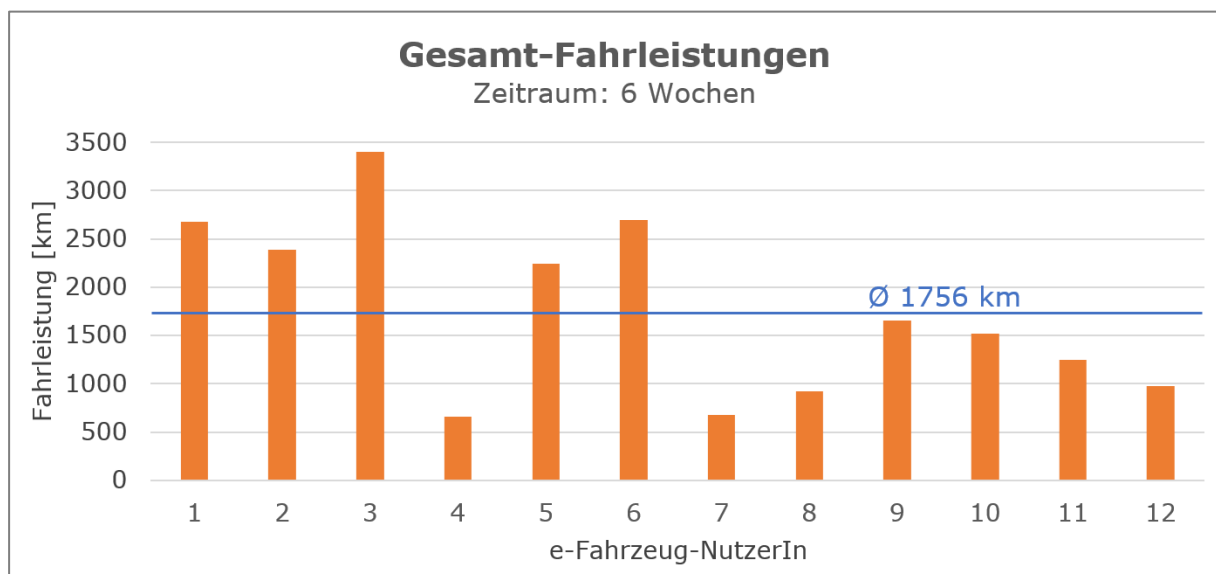


Abbildung 11: Gesamt-Fahrleistungen je e-Fahrzeug-NutzerIn im Pilotzeitraum (Quelle: e7)

Mit der Wien Energie TANKE-Ladekarte hatten die NutzerInnen auch die Möglichkeit kostenfrei Ladungen an öffentlichen BEÖ-Ladestationen durchzuführen. In Abbildung 12 ist die prozentuelle Aufteilung der bezogenen Energiemengen an der hausinternen e-Ladeinfrastruktur, den öffentlichen BEÖ-Ladestationen und sonstigen Ladestellen ersichtlich.

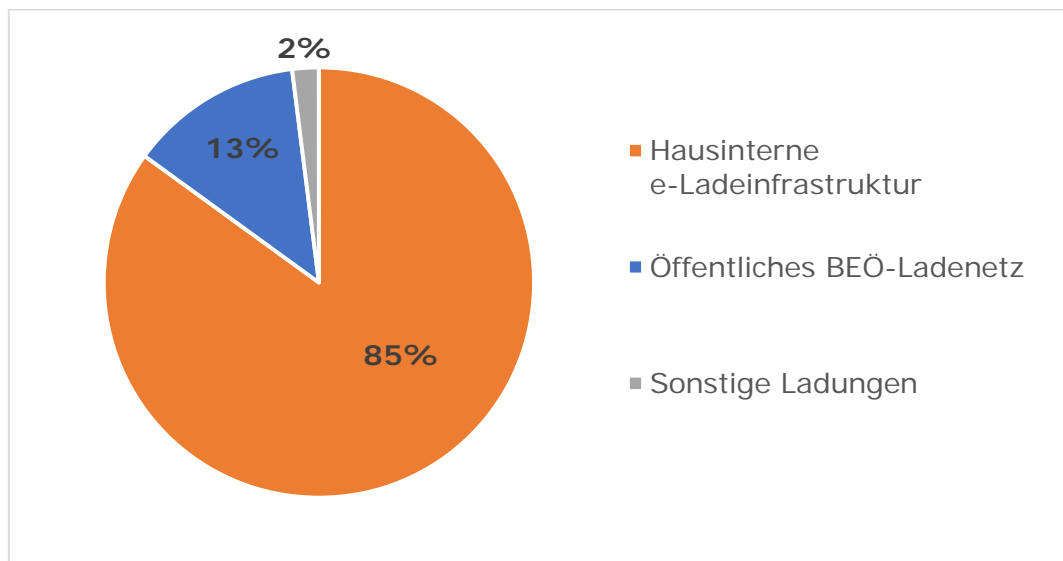


Abbildung 12: Geladene Energiemengen an der hausinternen e-Ladeinfrastruktur (Tiefgarage), an öffentlichen BEÖ-Ladestationen und sonstige Ladungen (Quelle: e7 und Wien Energie GmbH)

Bei der Analyse des Ladeverhaltens aller NutzerInnen zeigte sich, dass die sogenannte **Heimladung mit einem Anteil von rund 85% weitaus überwog**. Lediglich 13% der Energiemenge für die Ladung der e-Pkws wurde an öffentlichen Ladestationen bezogen, der Rest über Ladestationen außerhalb des BEÖ-Netzes sowie private Ladungen (z.B. Wochenendhaus, gratis Ladestellen von Gemeinden).

Die Gesamtfahrleistungen aller Nutzer sind in Abbildung 13 je Versuchswoche (Samstag – Freitag) dargestellt. Der Wochendurchschnitt beträgt 3.480 km und ist als Linie im Diagramm eingezeichnet. Die höchsten Fahrleistungen treten in Woche 4 auf, einer normalen Arbeitswoche. In der darauffolgenden Woche 5, welche das Palmsonntags-Wochenende und die Karwoche umfasste, wurde besonders wenig gefahren.

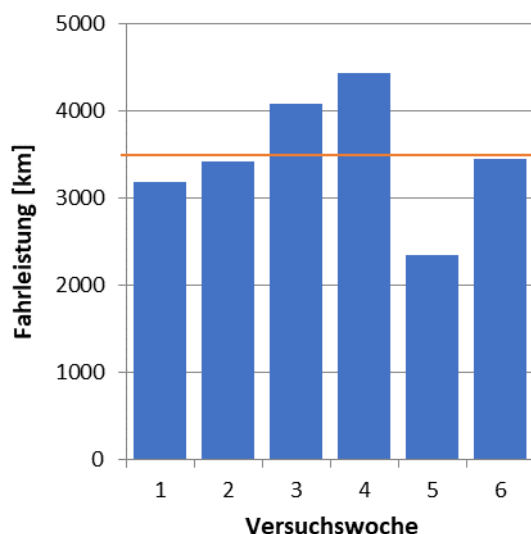


Abbildung 13: Gesamtfahrleistung aller NutzerInnen je Versuchswoche im Pilotzeitraum (Quelle: e7)

Tabelle 2 veranschaulicht, wie viele Vollladungen während des Pilotversuchs von den Nutzern abgerufen wurden (hausinterne und externe Ladungen). Als Vollladung wird hier ein Ladevorgang bezeichnet, bei dem mindestens 70% der Akkukapazität des Fahrzeugs aufgeladen wurden.

Tabelle 2: Anzahl und Anteil von Vollladungen (Quelle: e7)

Summe Ladevorgänge	341
Anzahl Vollladungen	23
Anteil Vollladungen an Gesamtladungen [%]	7

Es zeigt sich, dass nur bei 7% der Ladevorgänge Vollladungen abgerufen wurden. Bei allen anderen Ladevorgängen wurden, aufgrund von hohen Akku-Ständen zum Zeitpunkt des Ansteckens an die eigene Wallbox, geringere Energiemengen bezogen.

Der Grund dafür ist, dass die typischen regelmäßigen Fahrwege im Bereich von bis zu 50 km pro Ausfahrt liegen.

3.2 Fahrzeugauslastung und Potenzial für Carsharing

Zur Berechnung des Auslastungsgrads der e-Fahrzeuge wurde anhand der Fahrtenbücher für jedes Fahrzeug in 10-Minuten-Intervallen ermittelt, ob es sich in der hauseigenen Garage befand oder nicht. Für die Gesamtheit der 12 e-Fahrzeuge ergibt sich während des Pilotzeitraums ein Auslastungsgrad von 51%. Bei „WenigfahrerInnen“, also jenen vier NutzerInnen mit der niedrigsten Gesamtfahrleistung, beträgt dieser Wert 39% und bei „VielfahrerInnen“, jenen vier NutzerInnen mit der höchsten Gesamtfahrleistung, 53%. Diese hohen Auslastungswerte ergeben sich u.a. dadurch, dass viele NutzerInnen über mehrere Tage mit dem e-Pkw unterwegs waren und die Fahrzeuge daher nachts nicht an den hausinternen Ladestationen abgestellt wurden.

Betrachtet man wiederum alle 12 NutzerInnen, standen im Mittel unter Tags jeweils 3 Fahrzeuge in der Garage und in der Nacht typischerweise 8 Fahrzeuge. Bei den vier „WenigfahrerInnen“ waren dies im Mittel 1,5 (Tag) und 3 (Nacht), bei den vier „VielfahrerInnen“ 0,5 (Tag) und 3 (Nacht).

Die Zahlen zur Fahrzeugauslastung zeigen, dass während des Pilotzeitraums ein hoher Nutzungsgrad vorlag.

Anhand des dokumentierten Fahrverhaltens wird auch ein Potenzial für Carsharing innerhalb dieses NutzerInnenkreises erkannt.

3.3 Ladeverhalten der e-Pkws

3.3.1 Typische Ladeleistungen unterschiedlicher e-Fahrzeug-Modelle

Ein maßgeblicher Parameter zur Charakterisierung des Ladeverhaltens von e-Fahrzeugen ist die Ladeleistung. Je größer die Ladeleistung ist, umso kürzer ist die Ladedauer bei gleicher Energiemenge. Die reale Ladeleistung kann jedoch aufgrund unterschiedlicher Einflüsse gegenüber der Nennladeleistung gemäß Herstellerangabe erheblich abweichen. In Tabelle 3 erfolgt eine Gegenüberstellung der Nennladeleistung zur tatsächlichen Ladeleistung für jedes getestete Fahrzeugmodell bei AC-Ladung.

