

Betrachtung der Netzanschlussleistung eines Parkhauses bei kontrollierter Ladung von Elektrofahrzeugen

Andreas Pacher¹, Matthias Stifter², Stefan Übermasser², Benoît Bletterie²

¹FH-Technikum Wien, 1200 Wien, Höchstädtplatz 5,
andreas.pacher@siemens.com, www.technikum-wien.at

¹AIT Austrian Institute of Technology, Giefinggasse 2,
{Vorname.Nachname}@ait.ac.at, www.ait.ac.at

Kurzfassung: Die Auswirkung der Begrenzung von Anschlussleistung für das Laden von Elektroautos in Parkhäuser - am Beispiel der Park & Ride Anlage in Leopoldau - wird untersucht. Für potentielle Betreiber von Elektroladestationen ist es essentiell zu wissen welche Gesamtladeleistungen zu erwarten sind und ob diese mittels intelligenter Ladestrategien optimiert werden können.

Anhand von Pendler Parkdaten werden Simulationen für Szenarien der Jahre 2013 und 2020 durchgeführt. Dazu werden die einzelnen Fahrten und damit der Energiebedarf der Elektroautos, basierend auf in einer Verkehrssimulation ermittelten realistischen Wegzeiten und – strecken und unter verschiedenen Temperatureinflüssen, simuliert. Aufgrund der Simulation der Entladung während der Fahrt und der zugeführten Energie aufgrund der kontrollierten Ladeleistung wird der Einfluss auf die Reichweite realistisch ermittelt.

Der Vergleich der Szenarien „unkontrolliertes“ und „kontrolliertes“ Laden auf Basis der Energiekosten zeigt ein hohes Einsparpotential bei Verwendung der kontrollierten Ladestrategie. Der Unterschied der laufenden Kosten beläuft sich jährlich auf mehr als 56.000 Euro (exklusive der Netzbereitstellungskosten) oder ca. 60 % der Gesamtstromkosten.

Keywords: Elektromobilität, Ladesteuerung, Netzanschlussleistung, Multiagenten Simulation

1 Einleitung

Der Elektromobilität, im speziellen der Anwendung von Elektroautos, wird vor allem im Bereich der Berufspendler eine positive Zukunft vorausgesagt: Untersuchungen zeigen, dass 95 % der täglichen Fahrten mit einem PKW weniger als 50 km betragen. Dies kommt der derzeit noch begrenzten Reichweite von Elektroautos entgegen. Wenn zukünftig mehr Elektrofahrzeuge gleichzeitig die Batterie aufladen, werden immer größere Lastspitzen erwartet.

Besonders das typische Pendlerprofil stellt einen potentiellen Betreiber von Elektroladestationen in Parkhäusern vor Herausforderungen. Eine hohe benötigte Spitzenladeleistung, jedoch eine schlechte Auslastung über den Tag verteilt, führt unter anderem zu hohen Netzbereitstellungskosten, welche der Betreiber zu tragen hat.

1.1 Fragestellung

Es stellt sich die Frage, in welchem Ausmaß der Betreiber durch Verwendung einer intelligenten Ladesteuerung die Lastspitzen und demnach die Anschlusskosten gegenüber einer unkontrollierten Ladestrategie reduzieren kann ohne dass der Endkunde in seiner Mobilität eingeschränkt wird:

- Wie hoch werden die Netzanschlussleistungen von Parkhäusern bei kontrollierter und unkontrollierter Ladung von Elektrofahrzeugen im Jahr 2013 und im Jahr 2020 sein?
- Wie wirkt sich kontrolliertes Laden in der Park & Ride Anlage Leopoldau auf die Reichweite der Elektrofahrzeuge von Pendlern aus Niederösterreich aus?

1.2 Ziele

Durch die in dieser Arbeit untersuchte kontrollierte Ladestrategie soll nicht nur die Netzbelastung im Gesamten optimiert bzw. reduziert werden, sondern vor allem eine Kostenreduzierung für den Betreiber der Ladestationen erreicht werden.

2 Methode

Diese Arbeit¹ untersucht einerseits das Einsparpotenzial der Netzanschlussleistung bei der Park & Ride Anlage in Leopoldau bei kontrollierten Ladevorgängen von Elektroautos für das Jahr 2013 und das Jahr 2020. Des Weiteren werden die Auswirkungen der Limitierung der Ladeleistung auf die Reichweite der Elektrofahrzeuge dargestellt.

Mithilfe einer multi-agenten basierten Simulation der einzelnen Fahrzeuge (EVSIM) werden die entworfenen Szenarien (Best Case im Sommer und Worst Case im Winter) mit den unterschiedlichen Ladestrategien simuliert und eingehend im Hinblick auf die Auswirkung auf die Netzanschlussleistung der Parkanlage Leopoldau mittels Sensitivitätsanalyse untersucht.

Als Input für die Simulation werden reale Parkdaten aus dem Jahr 2010 verwendet. Diese wurden von der Technischen Universität Wien im Zuge einer Pendlererhebung im Parkhaus Leopoldau erhoben. Temperaturdaten sind von den Jahren 2010 und 2011.

2.1 Daten und Annahmen

Standort der P&R Anlage

Das untersuchte Parkhaus befindet sich im Nordosten Wiens, im 21. Gemeindebezirk Floridsdorf. Im Parkhaus können bis zu 1100 Autos und Motorräder parken.

Stehdauer und Quell- Zielkoordinaten

2010 wurden im Zuge einer Pendlererhebung der TU Wien die Parkdauer der in Leopoldau parkenden Autos erhoben. Stehzeiten von 186 Fahrzeugen wurden aufgenommen [1].

¹ Der Großteil dieses Artikels basiert auf die gleichnamige Masterarbeit des Autors: *Pacher, Andreas; Betrachtung der Netzanschlussleistung eines Parkhauses bei kontrollierter Ladung von Elektrofahrzeugen, Masterarbeit, FH Technikum Wien, 2013*

Bestimmung der Parkdauer:

Die Parkdauer der einzelnen Autos wurde zuerst durch regelmäßige Rundgänge grob bestimmt. Rundgänge erfolgten um 6:00 Uhr, 9:00 Uhr, 11:00 Uhr, 13:00 Uhr, 15:00 Uhr und 17:00 Uhr. Der exakte Zeitpunkt des Eintreffens bzw. Verlassens der Autos kann nicht genau bestimmt werden [1]. Die Ankunfts- sowie Abfahrtszeiten werden in den jeweiligen Zeitfenstern statistisch gleichverteilt um eine realistische Grundlage für die Simulation zu erhalten.

Eingrenzung der Rohdaten:

Kurzzeitparker werden in der Simulation nicht weiter berücksichtigt. Die Mindeststehzeit beträgt 6 Stunden und die maximale Strecke einer Fahrtrichtung beträgt 75 km.

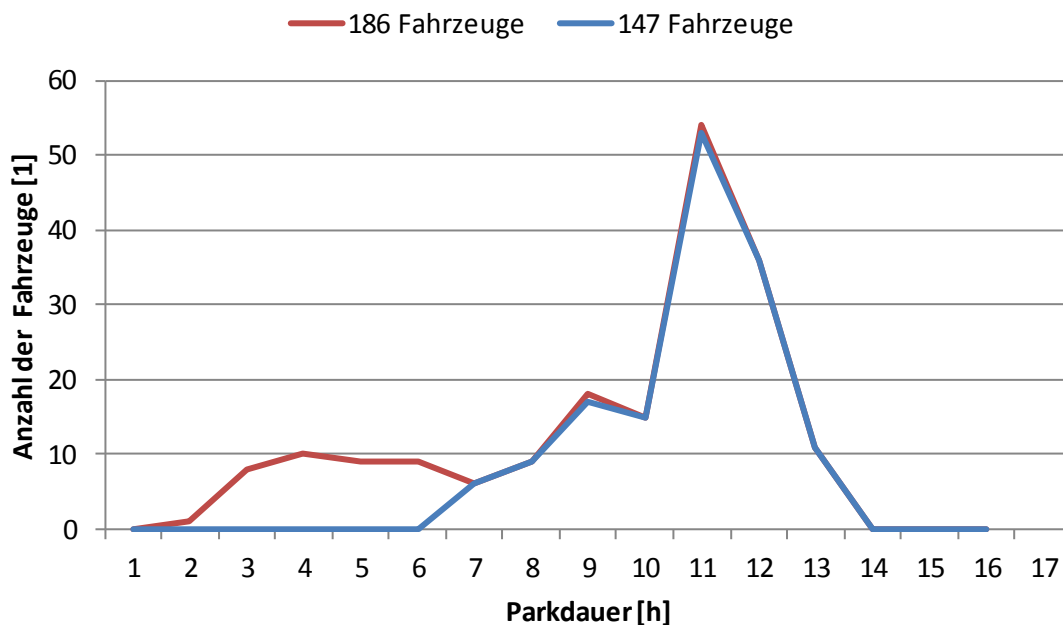


Abbildung 1: Verteilung der Parkdauer der 147 untersuchten Elektroautos (t=60min)

