

Erkenntnisse der Messung von Ladevorgängen der Elektrofahrzeuge in der Modellregion „e-pendler in niederösterreich“

Dominik Fasthuber, Markus Litzlbauer

TU Wien / Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe, Gußhausstraße 25/370-1, 1040 Wien, Tel.: +43(0)1/58801-370112, E-Mail: fasthuber@ea.tuwien.ac.at, www.ea.tuwien.ac.at

Kurzfassung: Um die Auswirkungen von zukünftig integrierten Elektrofahrzeugen auf das Verteilnetz untersuchen zu können, ist es unabdingbar diese so gut als möglich zu analysieren und anhand mathematischer Modelle abbilden zu können. Bevor jedoch erste Modelle entstehen können, müssen zunächst wichtige Messungen von Ladevorgängen an Elektrofahrzeugen durchgeführt werden. Hierzu dienen neben den allgemeinen Informationen, welche aus der Literatur entnehmbar sind, auch vertiefendere Untersuchungen und Parameteridentifikationen. Gerade die Parameter Temperatur, Ladestand und Ladeleistung sowie deren Auswirkung auf die Ladestrategie werden behandelt.

Nachfolgende Ausführungen sollen die Erkenntnisse der Modellregion „e-Pendler in niederösterreich“ systematisch zu dieser Thematik aufarbeiten und so einem breiten Publikum zugänglich gemacht werden. Dazu wird zunächst eine kurze Einleitung gegeben und auf die Rahmenbedingungen der Modellregion hingewiesen. Im Kapitel Methodik wird die Herangehensweise an die Aufgabenstellung erörtert und schließlich mit den Auswertungen beziehungsweise den Ergebnissen der Untersuchungen abgeschlossen.

Keywords: Elektromobilität, Ladevorgänge, Ladestrategie, Ladeleistung, Batterietemperatur

1 Einleitung

Niederösterreich räumt der Elektromobilität einen hohen Stellenwert ein. Konzepte und Strategien liefern konkrete Zielvorgaben, zahlreiche Initiativen – allen voran „e-mobil in niederösterreich“ – und Förderungen in Millionenhöhe haben dazu geführt, dass bereits vor Beginn der Durchführung der Modellregion „e-pendler in niederösterreich“ eine Reihe von Projekten und Initiativen umgesetzt werden konnten.

Mit der Modellregion „e-pendler in niederösterreich“ wurde ein weiterer Schritt gesetzt, um neue Ansätze - vor allem in der multimodalen Elektromobilität - speziell für Pendler und Pendlerinnen zu erproben und im Zuge der Durchführung zu verbreiten.

Im Rahmen der Begleitforschung der Modellregion wurde neben anderen Themen, auch ein Arbeitspaket zum Thema „Ladeverhalten und Leistungsbedarf für das Laden“ definiert. Dieses liefert konkrete Erkenntnisse über den Leistungsbedarf bzw. das Leistungsprofil der in der Modellregion vorkommenden Elektroautos sowie deren Ladeverhalten. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für weiterführende Untersuchungen, wie die Ermittlung der Netzauswirkungen von Elektrofahrzeugen.

2 Methodik

Bei Antriebsbatterien von Elektrofahrzeugen wird heutzutage die Lithium-Ionen-Technologie am häufigsten verwendet. Diese bietet den Vorteil einer guten Leistungs- sowie Energiedichte bei vertretbarem Gewicht. Prinzipiell verhält sich ein Ladevorgang eines Lithium-Ionen-Akkumulators wie in Abbildung 1 dargestellt. Dieses Verfahren wird in der Fachliteratur mit CCCV-bezeichnet. Dabei wird in der ersten Phase des Ladevorgangs der Strom konstant gehalten (Constant Current). Diese Phase hält bis zum Erreichen der Ladeschlussspannung an und geht danach in eine Phase der konstanten Spannungshaltung über (Constant Voltage). Meist wird bei Erreichen eines minimalen Ladestromes der Akkumulator als vollgeladen bewertet und der Ladevorgang beendet.