Tabelle 3: Nennladeleistungen, mögliche Wallbox-Ladeleistung und gemessene Ladeleistungen der getesteten Elektrofahrzeuge (Quelle: e7)

Modell	Lademodus AC [Phase, A]	Ladeleistung [kW]			
		Nenn- leistung	möglich an Wallbox	Charakte- ristisch	maximal
BMW i3	3-phasig, 16 A	11,0	11,0	10,5	10,6
Hyundai Kona	1-phasig, 32 A	7,4	4,6	4,5	4,6
Hyundai Ioniq	1-phasig, 32 A	7,4	4,6	4,4	4,5
Kia Soul	1-phasig, 32 A	7,4	4,6	3,6	4,3
Nissan Leaf	1-phasig, 16 A	3,7	3,7	3,6	3,6
Renault Zoe	3-phasig, 32 A	22,0	22,0	k.A. ²	20,6
VW e-Golf	2-phasig, 16 A	7,4	7,4	7,1	7,2

Ergänzende Beschreibung zu den Leistungsangaben in Tabelle 3:

- Nennleistung: Maximale Ladeleistung des Fahrzeugs laut Herstellerangabe
- Ladeleistung möglich an der Wallbox: Unterscheidet sich von der Nennladeleistung nur bei Fahrzeugen mit dem Lademodus 1-phasig 32 A. Um Schiefasten zu vermeiden, darf in Österreich einphasig nur mit 16 A geladen werden (Vorgabe zur Vermeidung von Schiefasten im Stromnetz, vgl. Österreichs Energie). Für das Pilotprojekt (gemeinschaftliche Ladeinfrastruktur) wurde ein höherer Maximalstrom von 20 A bei der

² trifft bei Renault Zoe aufgrund der typischen Ladekurve nicht zu

Ladung von Fahrzeugen mit einphasigem AC-Lademodus angewendet (siehe Abschnitt 2.4 Ladeinfrastruktur).

- Charakteristische Ladeleistung: Typische, gemessene Ladeleistung, die während eines Ladevorgangs über längere Zeit konstant gehalten wird. Die Ermittlung erfolgte auf Basis der Monitoringdaten im Pilotprojekt.
- Maximale Ladeleistung: Maximale während des Pilotversuchs gemessene Ladeleistung (ermittelt aus Monitoringdaten des Pilotprojekts).

3.3.2 Typische Ladekurven unterschiedlicher e-Fahrzeug-Modelle

Abbildung 14 zeigt einen Vergleich verschiedener gemessener Ladekurven der getesteten e-Fahrzeuge. Wie oberhalb beschrieben, unterscheiden sich die Ladeleistungen aufgrund der 1-, 2- sowie 3-phasigen Lademodi wesentlich. Es wird darauf hingewiesen, dass die Grafik nicht zum Vergleich von Ladedauern dient, da unterschiedliche SOC-Werte (State-Of-Charge, Ladezustand der Batterie) zu Beginn jeder Ladung vorlagen und die Fahrzeuge unterschiedliche Akkukapazitäten aufweisen.

Wie bereits in Tabelle 3 dargestellt, ist die charakteristische Ladeleistung geringfügig kleiner als die theoretisch mögliche Ladeleistung an der Wallbox, welches mit Verlusten bei der Zuleitung begründet werden kann.

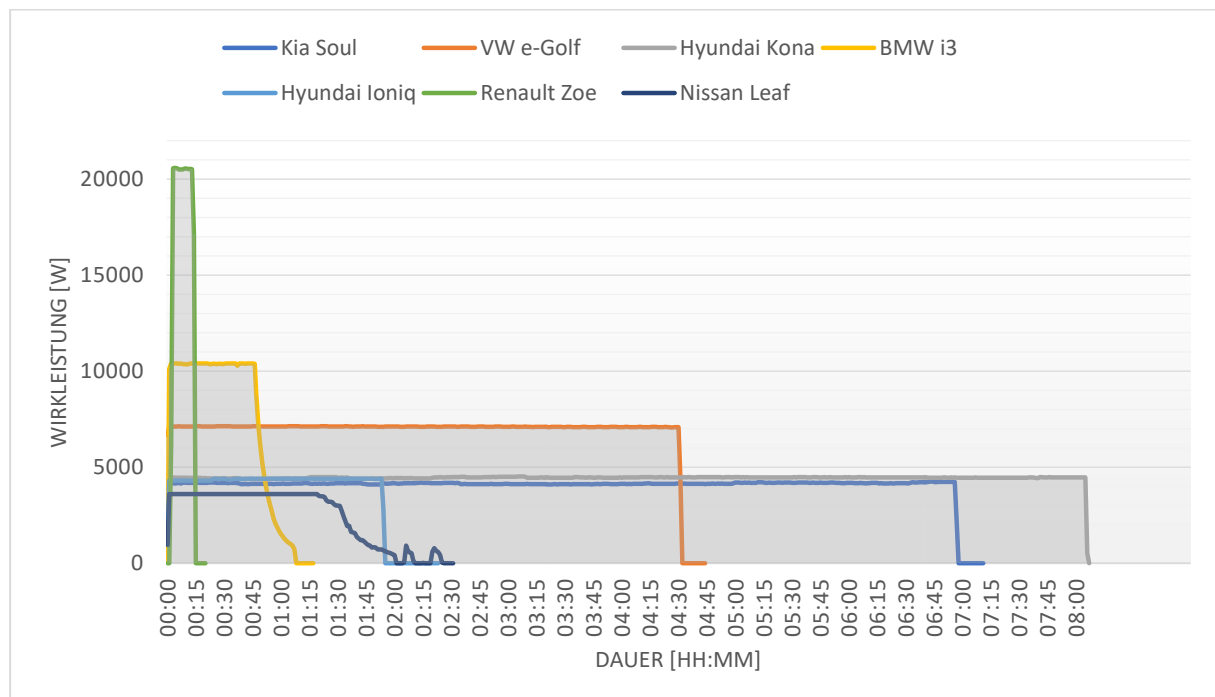


Abbildung 14: Darstellung der 1-, 2- sowie 3-phasigen Ladungen unterschiedlicher e-Fahrzeug-Modelle
(Quelle: Wien Energie GmbH)

In Hinblick auf die Leistungsabnahme gegen Ende einer Ladung, zeigen sowohl der BMW i3, als auch der Nissan Leaf das charakteristisch abflachende Ladeverhalten ab einem SOC-Wert von ca. 80%. Beim Nissan Leaf wird auch ein Cell-Balancing-Verfahren gegen Ende der Ladung deutlich sichtbar, bei dem 2-3 Nachladungen zu verzeichnen sind. Aufgrund eines geringen SOC-Werts zu Ladebeginn sowie der großen Batteriekapazität des Hyundai Kona weist dieses Fahrzeug eine besonders lange Ladekurve auf. Der Renault Zoe hat hingegen bei der gezeigten Ladekurve einen hohen SOC-Wert zu Ladebeginn, was zu einer vergleichsweise kurzen Ladedauer führt.

Bei der Wirkleistungsfaktor-Analyse der Ladevorgänge der verschiedenen e-Fahrzeug-Modelle stellte sich im Vergleich zu allen anderen e-Fahrzeugen beim Renault Zoe ein abweichendes Verhalten heraus. Abbildung 15 zeigt den Wirkleistungsfaktor $\cos(\phi)$ unter Einwirkung des Lastmanagements (11 kW Ladeleistung) bei einem Renault Zoe.

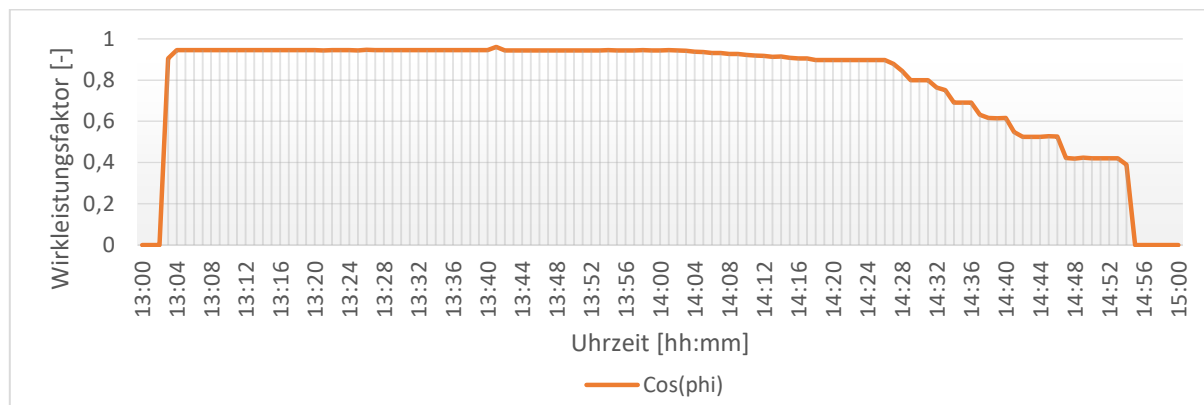


Abbildung 15: Wirkleistungsfaktor $\cos(\phi)$ bei einer Ladung des Renault Zoe. Lastmanagementsingriff mit resultierender Reduzierung auf 11 kW Ladeleistung (Quelle: Wien Energie GmbH)

Bei einer Ladung von 11 kW erreicht der Wirkleistungsfaktor nie den Wert 1, was auf Ladeverluste hindeutet. Die Ladung bei 22 kW ist hingegen effizienter – hier wird ein Wirkleistungsfaktor mit dem Wert 1 erreicht. Aber auch hier sorgt der Abfall der Ladeleistung gegen Ende der Ladung erneut für höhere Ladeverluste. Dies begründet sich in den technischen Spezifikationen des Chameleon-ladesystems, welche 1- und 3-phasiges Laden, sowie eine erhöhte Maximalleistung erlauben.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wird für diesen Fahrzeugtyp empfohlen, eine 3-phasige Ladung mit einem minimalen Stromwert von 10 A zu betreiben sowie eine 22 kW Ladung zu bevorzugen.

3.3.3 Durchschnittsverbräuche der e-Fahrzeuge im Pilotzeitraum

Die Fahrzeug-Verbräuche wurden auf der Grundlage des Fahrtenbuchs berechnet und zeigen die Werte im Vergleich zu den Herstellerangaben sowie den ADAC Verbrauchstests (vgl. ADAC, 2019). Hierbei wurden die angegebenen SOC-Werte zur Berechnung herangezogen und mittels der Kilometerdifferenz auf Verbrauchsangaben hochgerechnet. Um die Fehlerrate geringer zu halten, wurden ausschließlich Werte ab einem 30 prozentigen SOC-Anteil in Betracht gezogen (Grund ist die höhere Fehlerrate im unteren Bereich), was die nachfolgend dargestellten Verbrauchswerte liefert (vgl. Tabelle 4).

Da bei dem ADAC-Test keine Bedingungen der Testfahrten beschrieben wurden, soll hier erwähnt werden, dass bei dieser Auswertung keine Messinstrumente verwendet wurden, um genaue Verbrauchswerte aufzunehmen. Die Fahrten wurden **im Zeitraum vom 15.03. – 26.04.2019 mit Winterbereifung**, bei einer **durchschnittlichen Außentemperatur von 10,3°C** absolviert.

Tabelle 4: Vergleich der Durchschnittsverbräuche der e-Fahrzeuge (Quelle: Wien Energie GmbH)

Verbrauchswerte in kWh / 100 km				
Fahrzeugmodell	Herstellerangabe (NEFZ)	Herstellerangabe (WLTP)	ADAC Ecotest	Pilotprojekt Elektromobilität 2030
Hyundai Ioniq	11,5	**	14,7	15,3
VW e-Golf	12,7	15,8	17,3	15,5
BMW i3 (94 Ah)	12,6	16	17,4	14,6
Hyundai Kona	14,3	15,2	19,5	14,3
Renault Zoe	13,3	16,3	20,3	15,8*
Nissan Leaf I Alcenta (30 kWh)	15,0	**	20,5	18,3
Kia Soul	14,7***	**	**	15,3

* Wert aufgrund der geringen Kilometerleistung mit höherer Unsicherheit behaftet

** Keine Quellen auffindbar

*** <https://www.adac.de/infotestrat/autodatenbank/autokatalog/detail.aspx?mid=270732&bezeichnung=kia-soul-ev-play-30-kwh>

Die Tabelle zeigt zwei verschiedene Werte an Herstellerangaben. Eine detaillierte Betrachtungsweise liefert der WLTP (Worldwide harmonized Light Vehicle Test Procedures).