Abbildung 1 zeigt die Verteilung der untersuchten Fahrzeuge auf die Parkdauer. Wegen zu kurzer Parkzeit (<6 Stunden) entfallen 35 Fahrzeugdaten. Die 147 Fahrzeuge aus den weiter verwendeten Daten kommen aus den Bezirken Gänserndorf, Korneuburg, Mistelbach, Tulln, Wien Umgebung sowie aus Wien.

In Abbildung 2 sieht man jene Bezirke aus denen die Pendler zum Parkhaus in Leopoldau anreisen. Aufgrund der nördlich Lage des Parkhauses kommt wohl der Großteil der Pendler aus dem Weinviertel.

Getroffene Annahmen:

- Für die Simulation wurden Parkdaten vom Parkhaus Leopoldau aus dem Jahr 2010 verwendet.
- Die Simulation setzt voraus, dass die untersuchten Elektroautos zu Hause immer zu 100 % aufgeladen werden, bevor diese die Fahrt zum Parkhaus Leopoldau beginnen.
- Die Ladevorgänge und somit Auswirkungen auf das Stromnetz im Heimbereich werden nicht untersucht.

- Die Elektroautos laden stets dreiphasig mit 11 kW konstanter Leistung.
- Für den Kosten-Vergleich werden die Leistungs- und Arbeitsstrompreise verglichen. Es ist keine vollständige Investitionsrechnung für die jeweiligen Szenarien durchgeführt worden.

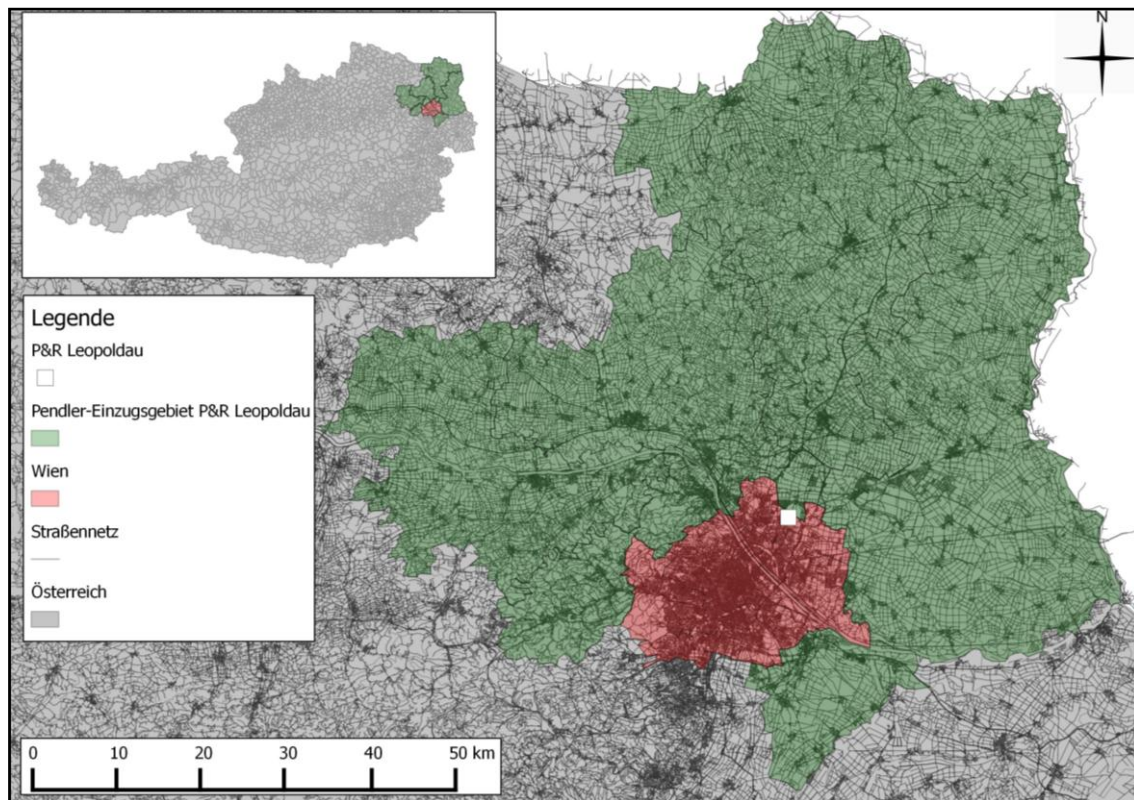


Abbildung 2: Herkunft der Pendler im Parkhaus Leopoldau

2.2 EVSim - Electric Vehicle Simulation

EVSim ist ein multi-agentbasiertes Simulationsprogramm. Elektroautos sind mit Batteriespeicher, temperaturabhängigen Verbrauch, Steckertyp, etc. modelliert. Der komplette Zyklus eines Ladevorgangs ist abgebildet und kann mittels Industriestandards basierenden Protokollen (OPC) verbunden werden, um z.B.: intelligente Ladestrategien zu testen und validieren. Basierend auf realen Verkehrsdaten (z.B.: aus der Mikrosimulation mittels MATSim) können die Interaktionen mit dem elektrischen Netz, intelligenter Ladesteuerung und Verkehrssituation dynamisch simuliert werden (Abbildung 3). D.h. Die Ladesteuerung ändert die Ladeleistung und damit die Spannung an der Ladesäule und damit auch die Energie in der Batterie und damit die Reichweite in der Fahrtsimulation [2].

Offline und Echtzeit Simulationen sind möglich. Damit können reale Prozesse angebunden werden, wie etwa für eine Controller-Hardware-in-the-Loop Validierung [3].

EVSim kann mit Hilfe von bestimmten Eingabeparametern den Gesamtladeenergiebedarf von Elektroautos berechnen. Benötigte Eingaben für die Simulation sind Ankunfts- und Abfahrtszeit der Elektroautos, Entfernung, Definition des Elektroautos und der Batterie, sowie die genaue Spezifikation der verwendeten Ladestationen. Um die Temperaturabhängigkeit der Batterie und somit den Einfluss auf die Reichweite der Elektroautos mit einzubeziehen, nutzt EVSim die Wetterdaten für die Simulation [3][4].