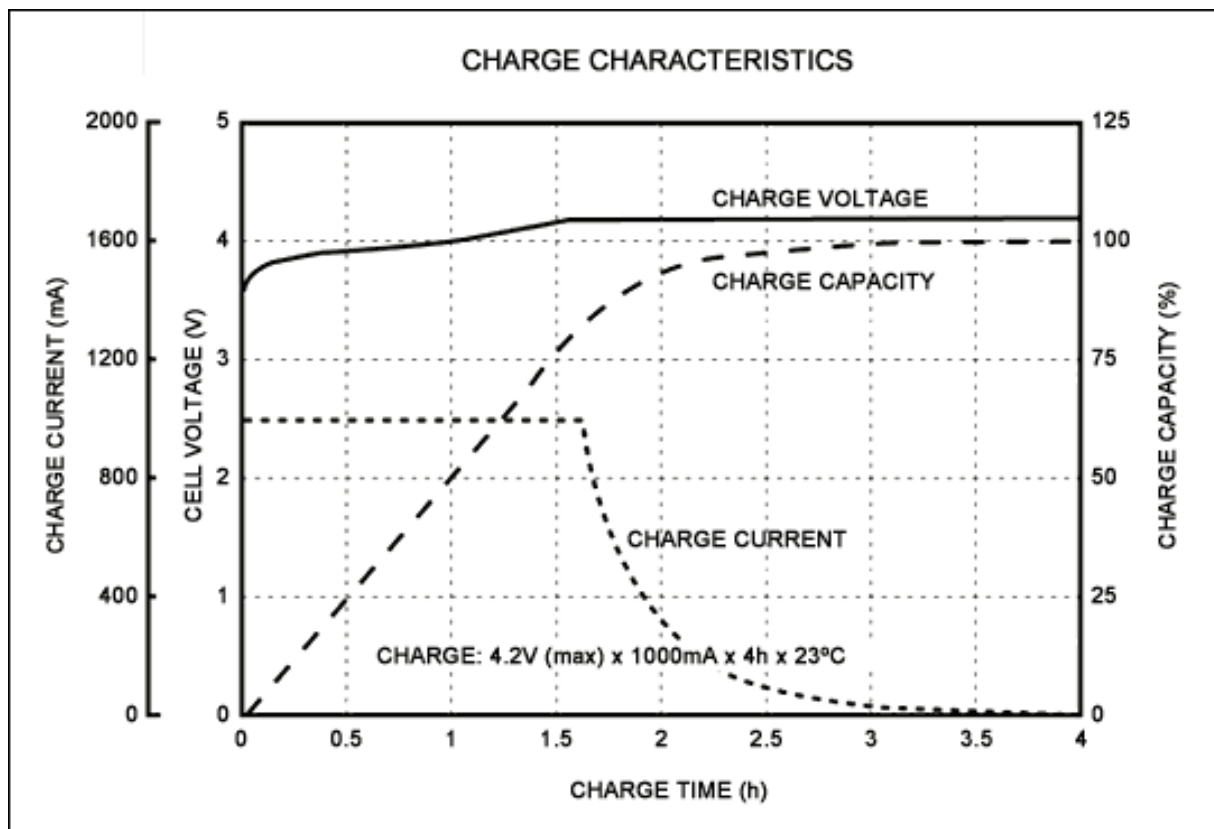


Abbildung 1: CCCV - Ladeverfahren mit Konstantstrom- und Konstantspannungsphase (Quelle: SONY)

Um das Ladeverhalten zu bestätigen bzw. genauer zu erfassen, wurden mehrere Messungen mit verschiedensten maximalen Ladeleistungen (u.a. 3,7kW, 22kW und 50kW; AC und DC) an unterschiedlichen Fahrzeugen (Renault ZOE, Nissan Leaf, BMW i3 etc.) durchgeführt. Für die Messungen der Elektroautos wurde ein umfangreiches Sortiment an Messequipment verwendet. Neben den zu messenden elektrischen Größen wie Phasenströme, Phasenspannungen, Wirk- und Blindleistung wurden ebenfalls die Umgebungstemperatur und wenn möglich die Fahrzeugbatterietemperatur sowie die Ladezustände (State of Charge ; SOC) mitprotokolliert. Das Aufnehmen der Umgebungstemperatur erfolgte mit einem handelsüblichen Temperaturlogger.

Das Erfassen der Fahrzeugbatterietemperatur gestaltete sich jedoch als weitaus schwieriger, da das Fahrzeug standartmäßig keine Ausgabe dieses Parameters über den Bordcomputer liefert. Der Nissan Leaf erlaubt allerdings – über eine geeignete Software-Applikation mit Hilfe

eines OBD2-Steckers – das Auslesen der Temperatursensoren in der Fahrzeugbatterie. Ferner kann der batterieinterne SOC-Stand ermittelt werden. Dieser bezieht sich auf die verbaute Batteriekapazität (Brutto-Kapazität) und unterscheidet sich somit vom im Fahrzeug angezeigten SOC-Stand. Die nutzbare Batteriekapazität (Netto-Kapazität) entspricht dabei ungefähr 80 bis 90% der Bruttokapazität. Diese Einschränkung soll die Lebensdauer der Batterien – durch Vermeidung von Tiefentladung sowie Überladung – verlängern.

Eine beispielhafte Bestimmung der Fahrzeugtemperatur zeigen die Abbildungen Abbildung 2 und Abbildung 3. Dabei wurde bei der Abfahrt aus einer Garage eine Batterietemperatur des Fahrzeuges (Nissan Leaf) von ca. 20°C ermittelt. Nach einer kurzen Bewegungsfahrt (ca. 15 Minuten) wurde das Fahrzeug wieder in der Garage abgestellt und eine Temperaturerhöhung um 4°C erfasst. Gleichzeitig wurde der SOC während dieser Fahrt um knapp 26%-Punkte verringert.

Da neben dem Einflussparameter „Ladeleistung“ auch die (Zell-)Temperatur der Batterie sowie der aktuelle Ladezustand Einfluss auf das Ladeprofil haben, wurden ebenfalls Messungen unter besonderer Berücksichtigung und Variation dieser Parameter durchgeführt. Somit konnte eine breite Palette der möglichen Analysen abgedeckt und das Verständnis dieser Technologie weiter vertieft werden.

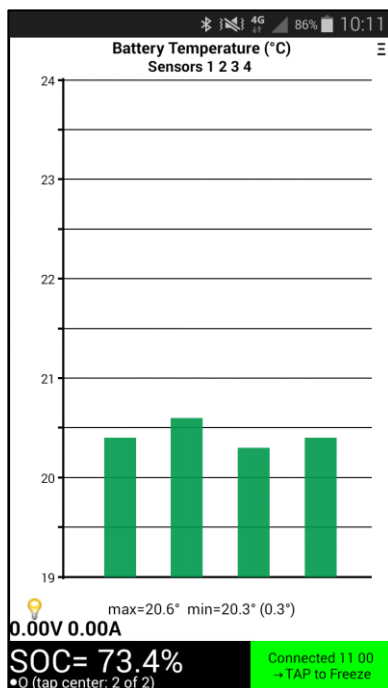


Abbildung 2: Batterietemperatur eines Nissan Leaf in der Garage vor Fahrtbeginn¹.