Die ermittelten Durchschnittsverbräuche der e-Fahrzeuge liegen meist zwischen der Herstellerangabe und dem Wert aus dem ADAC Ecotest.

Diese Verbrauchswerte aus dem Pilotprojekt verdeutlichen einen effizienten e-Fahrzeugbetrieb in der Praxis.

3.4 Verhalten der e-Ladestation mit insgesamt 12 Wallboxen

3.4.1 Gemessene Lastprofile der e-Ladeinfrastruktur

In diesem Abschnitt wird der Wirkleistungsverlauf analysiert, der am Verteiler der e-Ladestation gemessen wurde. Dazu werden jeweils die aufgezeichneten **Minutenmittelwerte** verwendet.

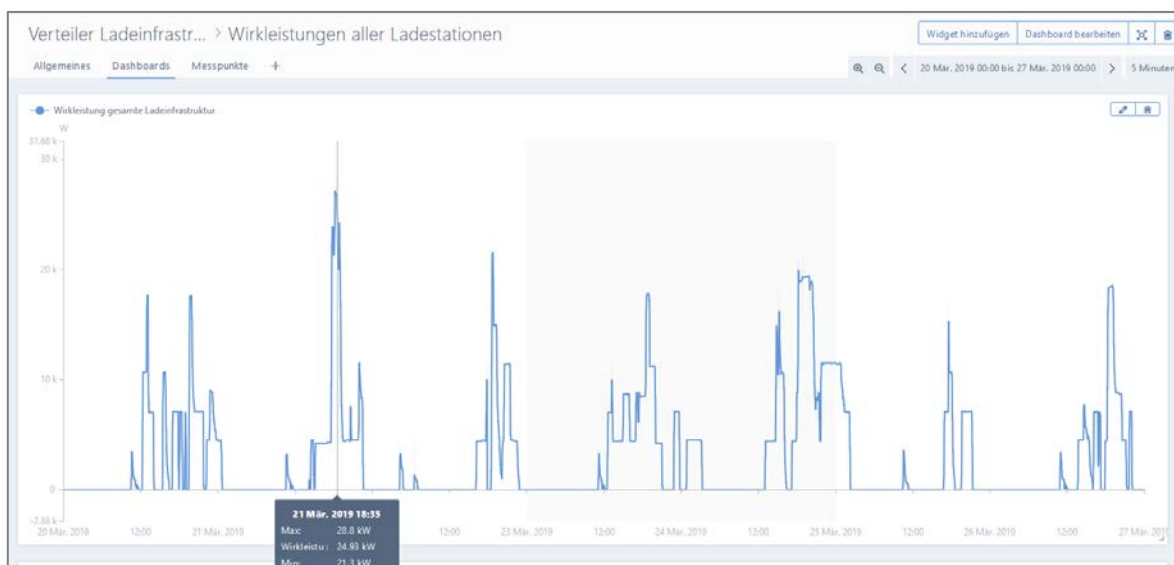


Abbildung 16: Screenshot aus der LineMetrics-Cloud – Wirkleistungsprofil der gesamten e-Ladeinfrastruktur für den Zeitraum Mittwoch 20.03.2019 00:00 Uhr bis Mittwoch 27.03.2019 00:00 Uhr (Quelle: e7)

Nachfolgende Abbildung 17 zeigt den gemittelten Wirkleistungsverlauf an Wochentagen und an Wochenenden. Hervorzuheben ist, dass es sich hier bei jedem dargestellten Minutenwert um den Durchschnitt aller Messwerte zu diesem Zeitpunkt an Wochentagen bzw. Wochenenden handelt. Bei den geringen Lasten in den Morgenstunden handelt es sich daher nicht um eine Grundlast, sondern um normale Ladevorgänge, die jedoch nur selten in diesem Zeitfenster auftraten.

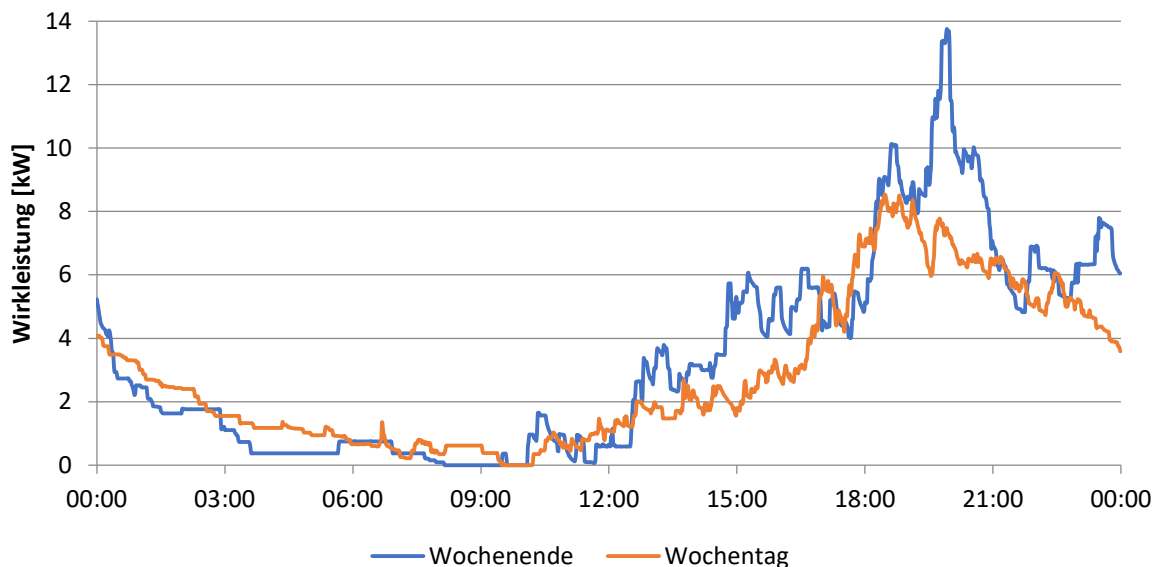


Abbildung 17: Durchschnittlicher Wirkleistungsverlauf an Wochentagen und Wochenenden gemessen am Verteiler der e-Ladestation (Quelle: e7)

Es zeigt sich, dass im Durchschnitt der höchste Leistungsbedarf an Wochenenden zwischen 19:00 und 20:00 Uhr auftritt, während er an Wochentagen zwischen 18:00 und 19:00 Uhr auftritt. Am wenigsten wird in beiden Fällen zwischen 08:00 und 10:00 Uhr geladen. Dies bedeutet, dass während dieser Zeit die Autos vollgeladen sind bzw. sich nicht mehr am Stellplatz befinden.

In Abbildung 18 wird der gesamte Lastverlauf zweier Wochen gegenübergestellt. Dazu wurden einerseits die Kalenderwoche 15 und andererseits die Kalenderwoche 16, welche die Karwoche und damit eine Ferienwoche war, ausgewählt. Abbildung 19 ist ein Ausschnitt daraus und zeigt die Kurve genauer für die Wochentage Dienstag und Mittwoch.

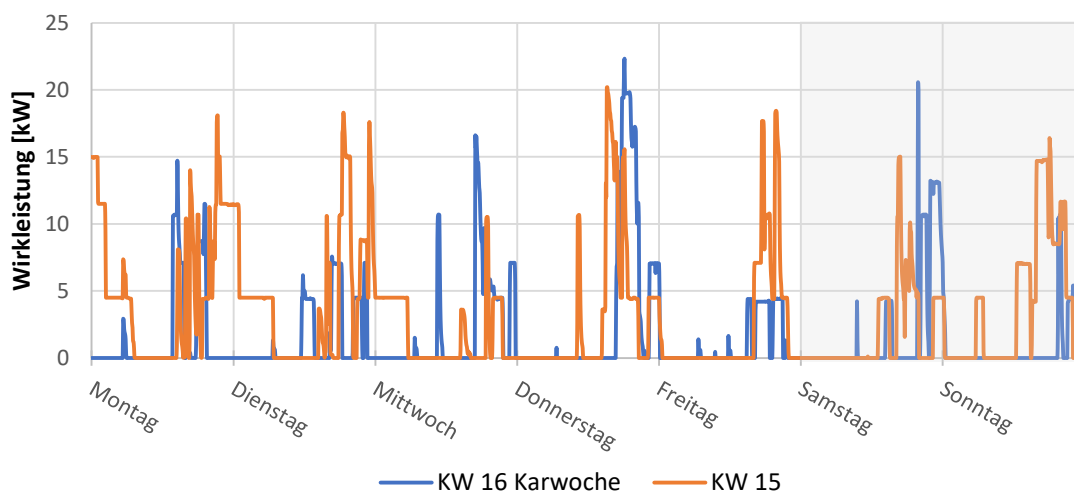


Abbildung 18: Wirkleistungsverlauf in zwei ausgewählten Wochen gemessen am Verteiler der e-Ladeinfrastruktur (Quelle: e7)

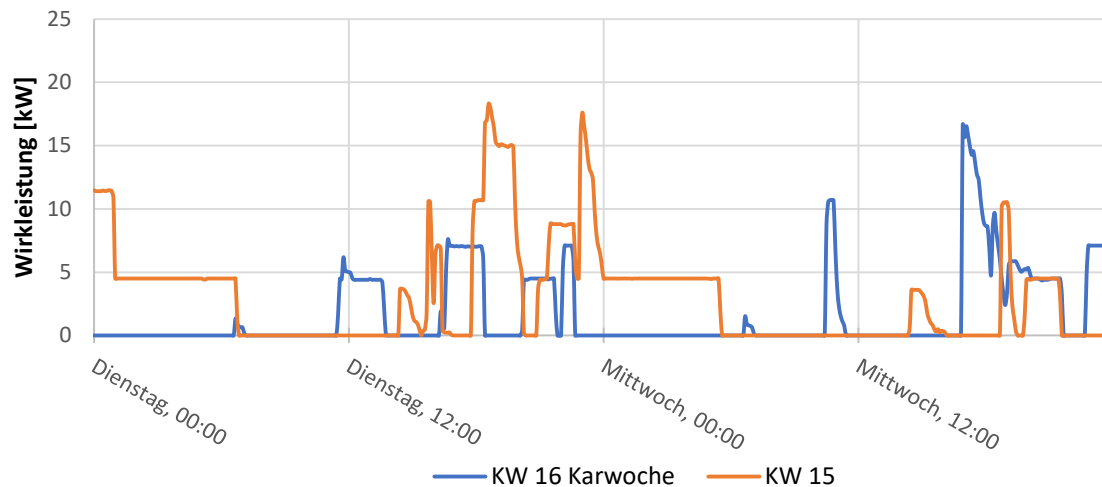


Abbildung 19: Wirkleistungsverlauf in zwei ausgewählten Wochenausschnitten gemessen am Verteiler der e-Ladeinfrastruktur (Quelle: e7)

Bei diesem Vergleich lassen sich in der Ferienwoche weder höhere noch niedrigere Lastspitzen als in der Arbeitswoche feststellen. Am Dienstag kommt es beispielsweise in der Karwoche zu geringeren Spitzen, am Mittwoch ist es jedoch umgekehrt.

In Abbildung 20 sind nun die Lastverläufe an den drei Tagen mit den höchsten Tageslastspitzen, welche im Pilotzeitraum gemessen wurden, dargestellt.