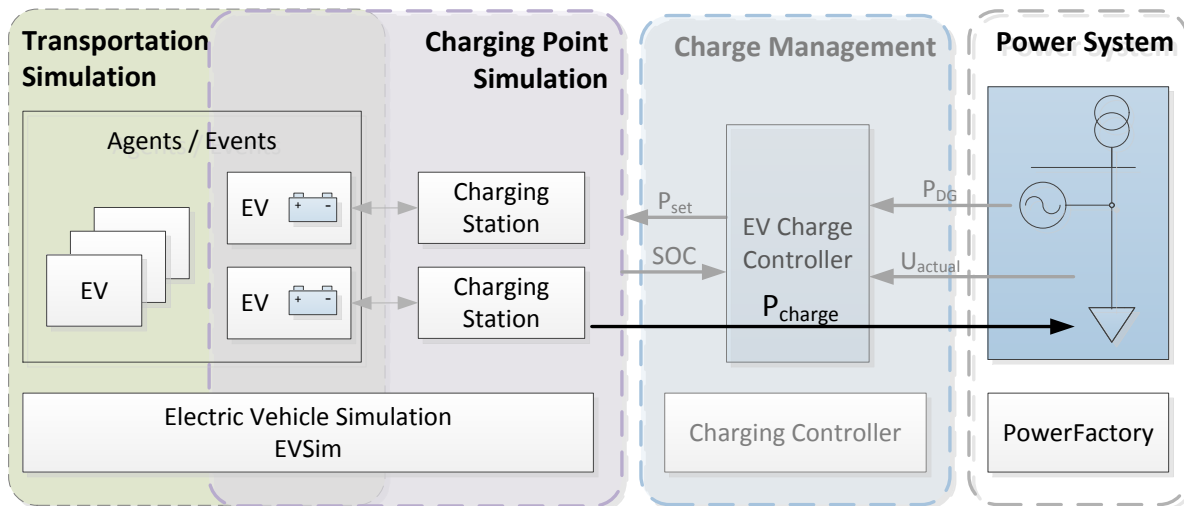


Abbildung 3: Architektur der Elektroautos-Simulationsumgebung EVSim: Eine Ladesteuerung kann den Ladevorgang dynamisch beeinflussen. Der Datenaustausch zwischen den Modulen ist mittels Schnittstellen realisiert (z.B.: OPC, TCP/IP) und hier nicht dargestellt [3].

2.3 Verkehrssimulation Bestimmung der Entfernungen

Anhand der Nummerntafeln der Autos können diese deren Bezirke zugeteilt werden. Um auf variierende Wegstrecken zu kommen, wurde ausgehend vom Zentroiden der jeweiligen Bezirke die Herkunft jedes Autos innerhalb des Bezirkes gleichverteilt (Abbildung 2).

Die Simulation der Wegstrecken aller Autos basiert auf einer multi-agentenbasierten Mikrosimulation und wurde mit dem Programm MATSim [5].

Durchgeführt. Hierzu werden ein reales Straßennetz und die aktuelle Verkehrslage berücksichtigt. Die Hin- und Rückfahrt der Elektroautos sind somit nicht ident. Es werden Umwege wie Einbahnstraßen, private Erledigungen oder persönliche Präferenzen, sowie die Verkehrslage bei der Wahl der Strecke mit einbezogen.

Diese aus der Mikrosimulation berechneten Fahrzeiten und Wegstrecken werden als Eingangsparameter für die EV Simulation mittels EVSim verwendet.

2.4 Berechnung der Netzanschlusskosten

Da das untersuchte Parkhaus Leopoldau im Netzbereich der Wiener Netze GmbH² liegt, basieren die nachstehenden Betrachtungen auf jenen Daten die von der Homepage am 17.08.2013 abgefragt wurden.

Für eine monetäre Betrachtung muss der Parkhausbetreiber vor allem die folgenden Kostenkomponenten abschätzen:

- *Netzbereitstellungsentgelt* (siehe
- Tabelle 1), einmalige Kosten unter der Annahme, dass die jemals maximal benötigte Netzanschlussleistung eingekauft wird.

² <http://www.wienernetze-strom.at>

- *Netznutzungsentgelt* (siehe Tabelle 2), laufende Kosten die sich
 - in *Leistungspreis*, die tatsächliche, monatlich maximal bezogene Leistung,
 - *Arbeitspreis*, die tatsächlich verbrauchte Energie (Arbeit),
 - und das *Netzverlustentgelt*, also jene Energie die der Netzbetreiber für die Verluste im Netz einheben darf, unterteilen.
- Entgelte für *Messleistungen*, wobei für eine kontinuierliche Analyse und Optimierung der Ladeleistungen eine direkte Lastprofil-Zählung erforderlich ist (50€ / Monat). Solch eine Zählung wird für Großabnehmer (>50 kW oder 100.000 kWh Verbrauch pro Jahr) vorgeschrieben.
- *Steuern* und *Abgaben* (siehe Tabelle 3 und Tabelle 4), wie unter anderem Ökostromgebühren und Verbrauchs- und Gebrauchsabgaben.
- Während alle vorhergehenden Komponenten regulierte, also von der E-Control (www.e-control.at) genehmigte, Kosten sind, ist einzig und allein der *reine Energie- oder Arbeitspreis* („Strompreis“) im liberalisierten Strommarkt Österreichs verhandelbar. Aus Gründen der Vereinfachung wird hier der aktuelle Börsenpreis für das Kalenderjahr, für eine Lieferung im Jahr 2014 (www.eex.com), plus einen Aufschlag von rund 10% angenommen [6].

Allfällige *Netzzutrittsgebühren* (einmaligen Kosten bei der Anschlusserrichtung) werden nicht berücksichtigt. Es wird eine ausreichende Netzanschlusskapazität als verfügbar vorausgesetzt. Für eine Kostenbetrachtung sind Investitionskosten nicht eingeschlossen – sondern nur die variablen Kosten wie Leistungspreis, Arbeitspreis Netz, und Arbeitspreis Energie.

Tabelle 1: Netzbereitstellungsentgelt der Wiener Netze GmbH [7]

Der Preis für das Netzbereitstellungsentgelt beträgt, je nach Netz:

	Netzebene 3	Netzebene 4	Netzebene 5	Netzebene 6	Netzebene 7
Kosten [€/kW]	10,29	52,76	90,26	113,81	235,47

Die Basis für die Verrechnung des zutreffenden Preisansatzes für das Netzbereitstellungsentgelt bildet:

bei Anlagen mit Leistungsmessung:

das vereinbarte Ausmaß der Netznutzung, jedoch jedenfalls 10 kW in der Ebene 7 bzw. in den anderen Ebenen die folgenden Mindestleistungswerte:

- Netzebene 6: 100 kW
- Netzebene 5: 400 kW
- Netzebene 4: 5000 kW

bei Anlagen ohne Leistungsmessung:

- bis zu einem Jahresstromverbrauch von 9.000 kWh für jede Anlage 4 kW
- bei einem Jahresstromverbrauch von 9.001 kWh – 15.000 kWh für jede Anlage 7 kW
- bei einem Jahresstromverbrauch von 15.001 kWh – 25.000 kWh für jede Anlage 10 kW.

Tabelle 2: Netznutzungsentgelte der Wiener Netze GmbH [8]

gültig ab 01.01.2013		Netznutzungsentgelte				
Grundpreis		Verbrauchspreis				Netzverlust-entgelte
Netzebene	€/kW/Jahr	WHT ³ Cent/kWh	WNT ⁴ Cent/kWh	SHT ⁵ Cent/kWh	SNT ⁶ Cent/kWh	Cent/kWh
3	24,72	0,31	0,31	0,31	0,31	0,064
4	26,52	0,48	0,48	0,46	0,46	0,1
5	37,08	0,79	0,79	0,79	0,79	0,159
6	44,88	1,16	1,16	1,16	1,16	0,272
7 gemessen	39,6	1,81	1,81	1,81	1,81	0,434
7 nicht gemessen	13,08 (€/Jahr)	3,66	3,66	3,66	3,66	0,434
7 unterbrechbar	0	3,79	1,75	3,79	1,75	0,434

Tabelle 3: Ökostrompauschale der Wiener Netze GmbH [9]

Ökostrompauschale	
Netzebene	€ pro Kalen-derjahr
3	35.000
4	35.000
5	5.200
6	320
7	11

³ **WHT** = Winter Hochtarifzeit: Zeitraum vom 1. Oktober 00.00 Uhr bis 31. März 24.00 Uhr des Folgejahres. Hochtarifzeit: 06.00 - 22.00 Uhr.

⁴ **WNT** = Winter Niedertarifzeit: Zeitraum vom 1. Oktober 00.00 Uhr bis 31. März 24.00 Uhr des Folgejahres. Niedertarifzeit: 22.00 - 06.00 Uhr des Folgetages.

⁵ **SHT** = Sommer Hochtarifzeit: Zeitraum vom 1. April 00.00 Uhr bis 30. September 24.00 Uhr. Hochtarifzeit: 06.00 - 22.00 Uhr.

⁶ **SNT** = Sommer Niedertarifzeit: Zeitraum vom 1. April 00.00 Uhr bis 30. September 24.00 Uhr. Niedertarifzeit: 22.00 - 06.00 Uhr des Folgetages.