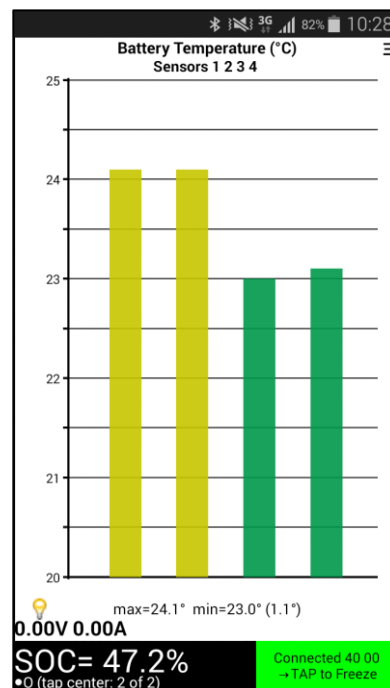


Abbildung 3: Erhöhte Batterietemperatur eines Nissan Leaf nach kurzer Fahrt.

Seitens der TU-Wien wurden mehrere umfangreiche Messungen an Elektrofahrzeugen absolviert. Neben diesen Messungen wurden aber auch diverse andere Messversuche an mit Lithium-Ionen-Akkumulatoren betriebenen Geräten durchgeführt, um erste Erfahrungen seitens des Verhaltens der Speicher sowie des notwendigen Messaufbaues zu erlangen. Ferner

¹ Ermittlung der Batterietemperatur erfolgte mit der Software App „Leaf Spy Lite“ und einem handelsüblichen OBD2-Stecker.

wurde auch ein in der Modellregion verwendetes e-Bike vermessen und dessen Ladeverhalten untersucht.

Die ersten Messungen wurden im Oktober 2014 durchgeführt. Wie bereits erwähnt gingen dieser Arbeit bereits umfangreiche Untersuchungen kleinerer Elektrogeräte sowie diverser Recherchen in einschlägiger Fachliteratur voraus, um die komplexen Lade- und Entladevorgänge der Lithium-Ionen-Akkumulatoren interpretieren zu können. Alle Messungen wurden netzseitig durchgeführt, was auch bedeutet den Eigenverbrauch der jeweiligen Ladeinfrastruktur in der Messung mitaufzunehmen. Bei diesen Messungen wurden ein Renault Twizy (einphasige Ladung), ein Peugeot iOn und ein Citroen C-Zero (jeweils 50 kW Chademo Ladung) vermessen.

Aufbauend auf den ersten Messungen und den daraus gewonnenen Erfahrungen wurde im November 2014 eine weitere Messreihe abgeschlossen. Dabei wurde eine Schnellladestation zur Verfügung gestellt, welche mit dem notwendigen Messequipment ausgestattet wurde. Dabei wurde ein Citroen C-Zero (22 kW Chademo), ein BMW i3 (22 kW CCS Ladung) und ein Smart Four Two Brabus (22 kW Typ2) untersucht.

Im November 2015 wurde über mehrere Tage hinweg untersucht, welche Auswirkungen es auf das Ladeverhalten eines e-Fahrzeuges gibt, wenn bei unterschiedlichen Start-Ladezuständen eine Ladung auf 100% SOC durchgeführt wird. Hierzu wurde ein Renault ZOE direkt am Institut der TU-Wien an einer KEBA P20 Wallbox geladen und vermessen. Um gleichbleibende Bedingungen annähernd sicherzustellen wurde das Fahrzeug in die nahe gelegene Tiefgarage der TU-Wien gebracht und dort über Nacht geparkt. So konnte eine vergleichbare Messreihe, mit circa gleicher Batterietemperatur bei Ladebeginn, am Fahrzeug durchgeführt werden.

Die letzten Untersuchungen mit unterschiedlichen Ladeleistungen (22 kW und 50 kW) und unterschiedlichen Temperaturen („kaltes“ und „warmes“ Fahrzeug) fanden im Dezember 2015 statt. Dabei konnte eine Schnellladeinfrastruktur vom Konsortium organisiert werden welche es per Software möglich machte, die geforderte Ladeleistung einzustellen. Um die Fahrzeuge auf eine Umgebungstemperatur von ca. 5°C zu konditionieren, wurden diese über Nacht an Ort und Stelle stehen gelassen („kaltes“ Fahrzeug) und am nächsten Morgen vollgeladen. Nachdem die Fahrzeuge wieder leergefahren wurden, erfolgte eine weitere Vollladung („warmes“ Fahrzeug). An drei aufeinanderfolgenden Tagen fanden die Messungen an einem Nissan Leaf, einem BMW i3 und einem VW e-UP statt. Diese Messreihe bildete den Abschluss des Arbeitspaketes, mit dessen Hilfe zukünftige Entscheidungen und Bewertungen bezüglich dem Verständnis von Elektromobilität erleichtert werden soll.

3 Ergebnisse

Ein wichtiges Ergebnis der Begleitforschung lag vor allem in der Bestimmung der gemessenen Ladeprofile. Durch diese wurde es leichter abschätzbar, welche Auswirkungen eine erhöhte Ladeleistung auf das Ladeverhalten und somit auf die Ladedauer hat. Diese Auswertungen helfen bei Entscheidungen über die Installation geeigneter Infrastrukturen mit und ermöglichen ein generelles Verständnis im Umgang mit Traktionsbatterien.

Auch die Auswirkungen der jahreszeitlich bedingten unterschiedlichen Umgebungstemperaturen konnte aus den Messungen abgeleitet werden. So wurde festgestellt, dass es nicht unwesentlich ist ob das Fahrzeug warm oder kalt geladen wird und welche Auswirkungen dies auf die Ladezeit mit sich bringt.