Der **Tag mit der höchsten Lastspitze** ist ein Donnerstag (21.3.) mit einem **Tagesmaximum von 28,8 kW** um 18:35 Uhr. Am Sonntag mit der zweitgrößten Tageslastspitze trat diese etwas später auf, was das oben beschriebene Muster unterstreicht. Dieser Lastgang liefert Aufschlüsse über die Gleichzeitigkeit von Ladungen (im Detail siehe Abschnitt 3.4.5).

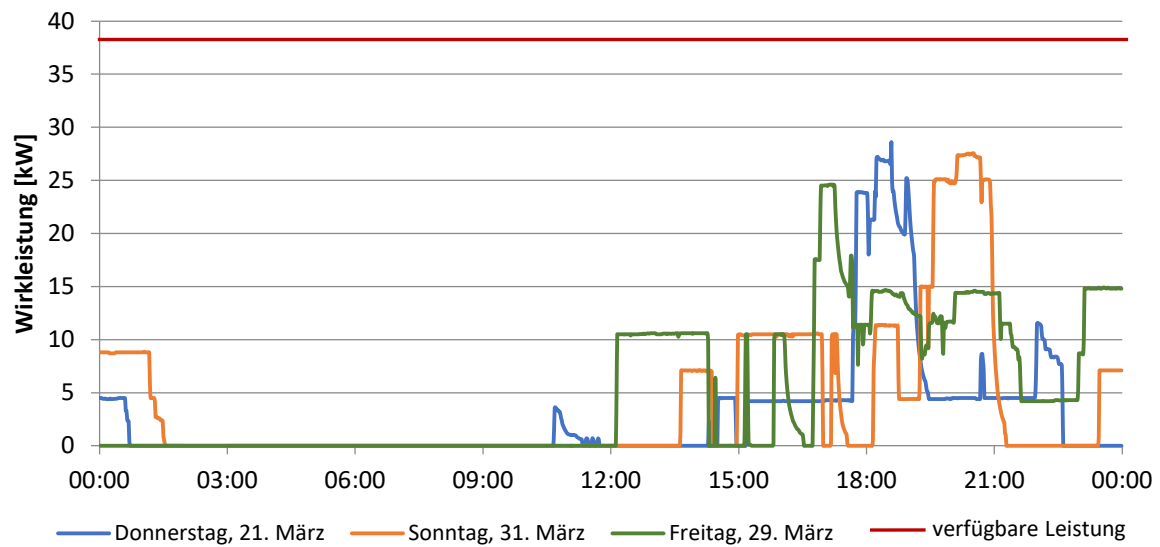


Abbildung 20: Wirkleistungsverlauf an den drei Tagen mit den höchsten Tageslastspitzen im Pilotzeitraum und verfügbare Leistung am Verteiler der e-Ladestation (Quelle: e7)

3.4.2 Gemessene Energiemengen der e-Ladeinfrastruktur

Während des gesamten Pilotzeitraums wurden an der hausinternen e-Ladeinfrastruktur 3.160 kWh geladen. In einer durchschnittlichen Woche waren das ca. 505 kWh, an einem durchschnittlichen Tag 74 kWh. Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen in Prozent, wie weit jede Woche bzw. jeder Wochentag von diesen Mittelwerten abweicht. Mit einer Woche ist hierbei keine Kalenderwoche, sondern eine Versuchswoche gemeint, also von Samstag bis Freitag.

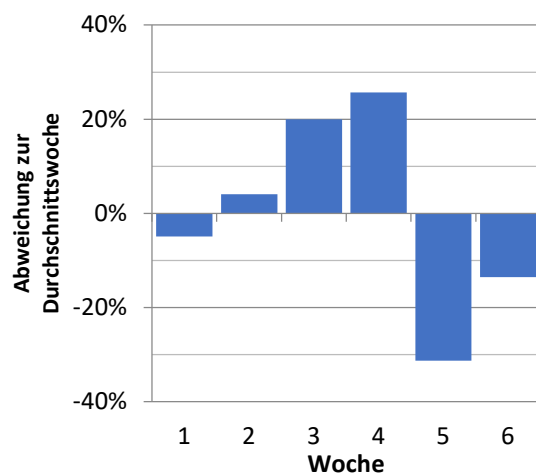


Abbildung 21: Abweichungen der geladenen Energiemengen je Versuchswoche zur Durchschnittswoche; gemessen am Verteiler der e-Ladestation (Quelle: e7)

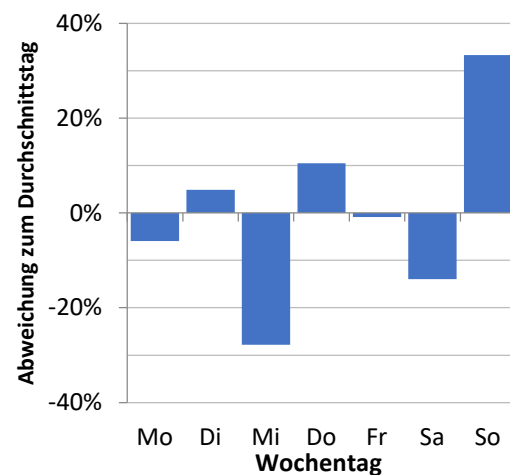


Abbildung 22: Abweichungen der geladenen Energiemengen je Wochentag zum Durchschnittstag; gemessen am Verteiler der e-Ladestation (Quelle: e7)

Es ist deutlich zu erkennen, dass in der Woche 4 am meisten geladen wurde, einer normalen Arbeitswoche. In der darauffolgenden Woche 5 wurde besonders wenig geladen. In diese Woche fällt das Wochenende des Palmsonntags und Montag bis Freitag der Karwoche, also eine Ferienwoche. In Woche 6 fällt schließlich noch das Osterwochenende, sodass hier ebenfalls unterdurchschnittlich geladen wurde.

Der Wochentag an dem im Schnitt am meisten Energie geladen wurde, ist der Sonntag, was weitestgehend auf Wochenend-Ausflugsfahrten zurückzuführen ist. Besonders wenig wurde jeweils am Mittwoch geladen, an den anderen Tagen weichen die Werte nur gering vom Mittelwert ab.

3.4.3 Funktion des Lastmanagements

Wie oben beschrieben, wurde das Lastmanagement (LM) dann aktiv, wenn ohne den Eingriff an der betreffenden Phase ein eingestellter Grenzwert überschritten worden wäre. Im Pilotprojekt wurden zwei verschiedene Grenzwerte angewendet. In Tabelle 5 ist angegeben, wie lange das Lastmanagement in Summe in den jeweiligen Zeiträumen aktiv war.

Tabelle 5: Aktivität des Lastmanagements im Pilotzeitraum (Quelle: e7)

Zeitraum	Grenzwert [A]	Zeit LM aktiv [h]	Anteil an Gesamtzeit [%]
15.03. 00:00 – 19.04. 09:30	55	33	4
19.04. 09:30 – 26.04. 24:00	32	28	15

Unter den Bedingungen im ersten Zeitraum (55 A je Phase entspricht in Summe 38 kW) war das Lastmanagement nur 4% der Zeit aktiv, während es unter den verschärften Bedingungen im zweiten Zeitraum (32 A je Phase entspricht in Summe 22 kW) 15% der Zeit im Einsatz war.

3.4.4 Belastung der Phasenleiter am Verteiler der e-Ladeinfrastruktur

Die Wallboxen wurden so installiert, dass alle 1-phasig ladenden Fahrzeuge auf der Phase L1 angeschlossen wurden. Dementsprechend traten die höchsten Stromflüsse auf dieser Phase auf, was auch den Grund für die meisten Eingriffe des Lastmanagements darstellte. Um das vorhandene Leistungspotential optimal auszunutzen, empfiehlt es sich daher diese Schiefasten zu minimieren, indem bei der Installation der Wallboxen jeweils unterschiedliche Phasen belegt werden.

3.4.5 Gleichzeitigkeitsfaktor

Aus den im Pilotversuch erhobenen Messdaten wurden zwei unterschiedliche Gleichzeitigkeitsfaktoren abgeleitet. Diese beschreiben den Umstand, dass nicht alle Wallboxen gleichzeitig genutzt werden.

Allgemein wird der Gleichzeitigkeitsfaktor nach Wieland et al. (2015) wie folgt berechnet:

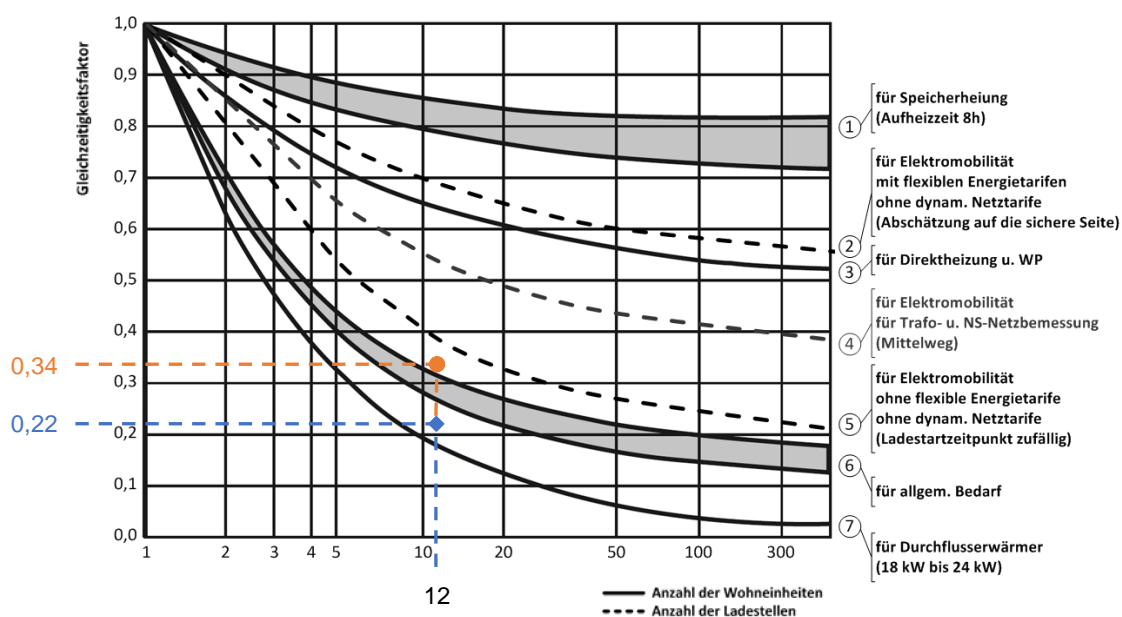
$$g(n) = \frac{P_{S,max}}{\sum_{i=1}^n P_{max,i}}$$

Der Gleichzeitigkeitsfaktor $g(n)$ ist abhängig von der Anzahl n der betrachteten Anschlussobjekte, in diesem Fall der Anzahl der Elektroautos. $P_{S,max}$ stellt die maximale gemessene Spitzenleistung während des Pilotprojekts am Verteiler der e-Ladeinfrastruktur dar. Diese ist stets kleiner als die Summe der einzelnen Anschlussleistungen $\sum_{i=1}^n P_{max,i}$. Die maximal gemessene Spitzenleistung betrug 28,6 kW und trat am 21. März und somit in jenem Zeitraum auf, in dem noch kein Renault Zoe im Einsatz war. Zu diesem Zeitpunkt war die maximale Ladeleistung der 12 Wallboxen auf 11 kW beschränkt.