Tabelle 4: Ökostromförderbeiträge der Wiener Netze GmbH [9]

Folgende Beträge gelten ab 01.01.2013:

gültig ab 01.01.2013	Ökostromförderbeitrag		
Netzebene	Leistung	Arbeit	Netzverlust-entgelte
	Euro/kW/Jahr	Cent/kWh	Cent/kWh
3	6,913	0,153	0,071
4	8,858	0,189	0,049
5	8,182	0,218	0,046
6	8,542	0,349	0,035
7 gemessen	9,36	0,537	0,095
7 nicht gemessen	3,412 Euro/Zählpunkt/Jahr	1,022	0,095
7 unterbrechbar	0	0,602	0,095

2.5 Fahrzeug und Batterietypen

In einer Studie des Österreichischen Vereins für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK) wurden folgende Elektroautos unter realen Bedingungen näher untersucht und daraus ein Durchschnitts-Elektroauto berechnet [10]:

- Mitsubishi i-MieV
- Mercedes Benz A-Klasse E-Cell
- Smart Fortow Electric Drive
- Nissan Leaf

Anhand des arithmetischen Mittels der Messergebnisse der vier Elektroauto-Modelle ergibt sich eine Spezifikation für ein Elektrofahrzeug, welches einem durchschnittlichen, derzeit am Markt verfügbaren Elektroauto entspricht.

In Tabelle 5 sind alle Fahrzeugdaten, sowie Annahmen betreffend der Ladung übersichtlich gelistet.

Tabelle 5: Fahrzeugdaten des Durchschnitt-Elektroautos [10]

Batterietyp:	Lithium-Ionen
Batteriekapazität:	23 kWh
Maximale Reichweite:	130 km
Stecker-Typ:	Mennekes [X17]
Maximaler Ladestrom	16 A / dreiphasig (bei 230 V)
Maximale Ladeleistung	11 kW

In Abbildung 4 zeigt sich die Temperaturabhängigkeit von Lithium-Ionen-Batterien. Im optimalen Fall, bei einer Umgebungstemperatur von 20°C ohne zu Heizen oder zu Kühlen, kann das durchschnittliche Elektroauto 130 km ohne Zwischenladung zurücklegen.

Vergleicht man diesen Wert mit jenen des schlechtesten Falles, bei einer Umgebungstemperatur von -20°C (Verwendung der Heizung), verringert sich die Reichweite des Elektroautos um 46,2 % auf lediglich 70 km.

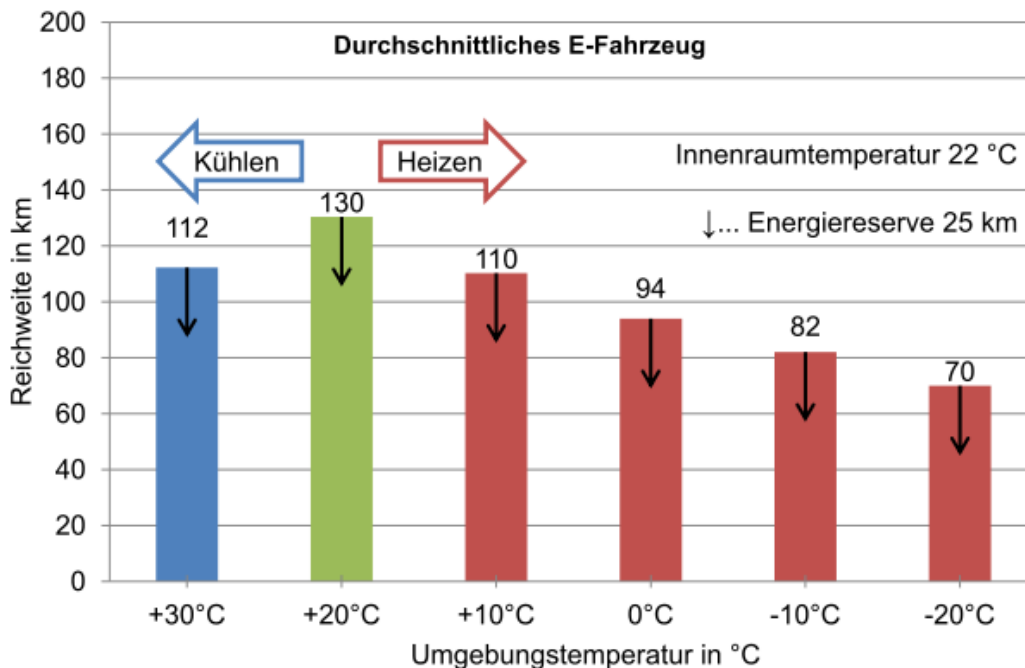


Abbildung 4: Reichweite des durchschnittlichen E-Fahrzeuges in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur im Eco-Test bei einer Fahrbahnneigung von +/-2 % [10]

Aus der in Abbildung 4 gezeigten Aufschlüsselung der Reichweite je nach Umgebungstemperatur, lässt sich der benötigte Verbrauch je km für verschiedene Umgebungstemperaturen errechnen und ist für die temperaturabhängige Simulation in EVSim von Bedeutung.

2.6 Szenarien

Die Umgebungsbedingungen (Temperatur) wirken sich erheblich auf die nutzbare Batterie-Kapazität aus und fließen somit erheblich in die Simulation ein. Auf der anderen Seite wird untersucht, welche Auswirkungen die Limitierung der Gesamtladeleistung im Parkhaus Leopoldau für die Elektroauto-Pendler aus Niederösterreich in Bezug auf deren Reichweite mit sich bringt.

Da die allgemeine Entwicklung der Elektromobilität, vor allem aber die Akzeptanz der Endkunden für neue und kostenintensivere Technologien, schwer einzuschätzen ist [11], werden konservative Szenarien entworfen.

Die Fahrzeugparameter für das Jahr 2013 und 2020 unterscheiden sich nicht. Um die entworfenen Szenarien untereinander vergleichbarer zu machen wird angenommen, dass nicht die Technologie sich innerhalb der nächsten Jahre verbessert, sondern im Vergleich zum Jahr 2013 günstiger wird.

Beschreibung der Simulationsparameter

Jahr 2013:

Für alle Simulationen im Jahr 2013 wurden zufällig 5 aus den 147 Parkhaus-Datensätzen gewählt und verwendet. Die Gesamtfahrleistung der fünf untersuchten Elektroautos beträgt etwa 390 km pro Tag.

Jahr 2020:

Für alle Simulationen im Jahr 2020 wurden alle 147 Parkhaus-Datensätzen verwendet. Die Gesamtfahrleistung aller 147 untersuchten Elektroautos beträgt etwa 10.000 km pro Tag.

Unkontrolliertes Laden:

Das unkontrollierte Laden bedeutet, dass alle Elektroautos sofort nach der Ankunft im Parkhaus mit der maximalen Ladeleistung aufgeladen werden.

Kontrolliertes Laden:

Beim kontrollierten Ladevorgang, werden die Elektroautos nicht zwingend sofort nach Ankunft im Parkhaus aufgeladen. Die Netzanschlussleistung des Parkhauses Leopoldau wird begrenzt. Ist die Leistungsbegrenzung erreicht, werden stets die Elektroautos geladen, welche aktuell die geringste Batteriekapazität aufweisen.

Worst Case:

Im ungünstigsten Fall werden die Wetterdaten vom 18.12.2010 für die Simulation herangezogen. Der kälteste Wintertag im Jahr sorgt dementsprechend für den höchsten Energiebedarf und damit für die geringste nutzbare Speicherkapazität der Batterie.

Best Case:

Im besten Fall werden die Wetterdaten vom 27.05.2010, einem Frühlingstag mit Durchschnittstemperaturen von ca. 20°C, für die Simulation verwendet. Die nutzbare Speicherkapazität der Batterie hat in diesem Fall ihr Maximum erreicht.

3 Simulation Ladevorgang und zurückgelegter Fahrstrecken

Für die Szenarien im Jahr 2013 werden aufgrund der Marktdurchdringungen die Simulationen mit 5 Autos durchgeführt. Wesentlich aussagekräftiger sind die Simulationen für das Jahr 2020. Bei der Verwendung von 147 Elektrofahrzeugen kann man den Nutzen von der kontrollierten Ladestrategie erkennen.