Darüber hinaus wurden die gemessenen Ladeprofile ebenfalls für die weiterführenden Netzanalysen herangezogen. Dadurch konnten Aussagen über zukünftige Netzbelastungen bei erhöhter Durchdringung der Elektromobilität gemacht werden.

Die Arbeit liefert Erkenntnisse, in wie weit sich die Parameter Ladeleistung, Temperatur und SOC-Stand auf den Umschaltzeitpunkt im Ladeprofil auswirken können. Hier zeigt sich beispielsweise, dass bei hohen Ladeleistungen und geringem SOC-Stand sich zwar Anfangs höhere Energiemengen gegenüber einer geringeren Ladeleistung laden lassen, dieser Vorteil aber auf Grund der früh eintretenden Abklingphase deutlich verringert wird. Bei Ladevorgängen, die ausschließlich im erhöhtem SOC-Bereich (größer als 50-60%) durchgeführt werden, stellt sich somit die Frage, ob nicht auch eine geringere Ladeleistung ausreichen könnte, um damit bei den Investitionskosten sparen zu können.

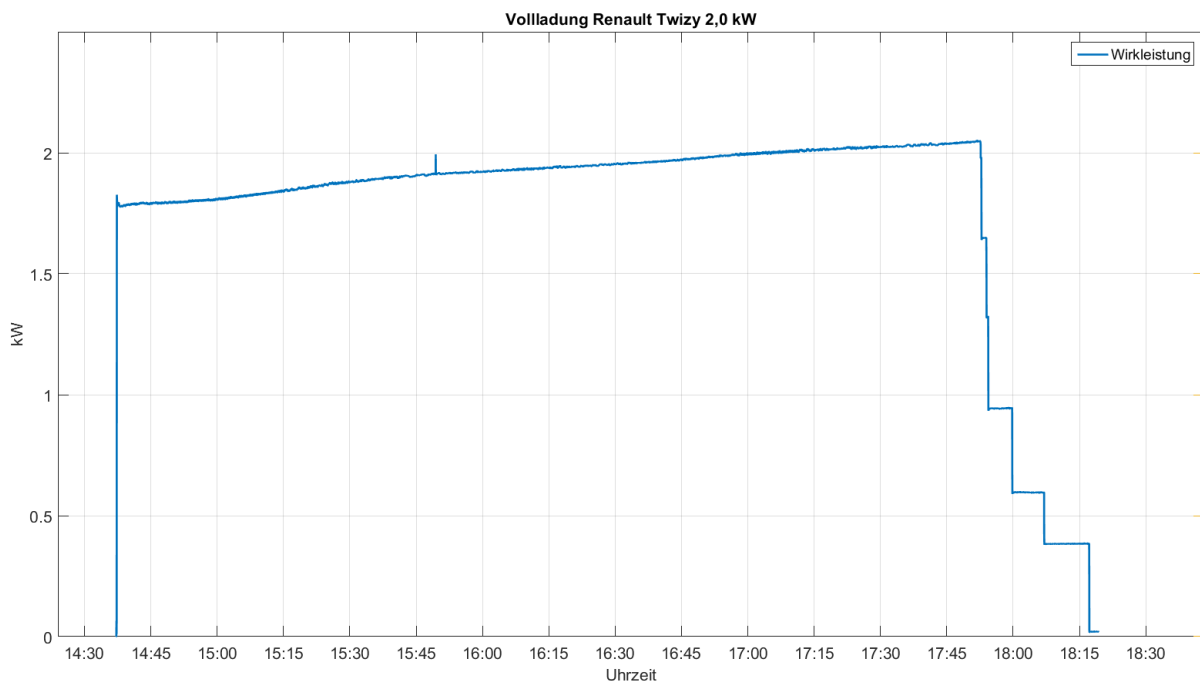


Abbildung 4: Vollladung eines Renault Twizy an einer Schuko Steckdose.

Wie bereits erwähnt, verwenden heutige Lithium-Ionen-Batterien meist das CCCV-Ladeverfahren. Dieses Verhalten lässt sich auch durch die erste Messreihe bestätigen. Beim Vermessen eines Renault Twizy welcher knapp 3,75 Stunden einphasig geladen wurde, kann man dieses Verhalten deutlich erkennen. Wie Abbildung 4 zeigt ist der Verlauf der Wirkleistung, welche der Ladeleistung entspricht, deutlich in die beiden angesprochenen Phasen zu unterteilen. Gut erkennbar ist auch der anfangs kontinuierlich ansteigende Verlauf der Ladeleistung, welcher durch die ansteigende Zellspannung erklärbar ist. Der gestufte Verlauf des Abklingterms lässt sich auf die eher einfach aufgebaute Ladeelektronik zurückzuführen.

Auch bei den vermessenen Ladevorgängen des BMW i3 und des e-Smart zeichnet sich ein qualitativ gleiches Ladeverhalten ab, wie Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen.