Zieht man für die einzelnen Anschlussleistungen die **maximale Ladeleistung der Wallboxen** zu diesem Zeitpunkt von **je 11 kW** heran, erhält man einen Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,22. Dieser Wert vernachlässigt die Anschlussleistungen der e-Fahrzeuge und impliziert, dass die derzeitige Fahrzeugflotte nicht die maximal mögliche Anschlussleistung der Wallboxen erreicht.

Zieht man für die einzelnen Anschlussleistungen jeweils die **maximal mögliche Ladeleistung des einzelnen e-Fahrzeugs** (unter Berücksichtigung der Beschränkung auf 20 A bei einphasiger Ladung) heran, beträgt die Summe dieser Ladeleistungen 84,7 kW. Dividiert man den maximal gemessenen Spitzenwert mit dieser Summe, ergibt sich ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,34.

Die beiden ermittelten Gleichzeitigkeitsfaktoren sind in Abbildung 23 den Empfehlungen von Österreichs Energie (2018) gegenübergestellt. Die Kurven betreffend Elektromobilität basieren hier auf 11 kW Ladepunkten.



◆ Gleichzeitigkeitsfaktor auf Basis der Anschlussleistungen der Wallboxen

● Gleichzeitigkeitsfaktor auf Basis der möglichen Ladeleistungen der e-Fahrzeuge

Abbildung 23: Vergleich der Gleichzeitigkeitsfaktoren von Wohneinheiten bzw. Wallboxen (11kW) mit den im Pilotversuch erhobenen Gleichzeitigkeitsfaktoren (Quelle: e7, verändert nach Österreichs Energie 2018)

3.5 Auslastung des elektrischen Hausanschlusses

In diesem Abschnitt werden der Wirkleistungsverlauf und die Lastspitzen analysiert, die am Hausanschluss des Untersuchungsobjekts „Stiege 3“ gemessen wurden. Dieser Anschluss versorgte 22 Wohnungen (inkl. Allgemeinbereiche) sowie die gesamte e-Ladeinfrastruktur. In Kapitel 3.5.1 wurden zur Ermittlung der Lastspitzen jeweils **Minutenmaximalwerte** verwendet, in Kapitel 3.5.2 ist zur Analyse der Lastprofile jeweils angegeben, ob Minutenmittelwerte oder Minutenmaximalwerte herangezogen wurden.

3.5.1 Lastspitzen am elektrischen Hausanschluss

In Abbildung 24 sind die Lastspitzen jedes einzelnen Tages im Pilotzeitraum, wiederum mit und ohne e-Ladeinfrastruktur, aufgetragen.

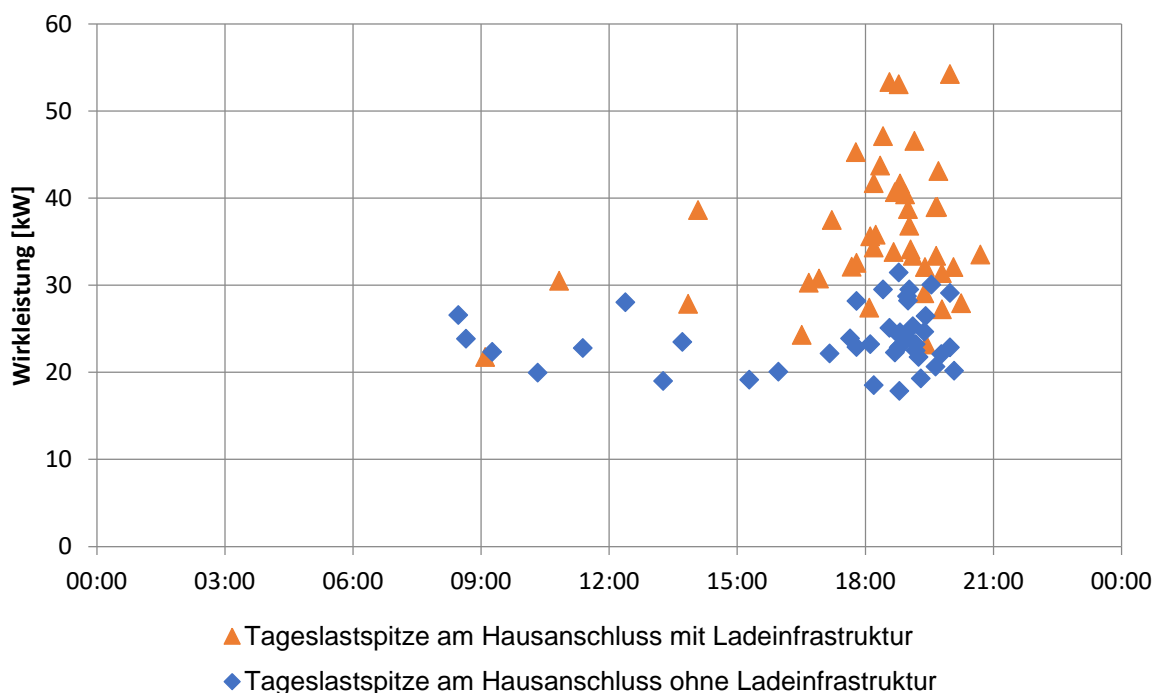


Abbildung 24: Tageslastspitzen im Pilotzeitraum mit Ladeinfrastruktur (Wohnen + Laden) und ohne Ladeinfrastruktur (nur Wohnen) (Quelle: e7)

Insgesamt traten die 3 höchsten Tageslastspitzen am 31., 21. und 22. März auf. Dabei handelt es sich um einen Sonntag, an dem besonders schönes Ausflugswetter herrschte, einen Donnerstag und einen Freitag. Die maximalen

Tageslastspitzen mit Ladeinfrastruktur liegen im Bereich von 55 kW, ohne Ladeinfrastruktur liegen diese bei etwa 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 (in Summe 55 kW) noch ein Puffer von rund 40% am bestehenden Hauptsicherungskasten der Stiege 3 besteht.

Die Frage, ob die bestehende Leistungskapazität am Hauptsicherungskasten der Stiege 3 ausreicht, lässt sich hiermit positiv beantworten, da sich zeigt, dass **die Netzbereitstellung im Vergleich zur maximal aufgetretenen Lastspitze ca. 40% Reserve beinhaltet.**

3.5.2 Gemessene Lastprofile am elektrischen Hausanschluss

Abbildung 25 stellt den gemittelten Lastgang an Wochentagen und Wochenenden dar. Es werden die Wirkleistungsbezüge mit und ohne e-Ladeinfrastruktur dargestellt.

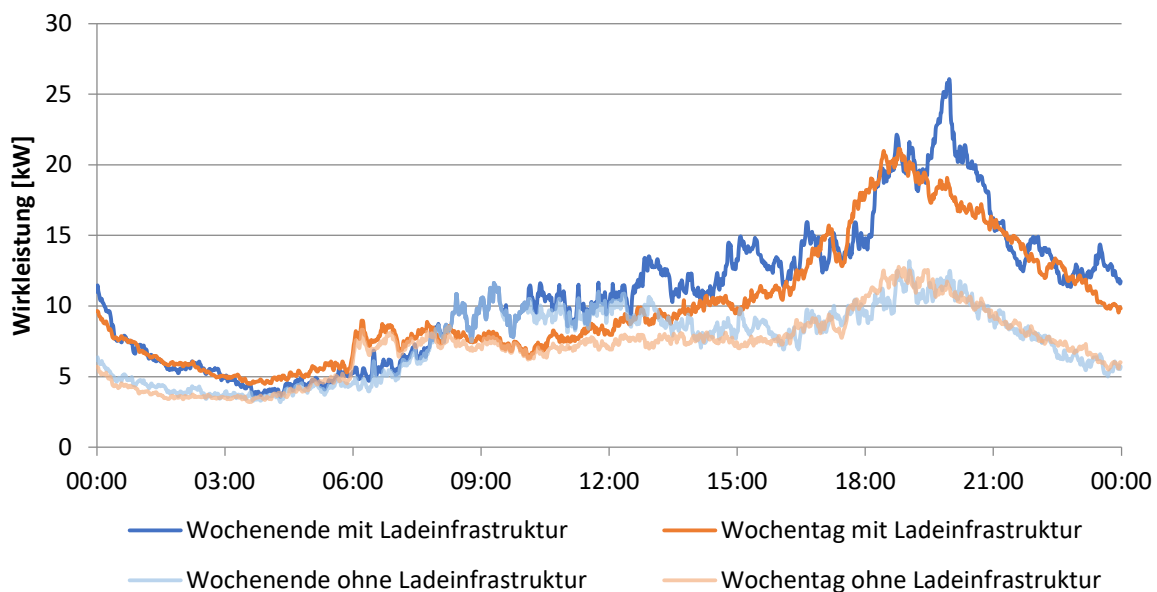


Abbildung 25: Durchschnittlicher Wirkleistungsverlauf (Minutenmittelwerte) an Wochentagen und Wochenenden gemessen am Hausanschluss mit e-Ladeinfrastruktur (Wohnen + Laden) und ohne e-Ladeinfrastruktur (nur Wohnen) (Quelle: e7)

Es zeigt sich, dass im Durchschnitt der höchste Leistungsbedarf an Wochenenden um ca. 20:00 Uhr auftritt, während er an Wochentagen um ca. 19:00 Uhr auftritt. Am Vormittag wird kaum geladen, sodass die Kurven mit und ohne e-Ladeinfrastruktur fast identisch sind. Am Nachmittag weichen diese Kurven bis zur Abendspitze immer mehr voneinander ab. Diese Vergleichsdarstellung verdeutlicht, dass die meisten Ladungen am Abend starten, etwa zur gleichen Zeit in der bei den Wohnungen die Tageslastspitze auftritt.

In Abbildung 26 sind die geordneten Dauerlastganglinien für den Leistungsbezug am Hausanschluss mit und ohne e-Ladeinfrastruktur dargestellt. Das bedeutet, dass die Messwerte der Wirkleistung nicht chronologisch, sondern der Größe nach absteigend sortiert wurden. Außerdem ist in der Abbildung die Netzbereitstellungsleistung des Hauptsicherungsabzweiges der Stiege 3 eingezeichnet, die mit 92 kW ausgewiesen ist.