Die Quantisierung der Kurven begründet sich auf der Tatsache, dass die Simulationen im 5 Minuten Intervall durchgeführt werden.

3.1 Vergleich: Unkontrolliertes Laden (2013)

Das Diagramm in Abbildung 5 veranschaulicht, dass bei unkontrollierter Ladung von fünf Elektrofahrzeugen im Worst Case eine Spitzenleistung von 44 kW notwendig ist (fast 9 kW/Auto).

Bei unkontrollierter Ladung von fünf Elektroautos im Best Case ist aufgrund des niedrigeren Energiebedarfs, bedingt durch die optimalen Umgebungstemperaturen, lediglich eine Spitzenlast von 33 kW notwendig. Hier sind die fünf Elektroautos bereits 20 Minuten früher um 8:45 Uhr vollständig aufgeladen. Es zeigt sich, dass aufgrund der saisonalen Temperaturunterschiede die Spitzenlast im Best Case 75 % bezogen auf den Worst Case ausmacht.

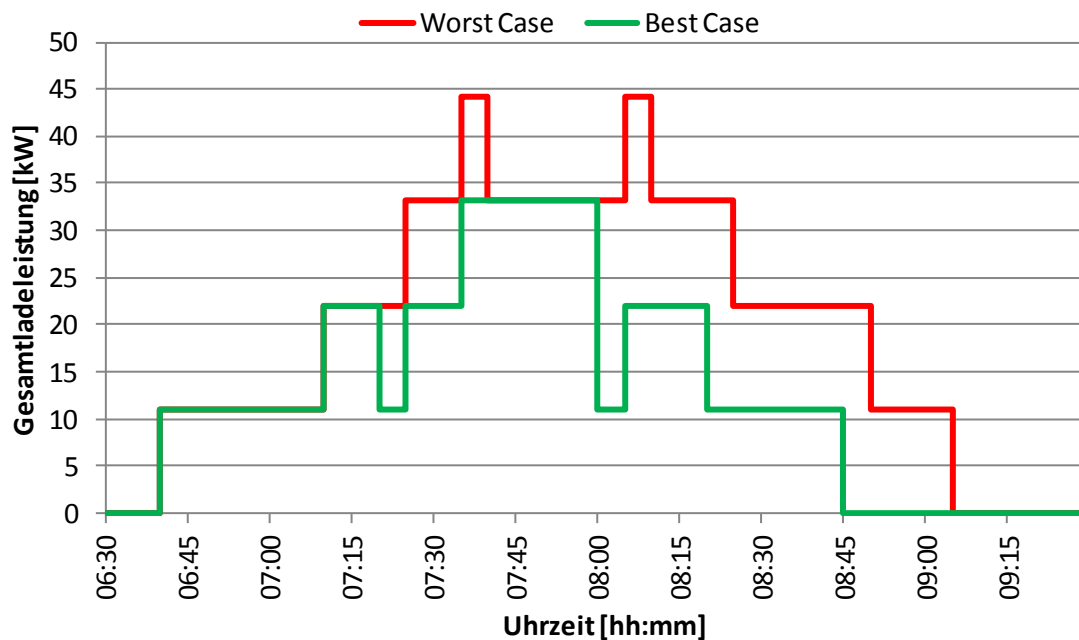


Abbildung 5: Vergleich der unkontrollierten Ladung von fünf Elektroautos im Szenario 2013

3.2 Kontrolliertes Laden im Worst Case (2013)

Abbildung 6 zeigt die zeitlichen Auswirkungen auf die Ladedauer im Falle einer Limitierung der Netzanschlussleistung am kältesten Wintertag im Szenario 2013. Bei kontrollierter Ladung von 5 Elektrofahrzeugen im Worst Case wurde die Leistungsbegrenzung P_{MAX} auf 10 kW, sowie auf 6 kW eingestellt.

Die fünf untersuchten Elektroautos sind demnach um 12:10 Uhr aufgeladen. Die Elektroautos werden in diesem Fall nacheinander dreiphasig mit max. 14,5 A anstatt mit 16 A geladen. Wird die Leistungsbegrenzung P_{MAX} auf 6 kW eingestellt, sind erst um 15:05 Uhr alle Elektroautos voll aufgeladen. Der maximale dreiphasige Ladestrom verringert sich bei 6 kW Ladeleistung auf ca. 8,7 A.

Weder bei der unkontrollierten Ladung noch bei den beiden Varianten mit Leistungsbegrenzung wird eine Batterie der untersuchten Elektroautos bei der Rückfahrt vollkommen entladen.

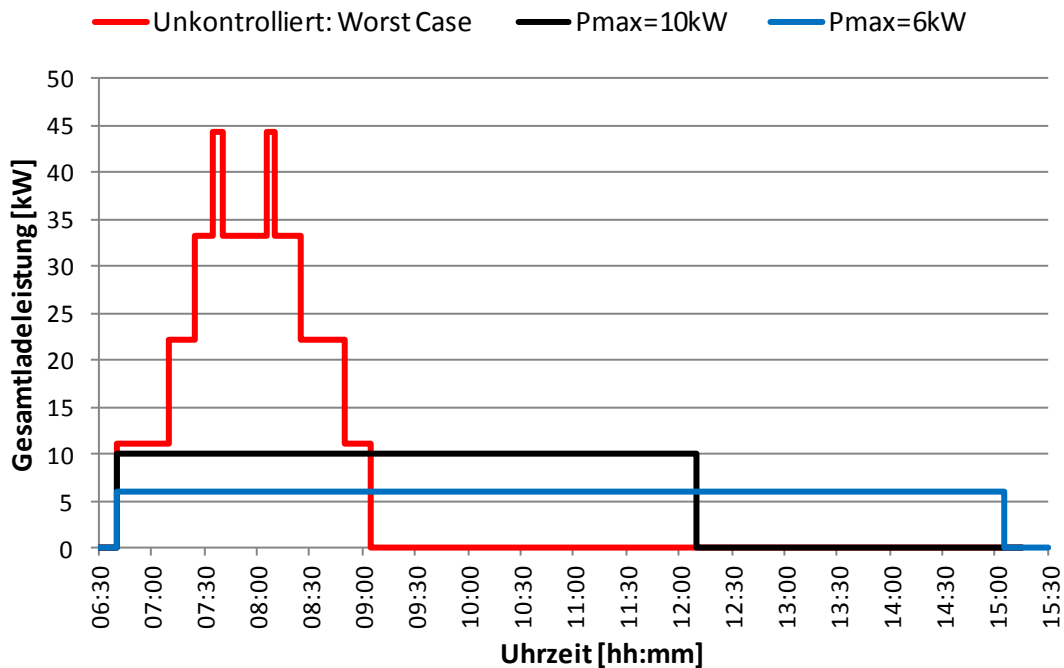


Abbildung 6: Auswirkungen auf die Gesamtladeleistung von fünf Elektroautos bei kontrollierter Ladung am kältesten Wintertag im Szenario 2013 (Worst Case)

3.2.1 Kontrolliertes Laden im Best Case (2013)

Die kontrollierte Ladung im Best Case ähnelt der vorangegangenen Simulation. Der Ladevorgang ist bei der Begrenzung von P_{MAX} auf 10 kW um über 2 Stunden früher als im Worst Case (siehe Abbildung 6), bereits um 10:00 Uhr, abgeschlossen.