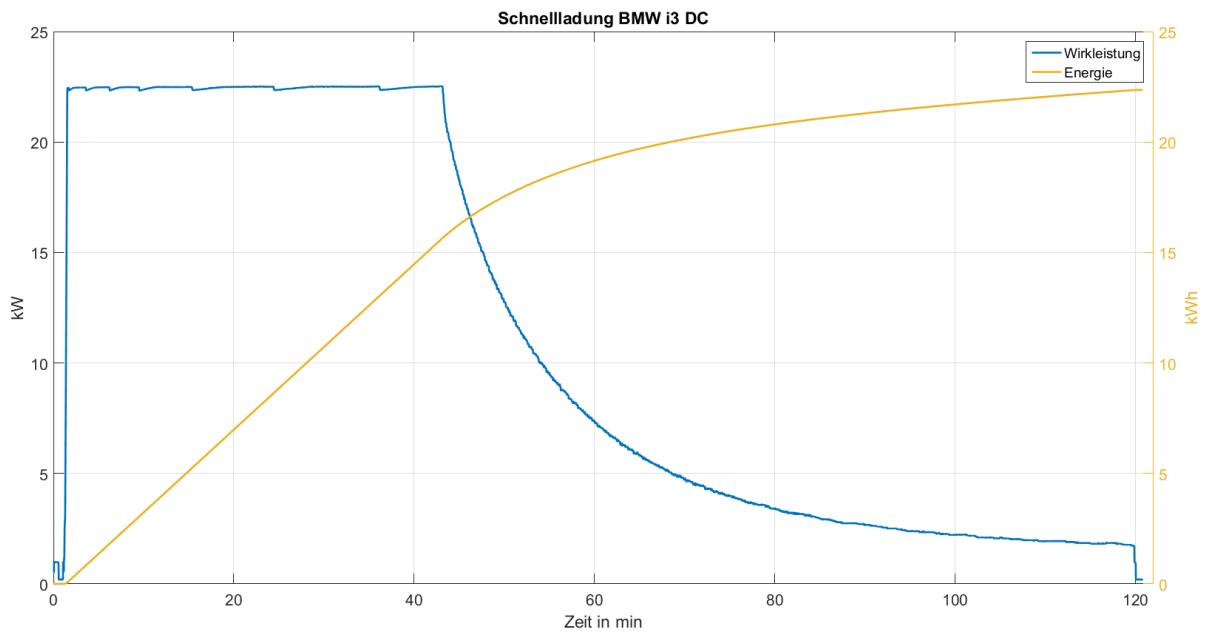


Abbildung 5: Vollladung eines BMWi3 an einer 22 kW DC Schnellladestation

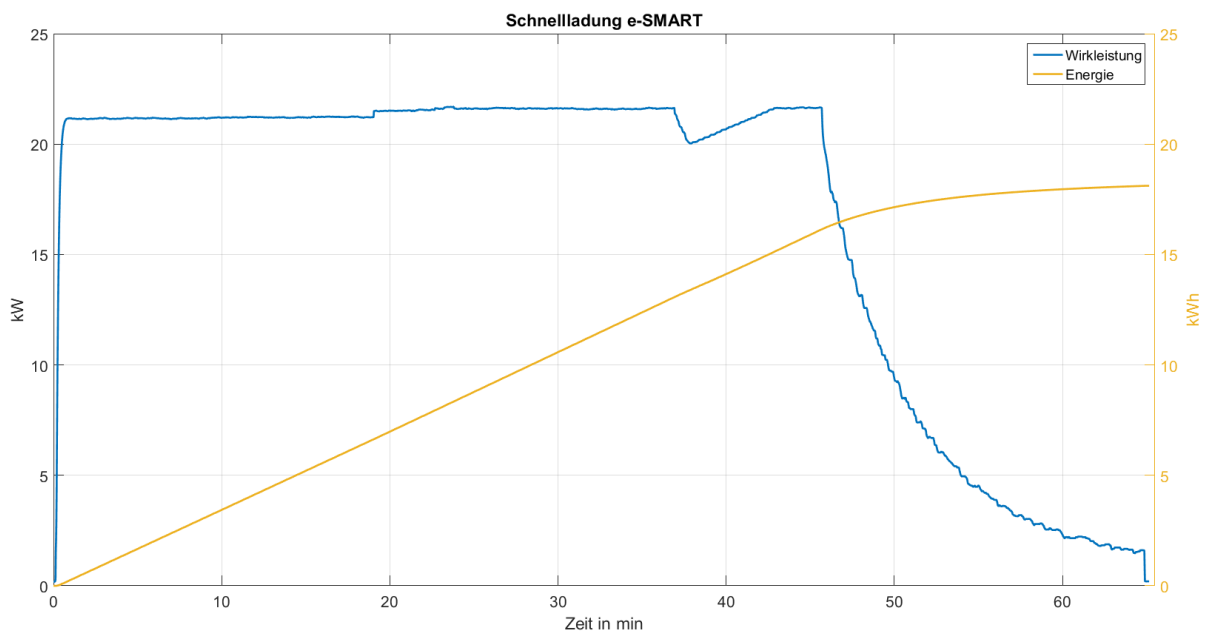


Abbildung 6: Schnellladung eines e-Smart mit 22 kW AC

Abbildung 7 zeigt den Vergleich von drei Ladevorgängen eines Citroen C-Zero bei unterschiedlichen Ladeleistungen (DC: 22 kW und 50 kW) . Aus dieser Grafik ist abzuleiten wie wichtig es ist bei welchem Ladestatus der Ladevorgang gestartet wird (Start-SOC). Je höher dieser ist, desto geringer fällt der zeitliche Vorteil gegenüber der erhöhten installierten Leistung aus. Bei Fahrzeugen die bei einer Ladeinfrastruktur mit erhöhtem Start-SOC einen Ladevorgang beginnen, fällt somit der Vorteil einer hohen Ladeleistung weniger ins Gewicht, da diese Ladeleistung durch die Fahrzeugbatterie begrenzt wird.