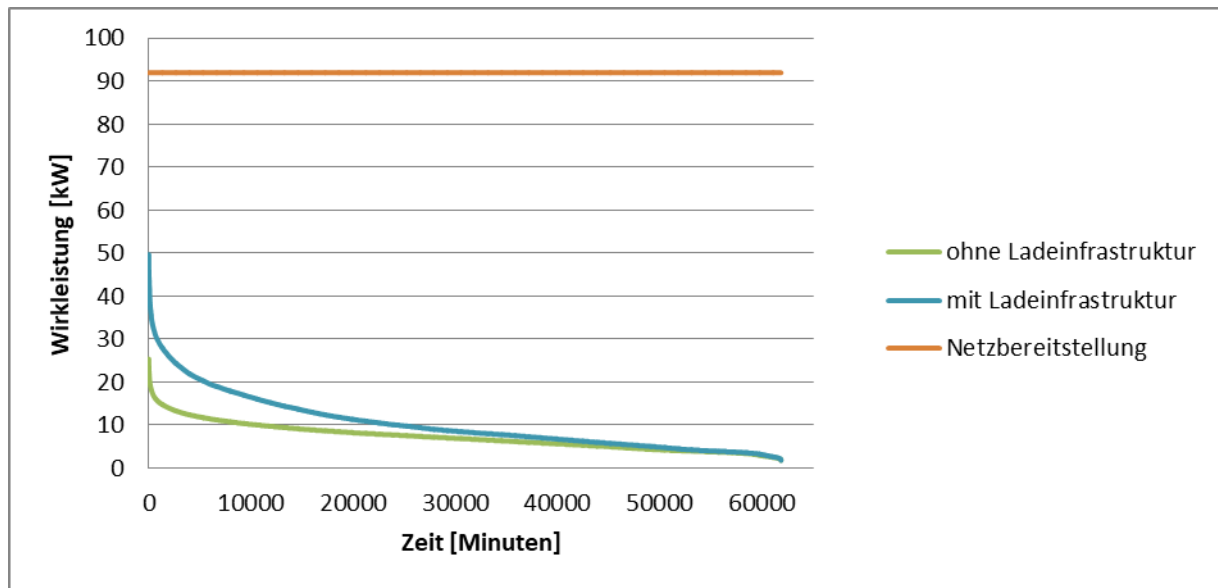


Abbildung 26: Geordnete Dauerlastganglinie (Minutenmittelwerte) mit Ladeinfrastruktur (Wohnen + Laden) und ohne e-Ladeinfrastruktur (nur Wohnen) und Netzbereitstellungsleistung (Quelle: e7)

Diese logarithmisch abnehmenden Kurven zeigen, dass hohe Leistungen nur sehr selten benötigt werden. Beispielsweise wurden ohne e-Ladeinfrastruktur in nur 100 Minuten Leistungen von über 20 kW bezogen, das sind 0,2% des Pilotzeitraumes. Mit Ladeinfrastruktur beträgt dieser Wert 5.600 Minuten bzw. 9%. Die Netzbereitstellungsleistung von 92 kW wird in beiden Betrachtungen zu keinem Zeitpunkt annähernd erreicht.

In Abbildung 27 ist der Lastverlauf am Tag mit der höchsten im Pilotzeitraum gemessenen Lastspitze dargestellt.

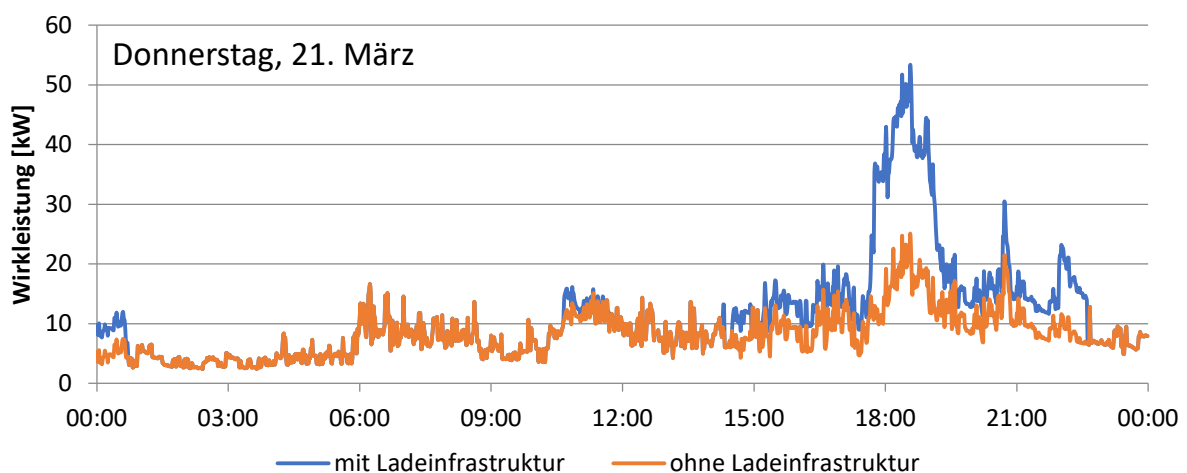


Abbildung 27: Wirkleistungsverlauf (Minutenmaximalwerte) am Tag mit der höchsten Tageslastspitze im Pilotzeitraum gemessen am Hausanschluss mit e-Ladeinfrastruktur (Wohnen + Laden) und ohne e-Ladeinfrastruktur (nur Wohnen) (Quelle: e7)

Analog zu den Messungen am Verteiler der e-Ladeinfrastruktur ist am Hausanschluss der Tag mit der höchsten Lastspitze der 21.3.2019. Diese Darstellung unterstreicht noch einmal die Gleichzeitigkeit von abendlicher Wohnungslastspitze und Lademaximum.

3.6 Auswirkungen der e-Ladung auf das vorgelagerte Stromnetz

Für die Beurteilung der Auswirkungen auf das vorgelagerte Stromnetz wurden zwei Messpunkte ausgewählt. Der erste Messpunkt war die Sekundärseite des Netztrafos in der Netzstation Dirmhirngasse 84. Der zweite Messpunkt wurde im Schleifenkasten bei der Dirmhirngasse 88 platziert. An den Messpunkten wurden die Versorgungsspannung und die Strom-Belastung gemessen. Die Mittelungszeit der Messwerte beträgt 10 Millisekunden für den Maximalwert des Stroms sowie der Spannung und 200 Millisekunden für alle anderen Messgrößen.

Bei der Messung ergaben sich keine Auffälligkeiten im Zusammenhang mit dem Pilotprojekt. Die Grenzwerte der Produktnorm für die elektrische Energie EN 50160 „Merkmale der Versorgungsspannung in öffentlichen Verteilernetzen“ (OVE/ON 2008) wurden eingehalten.

Des Weiteren konnten keine durch die e-Ladeflächeninfrastruktur hervorgerufene Änderung der Schieflast beobachtet werden.

Nachfolgende Abbildung 28 zeigt den Spannungs- und Stromverlauf über den gesamten Projektzeitraum.

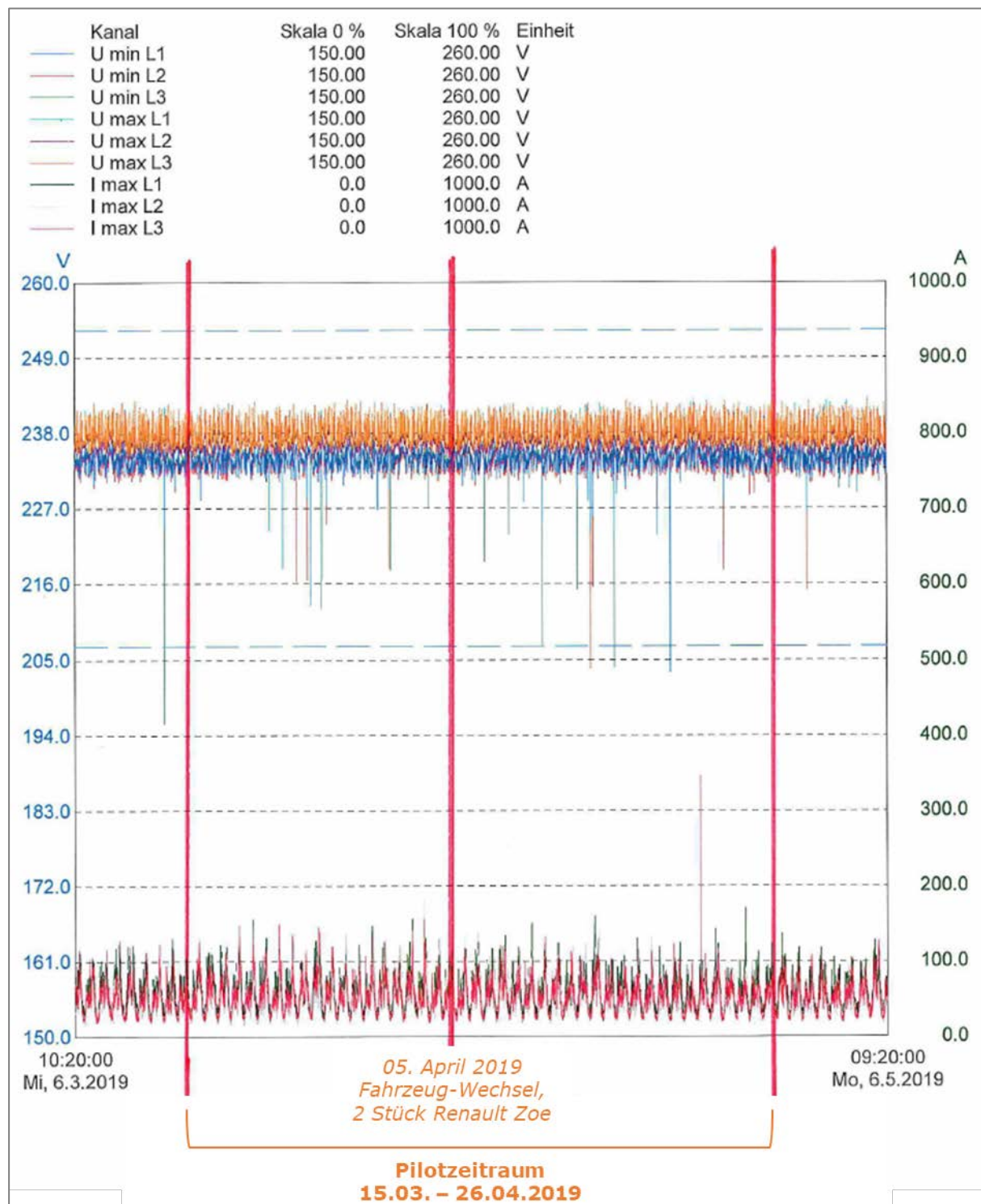


Abbildung 28: Spannungs- und Stromverlauf über den Projektzeitraum (Quelle: Wiener Netze GmbH)

3.7 Ergebnisse der NutzerInnen-Befragung

Nach Beendigung des Pilotzeitraums wurden die 12 e-Fahrzeug-NutzerInnen per Online-Umfrage befragt. Die Befragung umfasste Fragen über Erfahrungen über die Handhabung der e-Autos (Fahren und Ladung), Gewöhnungszeiten an die e-Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur sowie ihre persönliche Einstellung zur Elektromobilität.

Die Auswertung der Befragung ergab eine hohe Zufriedenheit mit den e-Fahrzeugen – sowohl bei Arbeitswegen als auch im Freizeiteinsatz und bei Ausflügen. Mehr als die Hälfte der NutzerInnen kann sich vorstellen, künftig komplett auf ein e-Auto umzusteigen, 40% davon sogar „sicher“.

Es wurde eine hohe Zufriedenheit hinsichtlich der Ladevorgänge bzw. der Ladezeiten festgestellt. Wichtig war den NutzerInnen, dass am Folgetag in der Früh vollgeladene e-Fahrzeuge garantiert sind.

Knapp 60% der NutzerInnen können sich auch vorstellen an einem e-Car-Sharing teilzunehmen.

Die Eingewöhnungszeit an die e-Fahrzeuge und die e-Ladeinfrastruktur wurde im Allgemeinen als sehr kurz bewertet. Nachfolgende Abbildung 29 zeigt, dass sich ein Großteil der NutzerInnen (rund 79%) innerhalb eines Tages an das zur Verfügung gestellte e-Fahrzeug gewöhnten. Mit dem Anstecken und Laden der e-Fahrzeuge an der Ladestation waren auch die allermeisten innerhalb eines Tages vertraut.