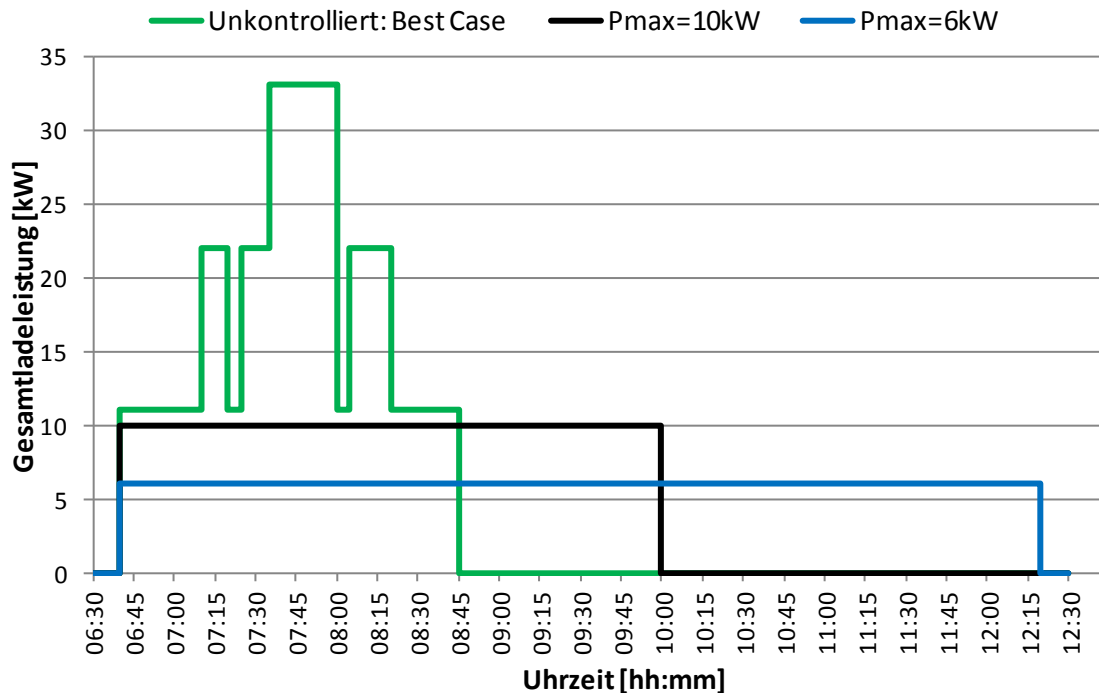


Abbildung 7: Auswirkungen auf die Gesamtladeleistung von fünf Elektroautos bei kontrollierter Ladung bei +20°C Umgebungstemperatur im Szenario 2013 (Best Case)

3.3 Vergleich: Unkontrolliertes Laden (2020)

In Abbildung 8 erkennt man, dass sich die Ladedauer der zwei untersuchten Varianten kaum unterscheidet. Das erste Elektroauto beginnt den Ladevorgang um 5:05 Uhr. Im Sommer (Best Case) wird der letzte Ladevorgang um 12:20 Uhr, im Winter (Worst Case) 20 Minuten später um 12:30 Uhr, beendet.

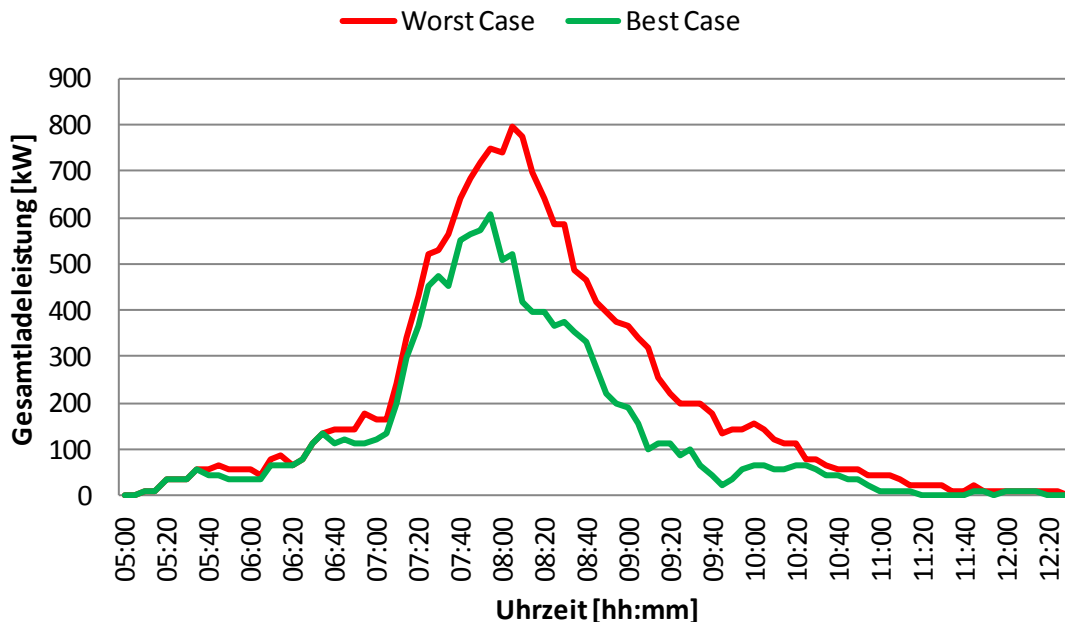


Abbildung 8: Vergleich der unkontrollierten Ladung von 147 Elektroautos im Szenario 2020

Der Energiebedarf für die Ladung aller Elektroautos ist im Sommer im Vergleich zum Winter um 33,4 % geringer. Die benötigte Spitzenleistung beträgt um 08:05 Uhr im Worst Case 794,88 kW. Zu diesem Zeitpunkt werden 72 Fahrzeuge geladen.

Ebenfalls kommt es in diesem Szenario zu keiner vollständigen Entladung eines Elektroauto während der Rückfahrt.

3.4 Kontrolliertes Laden im Worst Case (2020)

Angefangen bei einer Leistungsbegrenzung von $P_{MAX} = 500$ kW werden in sukzessiven Schritten jene Grenzwerte gesucht, bei welchen die Pendler nicht mehr ihre tägliche Fahrstrecke zurücklegen können.

Bei der Regelung auf $P_{MAX} = 100$ kW schafft es ein Elektroauto wegen zu geringer Batteriekapazität nicht mehr den Rückweg. Die Ladung des letzten Elektroautos endet bei dieser Variante um 17:55 Uhr.

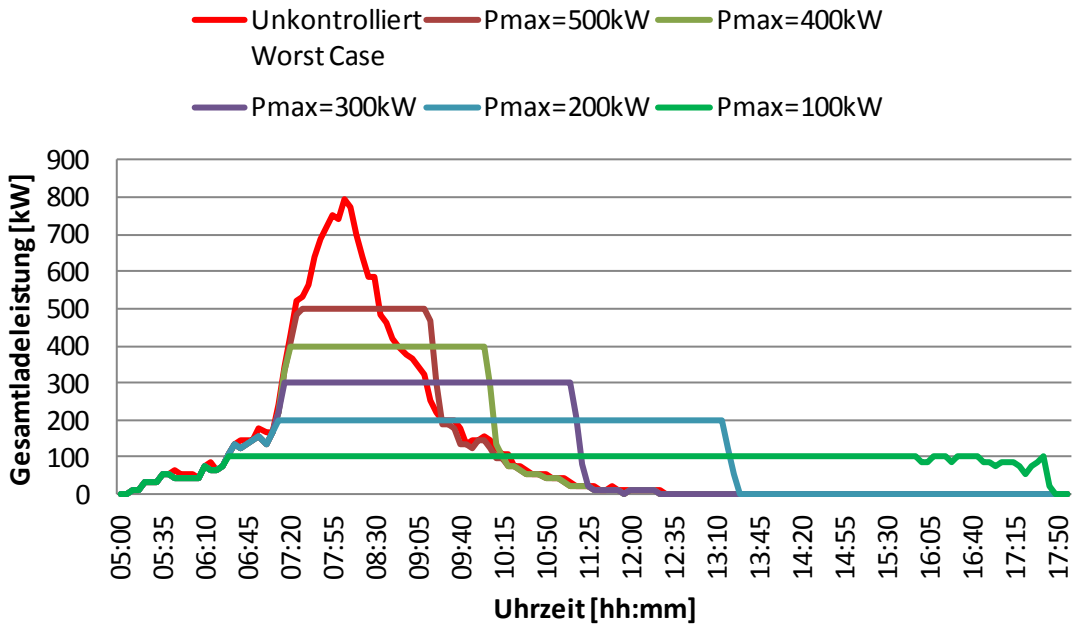


Abbildung 9: Auswirkungen auf die Gesamtladeleistung bei kontrollierter Ladung von 147 Elektroautos am kältesten Wintertag im Szenario 2020 (Worst Case)

Damit eine Sensitivitätsanalyse zur Untersuchung der maximalen Leistungslimitierung, bezogen auf die Anzahl der stehengebliebenen Elektroautos, erstellt werden kann, wird ausgehend vom Grenzwert $P_{MAX} = 100 \text{ kW}$ in Schritten zu je 10 kW das Szenario erneut simuliert.