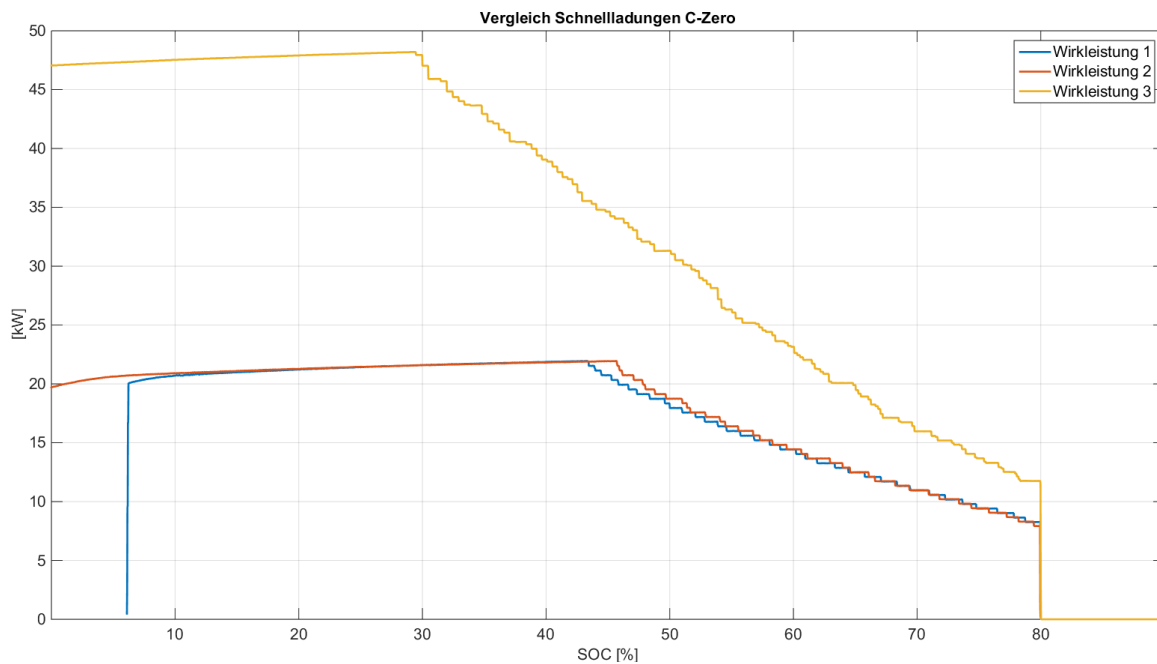


Abbildung 7: Vergleich eines Citroen C-Zero bei unterschiedlichen Ladeleistungen

In Abbildung 8 wird der Zusammenhang erläutert, wie der Umschaltzeitpunkt der Ladeleistung (Beginnen des Abklingterms – Wechsel von CC auf CV) von der Temperatur der Batterie bzw. der maximalen Ladeleistung zusammenhängt.

Hierbei gilt bezüglich der Temperatur, dass der Knickpunkt je früher eintritt desto kälter die Batterie ist. Dies bedeutet aber auch, dass ein Fahrzeug im Winter länger zum Laden benötigt und im Hinblick auf eine Ladesteuerung an Flexibilität verliert. Bezüglich der Ladeleistung kann man sagen, dass bei höheren Ladeleistungen der Knickpunkt früher beginnt. Folglich ist es also für die Batterie immer entscheidend, welche Temperatur sie besitzt, mit welcher Leistung sie geladen wird und in welchem Speicherzustand (SOC-Stand) sie sich gerade befindet. Diese Aussagen wurden auch in diesem Projekt untersucht. Deshalb wurde ein Renault Zoe für erste Untersuchungen beschafft. Anhand dieses Fahrzeuges soll untersucht werden, wie sich bei annähernd gleicher Temperatur und gleicher maximalen Ladeleistung (22 kW) eine Vollladung mit unterschiedlichem Start-SOC auswirkt.

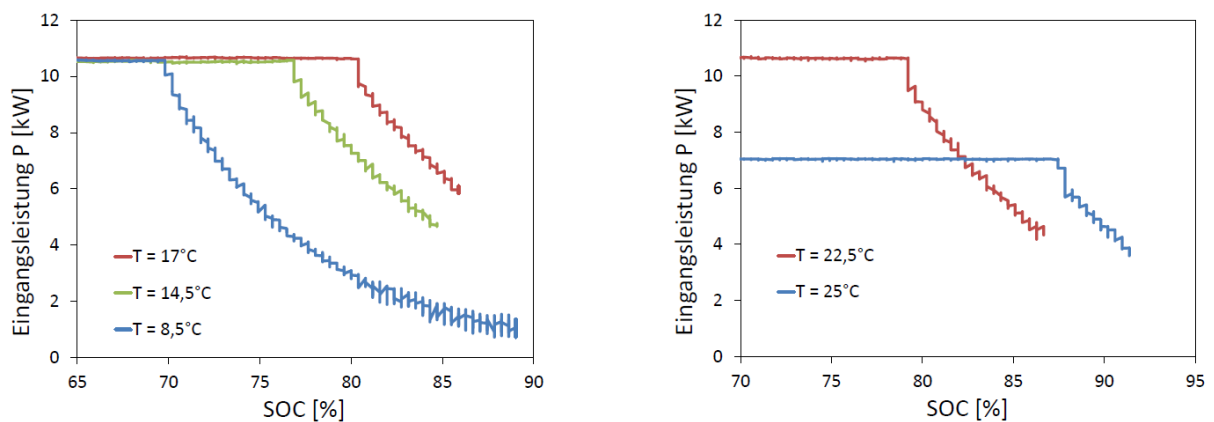


Abbildung 8 Knickpunkt der Ladeleistung stark von der Temperatur und der maximalen Ladeleistung abhängig [1].