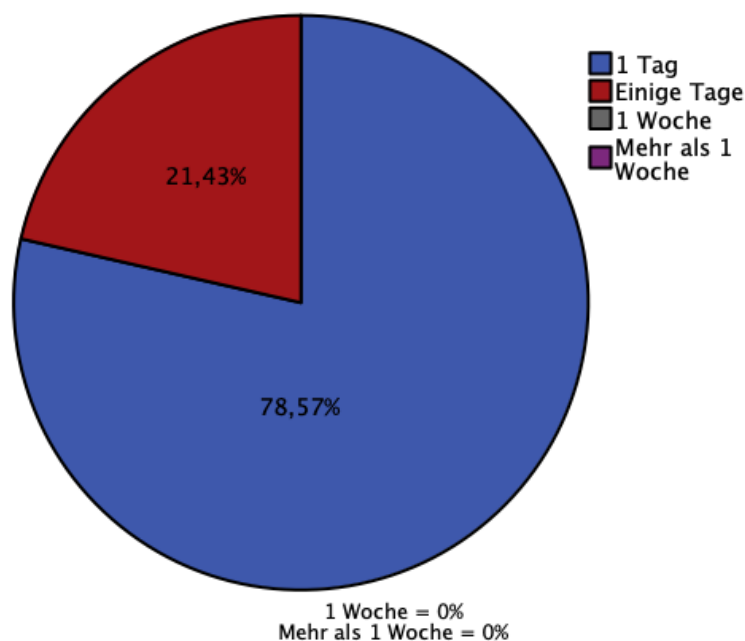


Abbildung 29: Gewöhnungszeit an die e-Fahrzeuge (Quelle: e7)

Die Abfrage von persönlich benötigten Reichweiten der NutzerInnen ergab, dass sich die allermeisten Fahrten im Bereich von weniger als 150 km bewegen (siehe Abbildung 30; Anmerkung: regelmäßig = mind. 1 mal pro Woche, öfters = mind. 1 mal pro Monat, selten = weniger als 1 mal pro Monat).

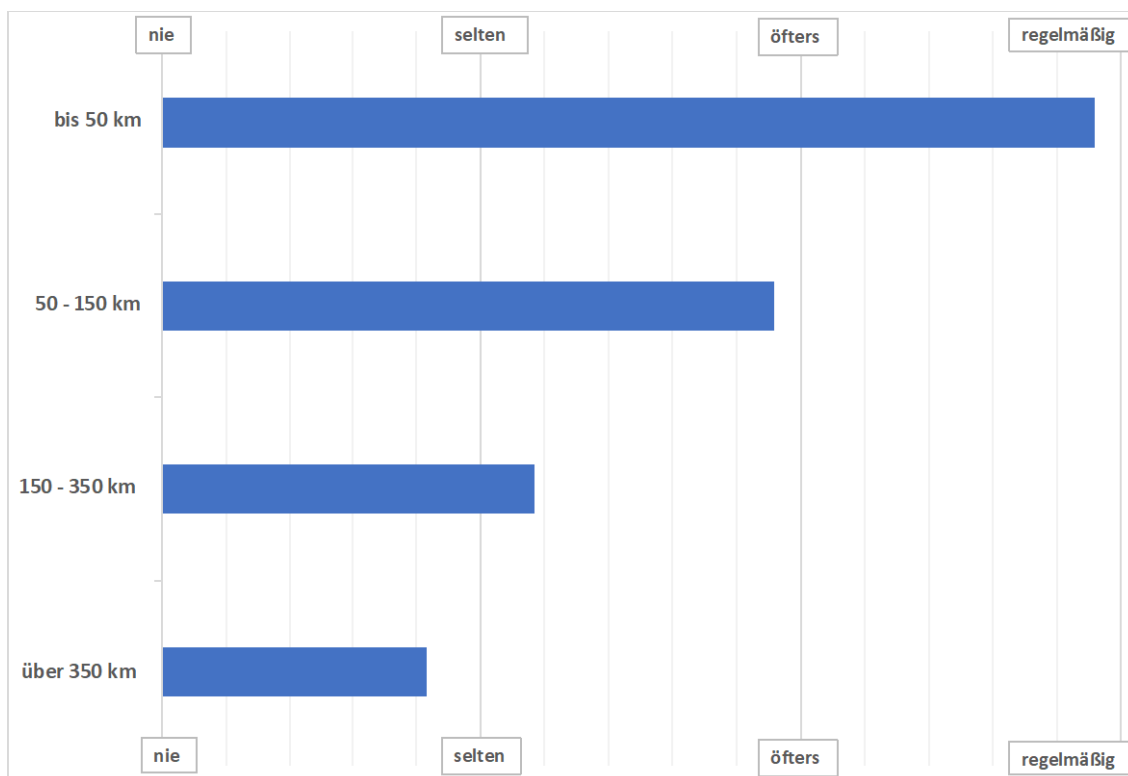
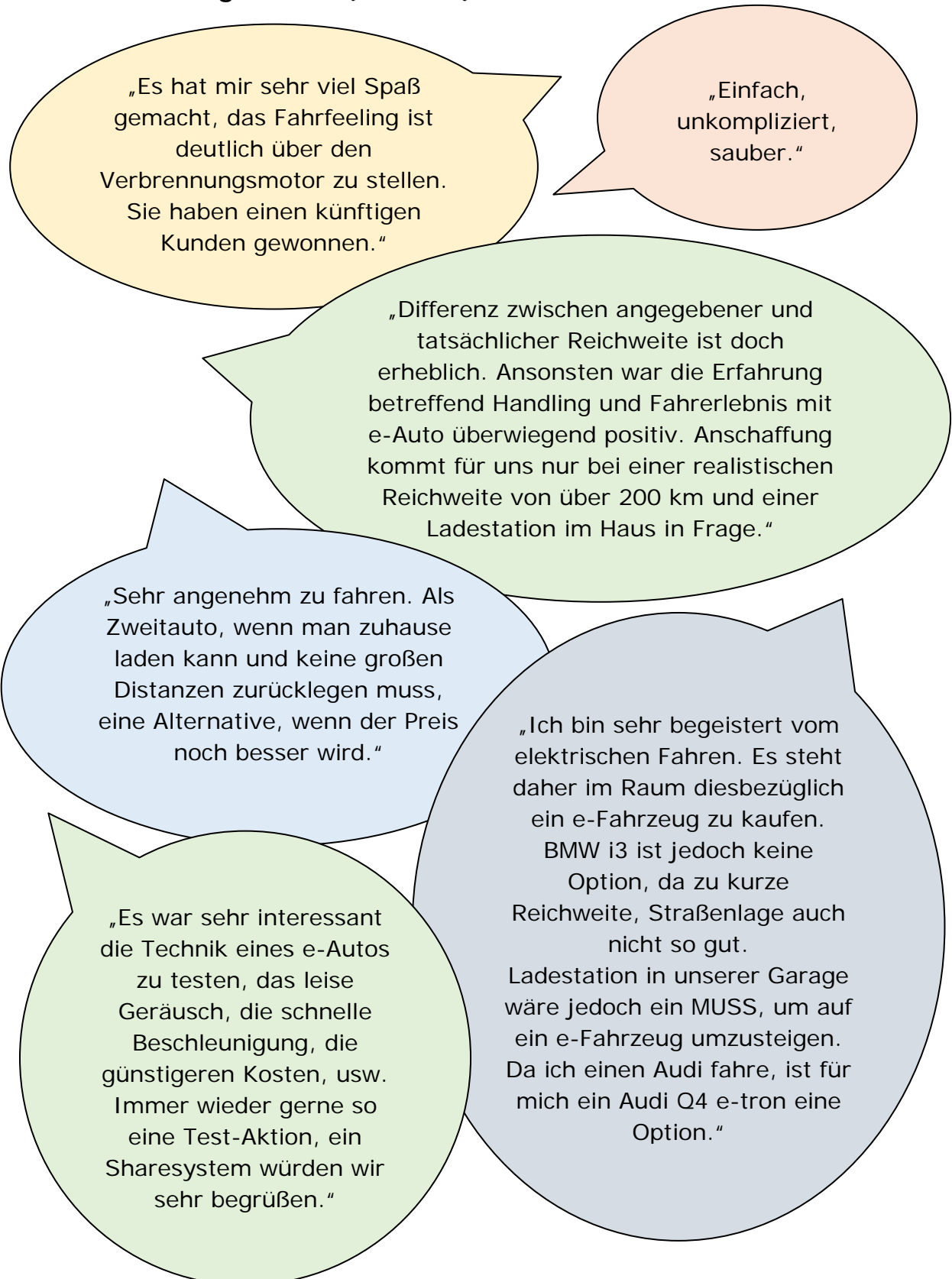


Abbildung 30: Angabe der NutzerInnen zu benötigten Reichweiten (Quelle: e7)

Diese Reichweiten können problemlos mit e-Fahrzeugen abgedeckt werden. Vor allem für den Freizeiteinsatz wünschen sich die NutzerInnen Fahrzeug-Modelle mit größeren Reichweiten.

Folgende Aussagen wurden im Rahmen der Online-Befragung von den NutzerInnen rückgemeldet (Auswahl):



4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Mit dem **Pilotprojekt Elektromobilität 2030** konnten wichtige Erkenntnisse für die **Implementierung von e-Ladeinfrastruktur im bestehenden Wohnbau** gewonnen werden.

Unter Anwendung einer **gemeinschaftlichen Ladeinfrastruktur mit Lastmanagement-Funktion** und einer derzeit **typischen e-Fahrzeuge-Flotte** mit **realistischem Fahrverhalten** der NutzerInnen wurde gezeigt, dass die **technische Implementierung von e-Ladeinfrastruktur** in einem bestehenden Wohnhaus **problemlos möglich** ist. Die Variante **Gemeinschaftsanlage mit Langsamladung** stellt eine **optimale Lösung für die Ladung von e-Fahrzeugen in bestehenden Wohngebäuden** dar. Nachfolgend werden die wichtigsten Erkenntnisse zusammenfasst:

- Es wurde gezeigt, dass **mehr als die Hälfte der Haushalte auf e-Fahrzeuge** umsteigen können, die **überwiegend zuhause geladen** werden. Die Versorgung der e-Ladeinfrastruktur erfolgte dabei problemlos ohne Verstärkung der Anschlussleistung über den **bestehenden elektrischen Hausanschluss**.
- An der elektrischen Versorgungsleitung der e-Ladeinfrastruktur zeigten sich typische Lastprofile, wo die **Ladevorgänge am Nachmittag starten** und der **höchste Leistungsbedarf zwischen 18:00 und 20:00 Uhr auftritt**. Am wenigsten wird am Vormittag zwischen 08:00 und 10:00 Uhr geladen.
- Es wurden **geringe Ladeleistungen an der e-Ladeinfrastruktur** nachgewiesen (Lastspitzen kleiner 30 kW bei insgesamt 12 Ladepunkten/Fahrzeugen). Selbst an Tagen, an denen hohe Ladeleistungen zu erwarten wären (z.B. schöner, sonniger Sonntag – typisches Ausflugswetter), war die tatsächliche, maximal abgefragte elektrische Leistung der Ladeinfrastruktur lediglich ein **Viertel 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 50% (e-Ladeinfrastruktur und Haushaltsstrom).