Das Diagramm in Abbildung 10 weist die detaillierten Ladekurven der Leistungsbegrenzungen P_{MAX} von 30 kW bis 100 kW aus.

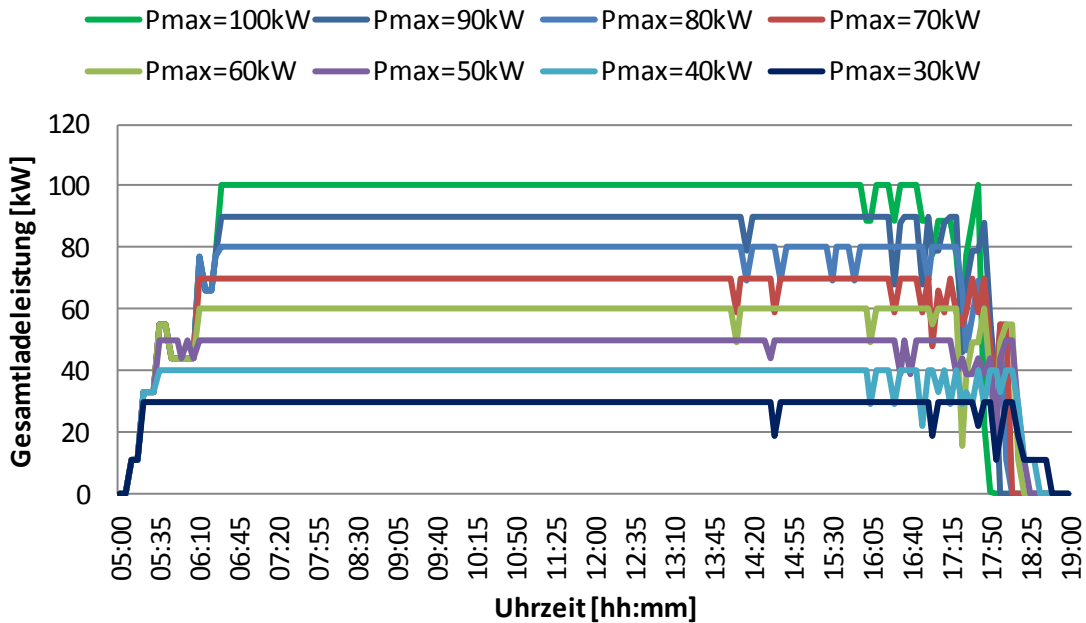


Abbildung 10: Auswirkungen auf die Gesamtladeleistung bei kontrollierter Ladung am kältesten Wintertag im Szenario 2020 (Worst Case)

Für dieses Szenario wurde auch die Leistungsbegrenzung $P_{MAX} = 0$ kW simuliert. Das bedeutet, kein Elektroauto wurde im Parkhaus Leopoldau geladen. In diesem Fall kommen von den 147 untersuchten Elektroautos 48 Fahrzeuge nicht mehr nach Hause. Dies entspricht 32,65 % der Gesamtanzahl der Fahrzeuge.

3.5 Kontrolliertes Laden im Best Case (2020)

Abbildung 11 zeigt, dass sich die Gesamtladedauer bei einer Leistungsbegrenzung von $P_{MAX} = 100$ kW um knapp 3h:30min im Vergleich zur unkontrollierten Ladung verlängert.

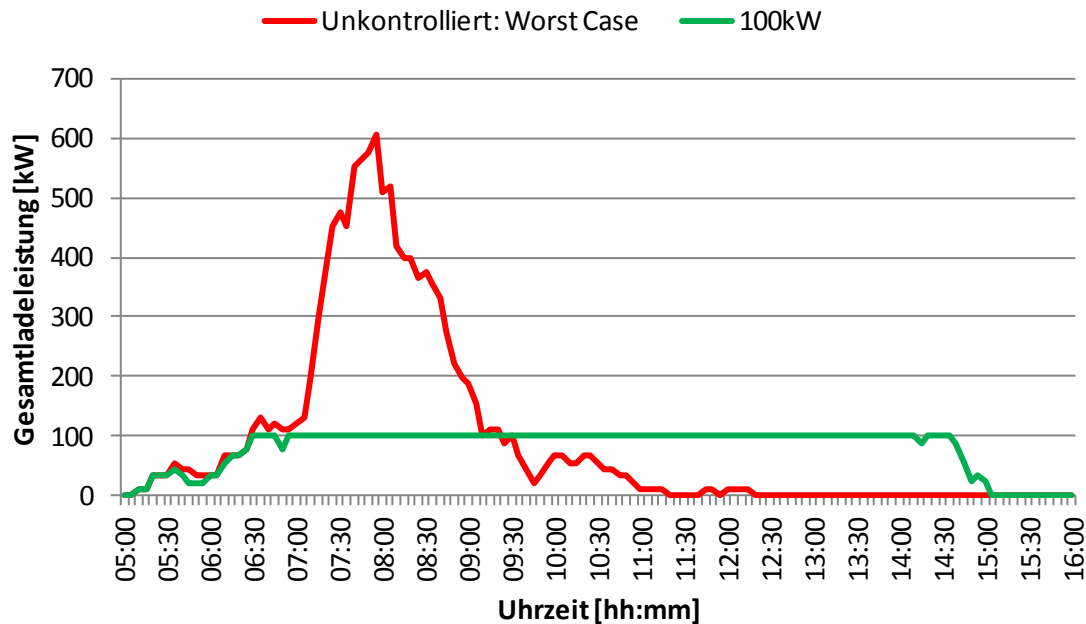


Abbildung 11: Auswirkungen auf die Gesamtladeleistung bei kontrollierter Ladung bei +20°C Umgebungstemperatur im Szenario 2020 (Best Case)

Bei der Begrenzung der Anschlussleistung des Parkhauses auf $P_{MAX} = 100$ kW bewältigen weiterhin alle Pendler mit deren Elektroautos die tägliche Wegstrecke.

Bei einer Leistungsbegrenzung auf $P_{MAX} = 0$ kW (keine Lademöglichkeit), sind lediglich 12 Fahrzeuge (8%) von einer entleerten Batterie betroffen.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.1 Auswirkung der Begrenzung der Anschlussleistung auf die Reichweite

Am kältesten Wintertag im Jahr 2020 wird bei unkontrollierter Ladung von 147 Elektroautos eine maximale Gesamtladeleistung von rund 770 kW benötigt. Die Untersuchung zeigt, dass diese Leistung bei einer kontrollierten Ladung auf 90 kW limitiert werden kann, und dennoch nur unter ein Prozent der 147 Fahrzeuge mit zu wenig Energie für die Heimfahrt geladen werden (Abbildung 12).

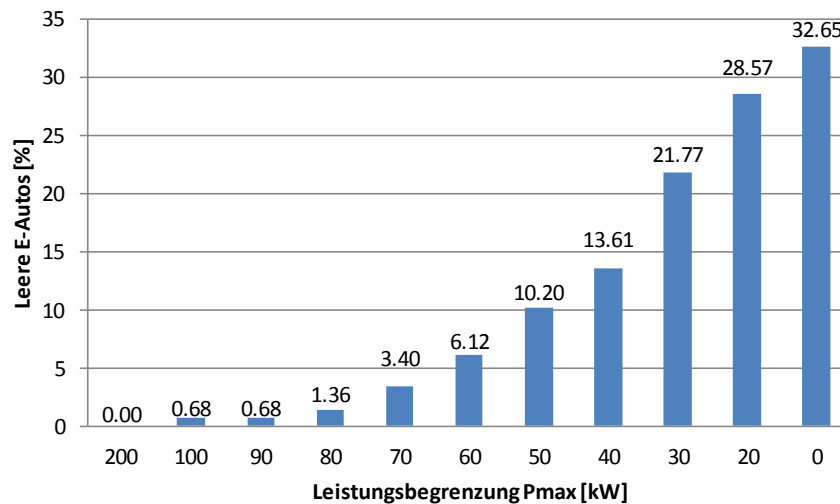


Abbildung 12: Sensitivitätsanalyse: Anteil an leeren Elektroautos bei stufenweiser Begrenzung der Netzanschlussleistung (von P_{MAX}=200 kW bis P_{MAX}=0 kW) im Jahr 2020 (Worst Case)

4.2 Abschätzung der laufenden Kosten

Mithilfe der in Kapitel 2.4 dargestellten Kostenkomponenten lassen sich nun verschiedene, vereinfachte Kostenszenarien errechnen. Vereinfacht deshalb, weil allfällige weitere Netzananschlussgebühren, Kosten für elektrische Installationen, und dergleichen außer Acht gelassen werden.