Zu diesem Zweck wurden insgesamt fünf Messungen mit dem Fahrzeug durchgeführt. Das Fahrzeug wurde über Nacht in eine Garage gestellt, um die Batterietemperatur immer auf den

gleichen Startwert zu konditionieren. Am frühen Vormittag wurde dann das Fahrzeug sofort vollgeladen und dabei sämtliche relevanten elektrischen Parameter messtechnisch erfasst. Danach erfolgte eine Ausfahrt bis auf einen definierten SOC und das Fahrzeug wurde wiederum vollgeladen und vermessen. Diese Messung erfolgte bei einer quasi „warmen“ Fahrzeugtemperatur. Über Nacht wurde das Fahrzeug wieder in die Garage gebracht und neue Messungen vorbereitet. Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die durchgeführten Tätigkeiten und die Ergebnisse. Man kann eine leichte Tendenz erkennen, dass der Knickpunkt der Ladeleistung bei energiereicheren Ladungen später einsetzt. In diesem Zusammenhang spielt die kontinuierliche Erwärmung der Batterie eine tragende Rolle, welche sich bei längeren Ladevorgängen mehr auswirkt. Dieser Effekt ist auch bei den Messungen bei bereits „warm“ gefahrener Batterie zu erkennen. Diese Tendenz ist natürlich nur bis zum Erreichen der oberen Grenze der „Wohlfühltemperatur“ der Batterie zu erkennen, welche laut Literatur bei ca. 40-50°C [2] liegt und deshalb auch nicht beliebig fortführbar ist.

Obwohl nur eine vergleichsweise geringe Messreihe mit fünf Messungen durchgeführt wurde, lässt sich dennoch der Effekt des Start-SOC auf den Knickpunkt als eher gering einschätzen. Wesentlich höhere Effekte werden bei unterschiedlichen Temperaturen und Ladeleistungen erwartet und in den nachfolgenden Untersuchungen auch bestätigt.

Tabelle 1: Daten zu den Messungen an der TU-Wien

	Garage 33-100	Garage 66-100	Garage 0-100	Warm 33-100	Warm 66-100
Datum	09.12.2015	10.12.2015	08.12.2015	08.12.2015	09.12.2015
Uhrzeit Start	08:58	09:41	08:57	13:57	13:47
Uhrzeit Ende	11:00	11:08	11:20	15:50	15:30
SOC Start	32%	66%	4%	35%	65%
SOC Ende	100%	100%	100%	100%	100%
Temp. Start	7,5	9	5,6	5,6	8,7
Temp. Ende	7,5	12	5,7	5,5	7,9
Anmerkung	Garage 18,2°C	Garage 18,3°C	Garage 18,7°C	Ladestart nach Fahrt	Ladestart nach Fahrt
Knickpunkt	79,1% SOC	79,8% SOC	81,6% SOC	79,8% SOC	82,5% SOC

Bei der letzten Messreihe, konnten erstmals umfangreiche Untersuchungen nicht nur mit unterschiedlichen Batterietemperaturen, sondern auch mit unterschiedlichen Ladeleistungen und gleichbleibenden Fahrzeugen sowie gleicher Ladeinfrastruktur durchgeführt werden. Hierzu wurde uns seitens der EVN ein VW-eUP und seitens der Wiener Netze ein Nissan Leaf zur Verfügung gestellt. Weiters wurde eine geeignete Schnellladeinfrastruktur zur Verfügung gestellt an der es auch möglich war sämtliche Messeinrichtungen anzubringen und welche auch nach Belieben in der maximalen Ladeleistung variierbar war. So konnten auch die Ladevorgänge der CHAdeMO Ladung auf übliche 22 kW begrenzt werden. Hierbei sei angemerkt, dass bei einer Begrenzung der Ladeleistung für Fahrzeuge mit CHAdeMO Ladung lediglich der maximale Ladestrom begrenzt werden kann. Die Ladeleistung ergibt sich dann aus der anliegenden Spannung multipliziert mit dem maximalen Ladestrom. Dies ermöglichte uns zahlreiche Messungen mit unterschiedlichen Ladeleistungen und Batterietemperaturen. Einen Überblick der Messdaten und Ergebnisse für den Nissan Leaf findet man in Tabelle 2 wieder.

Die Werte die sich dabei in Klammer befinden konnten aus der bereits erwähnten Software Applikation entnommen werden.

Tabelle 2: Daten zu den Messungen in Ebreichsdorf (Nissan Leaf)

	Kalt 22 kW	Warm 22 kW	Kalt 50 kW	Warm 50 kW
Datum	17.12.2015	16.12.2015	16.12.2015	15.12.2015
Uhrzeit Start	09:33	14:17	09:15	14:59
Uhrzeit Ende	11:15	16:00	10:54	16:07
SOC Start	6,9% (13,6%)	-- (12,9%)	-- (15,1%)	1,3% (15,6%)
SOC Ende	100% (91,2%)	100% (88,9%)	100% (94,20%)	100% (95,6%)
Temp. Start	5,4°C (11,8°C)	6,9°C (28°C)	5,3°C (13,3°C)	5,0°C (30,5°C)
Temp. Ende	5,5°C (19,6°C)	7,5°C (30,4°C)	6,8°C (22,3°C)	4,3°C (38,6°C)
Anmerkung	Leaf 22 kW (55 A)	Leaf 22 kW (55 A)	Leaf 55 kW (120 A)	Leaf 55 kW (120 A)
Knickpunkt (nutzbare Kapazität)	64,3% SOC	74,3% SOC	56,9% SOC	47,0% SOC