- Die drei wesentlichen Gründe dafür sind: Es werden **nicht immer alle Fahrzeuge gleichzeitig geladen**. 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. Drittens und am wichtigsten: obwohl die Fahrleistungen insgesamt deutlich über dem österreichischen Durchschnitt lagen, ist die **Mehrzahl der zurückgelegten Wege im Bereich bis 50 km** (regelmäßig) bzw. 50 bis 150 km (öfters). Dementsprechend sind **nur selten Vollladungen erforderlich** (im Projekt war es ein Anteil von 7%).
- Die **korrekte Funktion** des **Lastmanagements** der **e-Ladeinfrastruktur** konnte bestätigt werden. Potentielle Überlastungen können durch das Lastmanagement ausgeglichen werden.
- Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass ein **erhebliches Optimierungspotenzial für den Ausgleich von Lastspitzen am elektrischen Hausanschluss** vorliegt. Beispielsweise könnten durch Anpassungen im Lastmanagement-System die Ladevorgänge von den Abendstunden in die Nachtstunden verschoben werden.
- Die **Energieverbrauchs-Kennwerte der e-Fahrzeuge (inkl. Energieverluste der Akku-Ladung)** lagen durchwegs im Bereich der Herstellerangaben. Diese Verbrauchswerte bestätigen, dass die **Elektromobilität eine sehr effiziente Technologie** zur Deckung der individuellen motorisierten Mobilitätsbedürfnisse ist.
- Im **vorgelagerten Stromnetz** wurden **keine negativen Auswirkungen** durch die zusätzliche Belastung der e-Ladung hervorgerufen. Es wurde alle Grenzwerte der EN 50160 „Merkmale der Versorgungsspannung in öffentlichen Verteilernetzen“ (OVE/ON 2008) eingehalten.
- **Hohe Bereitschaft für eine Teilnahme an einem e-Carsharing**: Mehr als die **Hälfte³ der e-Fahrzeug-NutzerInnen** können sich vorstellen an einem lokalen e-Carsharing teilzunehmen. Auch die Daten über die Fahrzeugnutzung zeigen das Potenzial für Carsharing. Während des Pilotzeitraums lag zwar die Fahrzeugauslastung bei einem vergleichsweise hohen Anteil von 51%, was sich jedoch unter den Bedingungen des Fahrzeug-Sharings ändern würde. Diesbezüglich wäre ein Folgeprojekt mit Schwerpunkt e-Carsharing sehr aufschlussreich.

³ 3 NutzerInnen: Ja sicher, 4 NutzerInnen: Wahrscheinlich; Gesamtanzahl: 12

Empfehlungen für die Umsetzung von e-Ladeinfrastruktur im Wohnbau

Sowohl für Neubau-Wohngebäude als auch für bestehende Wohngebäude wird die Errichtung von e-Ladeinfrastruktur in der Variante einer **gemeinschaftlichen Ladeinfrastruktur mit Lastmanagement-Funktion** empfohlen. Mit dieser Variante kann bei größeren Anzahlen von Ladepunkten gewährleistet werden, dass es zu keiner Überlastung der bestehenden elektrischen Hausanschlüsse kommt und ein netzschonendes Heimpladen möglich wird.

Soll die e-Ladeinfrastruktur in bestehende Wohnhausanlagen integriert werden, ist Langsamladung vorzusehen, um den bestehenden elektrischen Hausanschluss nicht zu überlasten (max. 11 kW pro Wallbox).

Ein Ladestellenbetreiber sorgt neben der Errichtung auch für den ordnungsmäßigen Betrieb der Ladeinfrastruktur und übernimmt die Verrechnung der Kosten.

Falls die Realisierung einer gemeinschaftlichen Ladeinfrastruktur in erstem Ausbauschnitt (z.B. aufgrund zu geringen Bedarfs an Ladepunkten) nicht möglich ist, sollte im Zuge der Planung von Einzellösungen (einzelne Wallboxen) bereits darauf geachtet werden, dass zu einem späteren Ausbauzeitpunkt die Integration aller Ladepunkte in ein Lastmanagement-System möglich ist.

Eine gemeinschaftliche Ladeinfrastruktur bietet zudem beste Voraussetzungen für die Verknüpfung mit einer gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage (z.B. Photovoltaik-Anlage), sodass der eigenerzeugte Strom für die Ladung von e-Fahrzeugen optimal genutzt werden kann.

5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchungsobjekt in Wien Liesing (Quelle: e7).....	8
Abbildung 2: e-Fahrzeug-NutzerInnen (Quelle: Klima- und Energiefonds / APA-Fotoservice / Juhasz)	10
Abbildung 3: Stromversorgung des Untersuchungsobjekts ohne e-Ladeinfrastruktur (Quelle: e7).....	11
Abbildung 4: Kommunikationssystem der Ladeinfrastruktur (Quelle: Wien Energie GmbH)	12
Abbildung 5: Lastmanagementverhalten - Load-Shifting und Load-Balancing (Quelle: Wien Energie GmbH).....	14
Abbildung 6: Messpunkte im Untersuchungsobjekt und im Stromnetz (Quelle: e7)	17
Abbildung 7: Wien Energie TANKE-Ladekarte (Quelle: Wien Energie GmbH).....	18
Abbildung 8: Ausschnitt einer Fahrtenbuch-Aufzeichnung (Quelle: e7).....	18
Abbildung 9: e-Fahrzeuge bei der Übergabe an die NutzerInnen (Quelle: e7)	21
Abbildung 10: Ablauf des Pilotprojekts (Quelle: e7).....	22
Abbildung 11: Gesamt-Fahrleistungen je e-Fahrzeug-NutzerIn im Pilotzeitraum (Quelle: e7).....	23
Abbildung 12: Geladene Energiemengen an der hausinternen e-Ladeinfrastruktur (Tiefgarage), an öffentlichen BEÖ-Ladestationen und sonstige Ladungen (Quelle: e7 und Wien Energie GmbH).....	24
Abbildung 13: Gesamtfahrleistung aller NutzerInnen je Versuchswoche im Pilotzeitraum (Quelle: e7).....	25
Abbildung 14: Darstellung der 1-, 2- sowie 3-phasigen Ladungen unterschiedlicher e-Fahrzeug-Modelle (Quelle: Wien Energie GmbH)	29
Abbildung 15: Wirkleistungsfaktor $\cos(\phi)$ bei einer Ladung des Renault Zoe. Lastmanagementeingriff mit resultierender Reduzierung auf 11 kW Ladeleistung (Quelle: Wien Energie GmbH).....	30
Abbildung 16: Screenshot aus der LineMetrics-Cloud – Wirkleistungsprofil der gesamten e-Ladeinfrastruktur für den Zeitraum Mittwoch 20.03.2019 00:00 Uhr bis Mittwoch 27.03.2019 00:00 Uhr (Quelle: e7)	32
Abbildung 17: Durchschnittlicher Wirkleistungsverlauf an Wochentagen und Wochenenden gemessen am Verteiler der e-Ladestation (Quelle: e7)	33
Abbildung 18: Wirkleistungsverlauf in zwei ausgewählten Wochen gemessen am Verteiler der e-Ladeinfrastruktur (Quelle: e7).....	33
Abbildung 19: Wirkleistungsverlauf in zwei ausgewählten Wochenausschnitten gemessen am Verteiler der e-Ladeinfrastruktur (Quelle: e7)	34
Abbildung 20: Wirkleistungsverlauf an den drei Tagen mit den höchsten Tageslastspitzen im Pilotzeitraum und verfügbare Leistung am Verteiler der e-Ladestation (Quelle: e7) ...	35
Abbildung 21: Abweichungen der geladenen Energiemengen je Versuchswoche zur Durchschnitts-woche; gemessen am Verteiler der e-Ladestation (Quelle: e7)	36
Abbildung 22: Abweichungen der geladenen Energiemengen je Wochentag zum Durchschnittstag; gemessen am Verteiler der e-Ladestation (Quelle: e7)	36

Abbildung 23: Vergleich der Gleichzeitigkeitsfaktoren von Wohneinheiten bzw. Wallboxen (11kW) mit den im Pilotversuch erhobenen Gleichzeitigkeitsfaktoren (Quelle: e7, verändert nach Österreichs Energie 2018)	39
Abbildung 24: Tageslastspitzen im Pilotzeitraum mit Ladeinfrastruktur (Wohnen + Laden) und ohne Ladeinfrastruktur (nur Wohnen) (Quelle: e7)	40
Abbildung 25: Durchschnittlicher Wirkleistungsverlauf (Minutenmittelwerte) an Wochentagen und Wochenenden gemessen am Hausanschluss mit e-Ladeinfrastruktur (Wohnen + Laden) und ohne e-Ladeinfrastruktur (nur Wohnen) (Quelle: e7)	42
Abbildung 26: Geordnete Dauerlastganglinie (Minutenmittelwerte) mit Ladeinfrastruktur (Wohnen + Laden) und ohne e-Ladeinfrastruktur (nur Wohnen) und Netzbereitstellungsleistung (Quelle: e7)	43
Abbildung 27: Wirkleistungsverlauf (Minutenmaximalwerte) am Tag mit der höchsten Tageslastspitze im Pilotzeitraum gemessen am Hausanschluss mit e-Ladeinfrastruktur (Wohnen + Laden) und ohne e-Ladeinfrastruktur (nur Wohnen) (Quelle: e7)	43
Abbildung 28: Spannungs- und Stromverlauf über den Projektzeitraum (Quelle: Wiener Netze GmbH)	46
Abbildung 29: Gewöhnungszeit an die e-Fahrzeuge (Quelle: e7)	47
Abbildung 30: Angabe der NutzerInnen zu benötigten Reichweiten (Quelle: e7)	48

6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: e-Fahrzeuge im Pilotprojekt	20
Tabelle 2: Anzahl und Anteil von Vollladungen (Quelle: e7)	25
Tabelle 3: Nennladeleistungen, mögliche Wallbox-Ladeleistung und gemessene Ladeleistungen der getesteten Elektrofahrzeuge (Quelle: e7)	27
Tabelle 4: Vergleich der Durchschnittsverbräuche der e-Fahrzeuge (Quelle: Wien Energie GmbH)	31
Tabelle 5: Aktivität des Lastmanagements im Pilotzeitraum (Quelle: e7)	37

7 Literaturverzeichnis

- ADAC: „Elektroautos im Test: So hoch ist der Stromverbrauch“,
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>,
 Webartikel, Datum: 01.07.2019
- Eberhard T., Steger-Vonmetz C., 2019: Mobility Explored – Elektro-Autos zuhause laden, Bedarf an Maßnahmen für Heimpladestationen in Wohnanlagen, AustriaTech – Gesellschaft des Bundes für technologiepolitische Maßnahmen GmbH, Wien.
- Hüttler W., Fidler P., Amann C. und Lampersberger P., 2017: Nachrüstung von Ladestationen in bestehenden großvolumigen Wohngebäuden, Endbericht, bmvit, 2017.
- OVE/ON, 2008. EN 50160 Merkmale der Versorgungsspannung in öffentlichen Verteilernetzen. Wien: Österreichischer Verband für Elektrotechnik.
- Österreichs Energie, 2018. Abschlussbericht des EP Elektromobilität.
- TAEV: Technischen Anschlussbedingungen für den Anschluss an öffentliche Versorgungsnetze mit Betriebsspannungen bis 1000 Volt, Österreichs Energie.
- VCÖ: „Österreichs Autofahrer fahren im Schnitt 34 Kilometer pro Tag“,
<https://www.vcoe.at/news/details/vcoe-oesterreichs-autofahrer-fahren-im-schnitt-34-kilometer-pro-tag>, Webartikel, Datum: 26.06.2019
- Wieland, T., Reiter, M., Schmutzner, E., Fickert, L., Fabian, J. und Schmied, R., 2015. 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. Elektrotechnik & Informationstechnik 132/3: 160–167.