In Tabelle 6 sind die Kostenabschätzungen der Szenarien 2020 mit kontrollierter und unkontrollierter Ladung im Worst Case (Winter) dargestellt.

Die laufenden Kosten bei unkontrollierter Ladung im Jahr 2020 betragen rund 94.000 Euro. Die Kostenabschätzung einer kontrollierten Ladestrategie legt dar, dass die Einsparungen bei den laufenden Kosten im Vergleich zur unkontrollierten Ladung rund 60 % betragen und sich jährlich auf ca. 56.000 Euro belaufen.

Tabelle 6: Kostenabschätzung für den Stromverbrauch im 1. Betriebsjahr [eigene Darstellung]

Kostenabschätzung im 1. Betriebsjahr				
Quelle: Wien Energie, Stand 1.1.2013				
		Unkontrolliertes Laden, Netzebene 4	Kontrolliertes Laden, Netzebene 6	Annahmen
Ladeleistung	[kW]	769,12	90	
Ladeenergie	[kWh/Jahr]	383.479,92	383.479,92	konservative Abschätzung
Netzbereitstellungs- entgelt	[€/kW]	52,76	113,81	einmalige Kosten
Netznutzungsentgelt - Leistungspreis	[€/kW/Jahr]	26,52	44,88	
Netznutzungsentgelt - Arbeitspreis gemittelt	[€ct/kWh]	0,47	1,16	Winterbedarf doppelt so hoch wie im Sommer
Netzverlustentgelt	[€ct/kWh]	0,10	0,27	
Messleistung	[€/Monat]	50,00	50,00	
Elektrizitätsabgabe	[€ct/kWh]	1,5	1,5	
Ökostrompauschale	[€/Jahr]	35.000	320	
Ökoförderbeitrag - Leistung	[€/kW/Jahr]	8,858	8,542	
Ökoförderbeitrag - Arbeit	[€ct/kWh]	0,189	0,349	
Ökoförderbeitrag - Netzverluste	[€ct/kWh]	0,049	0,035	
Arbeitspreis Energie	[€ct/kWh]	4,5	4,5	konservative Abschätzung Börse plus Versorgeraufschlag
Gebrauchsabgabe Stadt Wien	[%]	6	6	vom Netto-Wert der zuvor gelisteten Positionen
Netzbereitstellungs- kosten	[€]	37.407,54	10.242,90	einmalig
Laufende Kosten	[€/Jahr]	94.265,82	37.842,82	jedes Jahr

In Tabelle 7 zeigt dass sich beide Kostenkurven niemals überschneiden werden, weshalb die kontrollierte Ladestrategie tatsächlich immer Vorteile bringt – kurz gesagt, weil die Ladeenergie (Arbeit) gleichmäßiger über den Tag verteilt wird (siehe Abbildung 6) und somit durch die niedrigere maximale Ladeleistung die Kosten für alle leistungsabhängigen Komponenten drastisch sinken.

Tabelle 7: Kostenvergleich für den Stromverbrauch über die ersten 5 Betriebsjahre

Jahr	Szenarien - kumulierte Kosten	
	Unkontrolliertes Laden Pmax = 800 kW	Kontrolliertes Laden Pmax = 90 kW
1	131.673	48.086
2	225.939	85.929
3	320.205	123.771
4	414.471	161.614
5	508.737	199.457

5 Zusammenfassung

Diese Arbeit befasst sich mit der Untersuchung der Park & Ride Anlage in Leopoldau, am Stadtrand von Wien, im Hinblick auf vermehrte Ladevorgänge von Elektroautos.

Für einen potentiellen Betreiber von Elektroladestationen in diesem Parkhaus ist es essentiell zu wissen mit welcher Gesamtladeleistung man rechnen muss und vor allem ob diese notwendige Leistung mittels intelligenter Ladestrategien optimiert werden kann.

Im Speziellen wurde diese Untersuchung auf Pendler aus Niederösterreich ausgelegt, da deren Fahrprofil hervorragend für die Nutzung von Elektroautos passend wäre.

Anhand von historischen Parkdaten dieser Parkanlage wurden Simulationen für die Jahre 2013 und 2020 durchgeführt.

Am kältesten Wintertag im Jahr 2020 wird bei unkontrollierter Ladung von 147 Elektroautos eine maximale Gesamtladeleistung von rund 770 kW benötigt. Die Untersuchung zeigt, dass die Ladeleistung im Parkhaus auf 90 kW limitiert werden kann, und dennoch nur unter ein Prozent der 147 Fahrzeuge mit zu wenig Energie für die Heimfahrt geladen werden.

Der Vergleich der zwei Szenarien auf Basis der Energiekosten legt ein hohes Einsparpotential bei Verwendung von kontrollierter Ladestrategie dar.

Der Unterschied der laufenden Kosten beläuft sich jährlich auf mehr als 56.000 Euro (exklusive der Netzbereitstellungskosten) oder ca. 60 % der Gesamtstromkosten.

6 Referenzen

- [1] M.Ernst, „Pendlererhebung/KFZ-Zählung P&R Garagen Wien“, TU Wien - Verkehrsplanung, 2010.
- [2] M. Stifter, S. Übermasser, und S. Henein, „Agent-Based Impact Analysis of Electric Vehicles on a Rural Medium Voltage Distribution Network Using Traffic Survey Data“, in Highlights on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems, J. M. Corchado, J. Bajo, J. Kozlak, P. Pawlewski, J. M. Molina, V. Julian, R. A. Silveira, R. Unland, und S. Giroux, Hrsg. Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 405–416.
- [3] M. Stifter und S. Übermasser, „Dynamic simulation of power system interaction with large electric vehicle fleet activities“, in PowerTech (POWERTECH), 2013 IEEE Grenoble, 2013, S. 1–6.
- [4] Stefan Übermasser, Matthias Stifter, Daniel Burnier, und Benoit Bletterie, „Analysing different charging strategies for using electric vehicles in multi-story car parks as distributed storage and generation systems: A multi-agent based approach“, in Cigre Symposium, Lisbon, 2013.
- [5] „Agent-Based Transport Simulations | MATSim“. [Online]. URL: <http://www.matsim.org/>. [Zugriff am: 10 September 2013].
- [6] Mitarbeiter der Firma Group Procurement, Mondi AG, Persönliches Interview am: 14.08.2013
- [7] Wiener Netze GmbH, „Netzbereitstellungsentgelt“, [Online]. URL: <http://www.wienernetze-strom.at/eportal/ep/channelView.do/pageTypeld/48046/channelId/-44536>. [Zugriff am 17 August 2013].
- [8] Wiener Netze GmbH, „Netznutzungs- und Netzverlustentgelte“, [Online]. URL: <http://www.wienernetze-strom.at/eportal/ep/channelView.do/pageTypeld/48046/channelId/-44534>. [Zugriff am 17 August 2013].
- [9] Wiener Netze GmbH, „Entgelt für Messleistungen“, [Online]. URL: <http://www.wienernetze-strom.at/eportal/ep/channelView.do/pageTypeld/48046/channelId/-44535>. [Zugriff am 17 August 2013].
- [10] B. Geringer und W. K. Tober, „Batterieelektrische Fahrzeuge in der Praxis“, ÖVK (Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik), Wien, 2012.
- [11] P. Fong, „Masterthese: Kritische Betrachtung des Themas Elektromobilität anhand eines Use-Cases“, Technikum Wien, Wien, 2012.