Auch hier zeigt sich zunächst das zu erwartende Verhalten der Verschiebung des Umschaltpunktes. So ändert sich dieser bei einem 22 kW Ladevorgang bei einem „kalten“ Fahrzeug um knapp 10%-Punkte nach unten bezogen auf den „warmen“ Ladevorgang. Das bedeutet, dass aufgrund der langsamer ablaufenden chemischen Prozesse der Umschaltpunkt früher erreicht wird. Eine weitere Beobachtung wurde bei einem 50 kW Ladevorgang festgestellt. Wie aus Abbildung 9 zu erkennen ist, wird bei einer höheren maximalen Ladeleistung der Umschaltpunkt bezogen auf den SOC im Vergleich mit einem 22 kW Ladevorgang deutlich nach unten gesetzt (50 kW „warm“). Beim Ladevorgang „kalt“ mit 50 kW wäre nun zu erwarten, dass sich auch hier der Umschaltpunkt noch weiter vom SOC-Wert nach unten bewegt. Hier überlagert sich allerdings zusätzlich ein weiterer Effekt, welcher auf das Thermomanagement des BMS (Battery Management System) zurückzuführen ist. Bei niedrigen Temperaturen wird durch die spezifische elektrochemische Zellkinetik, die Entladeleistung deutlich herabgesetzt, was sich durch einen erhöhten Innenwiderstand der Zelle und eine verminderte Entladekapazität äußert. Beim Überschreiten des zulässigen maximalen Ladestroms kann es zum Abscheiden von metallischen Lithium auf der negativen Elektrode kommen. Durch dieses „Lithium-Plating“ kann es zu dauerhaften Schäden an der Batterie kommen weshalb eine ständige und zuverlässige Kontrolle der Temperatur und Ladeleistung seitens des BMS notwendig ist [2].

Zusammenfassend ergeben sich einige ableitbare Erkenntnisse. Bei Betrieb im optimalen Betriebstemperaturbereich der Batterie (20-40°C) wird mit zunehmender Ladeleistung der Umschaltpunkt früher erreicht als bei niedrigeren Ladeleistungen ([2] [3]). Bei Verlassen des optimalen Temperaturbereiches treten allerdings erhöhte Alterungserscheinungen auf, welche in Kombination mit weiteren Effekten die Prognose von Ladevorgängen schwierig gestalten.

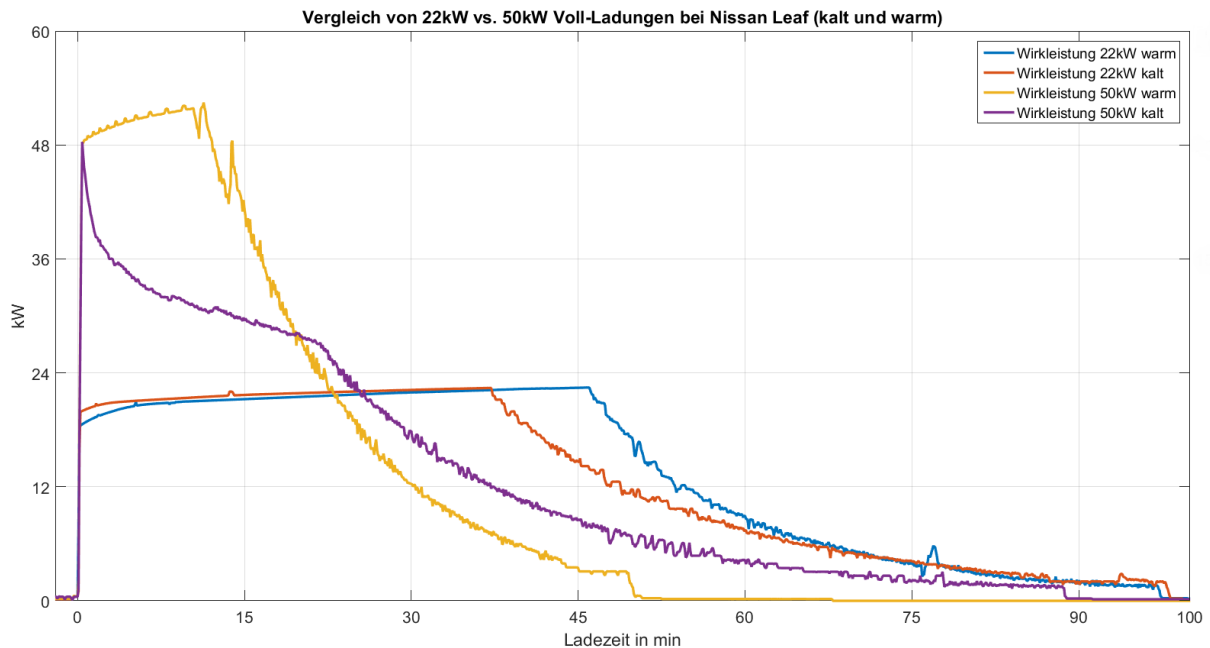


Abbildung 9: Vergleich von verschiedenen Vollladungen eines Nissan Leaf mit unterschiedlichen Ladeleistungen und Batterietemperaturen

4 Literatur

- [1] M. Mültin, „Das Elektrofahrzeug als flexibler Verbraucher und Energiespeicher im Smart Home,“ Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Diss., Karlsruhe, 2014.
- [2] R. Korthauer, Handbuch Lithium-Ionen-Batterien, Springer, 2013.
- [3] K. Stella, O. Wollersheim, W. Fichtner und P. Jochem, „Über 300.000 Kilometer unter Strom: Physikalisch-technische, ökonomische, ökologische und sozialwissenschaftliche Begleitforschung des Schaufensterprojektes RheinMobil: Grenzüberschreitende, perspektivisch wirtschaftliche elektrische Pendler- und Dienstwagenverkehre im deutsch-französischen Kontext.,“ KIT, Karlsruhe, 2015.

5 Danksagung

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „Modellregion Elektromobilität 2011“ durchgeführt. Weiters wird das Projekt durch das Land Niederösterreich Co-finanziert.

