

Modellierung und Simulation von Elektrofahrzeugen als Batteriespeicher in einer energieflexiblen Fabrik

Themenbereich 7 – Industrie

Stefan ROTH¹⁽¹⁾, Sophia SPITZER⁽¹⁾, Stefan BRAUNREUTHER⁽¹⁾⁽²⁾,
Gunther REINHART⁽¹⁾

⁽¹⁾ Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV, Provinost. 52,
86153 Augsburg, Germany,

⁽²⁾ Hochschule Augsburg, Fakultät für Maschinenbau und Verfahrenstechnik, An der Hochschule 1, 86161
Augsburg, Germany

Motivation und Forschungsfrage

Für einen Wandel hin zu einer klimaneutralen und nachhaltigen Wirtschaft sind tiefgreifende Änderungen in den beiden CO₂-lastigen Sektoren Verkehr und Energie notwendig [1, 2]. Durch die volatile Einspeisung aus Wind- und Solarkraft erhöht sich der Steuerungsaufwand für einen Ausgleich zwischen Stromangebot und -nachfrage deutlich [3]. Gleichzeitig steigt durch die Elektrifizierung des Verkehrssektors der Strombedarf. Eine sinnvolle Verknüpfung der Sektoren eröffnet aber auch neue Potenziale. Die ungenutzten Batteriekapazitäten der Elektrofahrzeuge können im Rahmen von Vehicle-to-Grid (V2G) als Stromspeicher für das Stromnetz eingesetzt werden [4]. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob dieses Konzept als Vehicle-to-Factory (V2F) auf produzierende Unternehmen übertragen werden kann, um das industrielle Energiemanagement zu unterstützen.

Stand der Wissenschaft

Um die wesentlichen Aspekte einer V2G-Simulation zu definieren wurde eine eingehende Literaturrecherche durchgeführt. Der Großteil der analysierten Arbeiten geht von einem Zusammenschluss der Fahrzeugbatterien zu einem virtuellen Großspeicher aus. Die Elektromobile werden nicht wie in der Realität notwendig einzeln angesteuert, sondern fiktiv zu einer großen Batterie zusammengefasst. Auf Basis der Ergebnispräsentation ist, wenn auch nicht explizit genannt, davon auszugehen, dass in den meisten Arbeiten ein bilanzierendes Batteriemodell verwendet wurde. Da der Ladezustand der Elektrofahrzeuge zum Ankunftszeitpunkt in der Regel unbekannt ist, verwenden einige Arbeiten die Monte-Carlo-Methode. Mit ihrer Hilfe können stochastische Einflüsse berücksichtigt und ihre fehlerhafte Auswirkung auf das Modell reduziert werden.

Eine Übertragung des V2G-Ansatzes auf das industrielle Umfeld erfolgte bisher nur in [5] und [6]. In [5] werden verschiedene Schichtpläne einer elektrifizierten Unternehmensflotte und ihre Auswirkungen auf die Speicherverfügbarkeit untersucht und mit einem stationären Energiespeicher verglichen. Der mobile Batteriespeicher kann bei hoher Verfügbarkeit tagsüber den Autarkiegrad eines Unternehmens hinsichtlich seiner Stromversorgung bei solarer Eigenstromerzeugung um bis zu zehn Prozent steigern, während der stationäre Speicher 14 Prozent Zuwachs erreicht. Sowohl [5] als auch [6] konzentrieren sich auf die Untersuchung einer unternehmenseigenen Elektrofahrzeugflotte. Der große Nachteil dieser Anwendung liegt in der Nutzung der Elektromobile für Dienstfahrten und Lieferdienste während der Stunden hoher Sonneneinstrahlung. Dadurch wird die Speicherverfügbarkeit deutlich beeinträchtigt [5].

Methodisches Vorgehen

Es wurde ein Simulationsmodell in MATLAB / Simulink entwickelt, welches aus drei wesentlichen Modulen besteht: Die Stateflow®-Steuerung, die die Reihenfolge des Simulationsablaufs festlegt, ein Batteriemodul, das die Lade- und Entladevorgänge der Batterien abbildet und ein Handelsmodul, das die Stromkosten und -gewinne durch (Ver-)Kauf von Strom berechnet. Anstelle eines virtuellen Großspeichers, bei dem alle Fahrzeuge gleichzeitig und gleichmäßig be- und entladen werden, wurde eine direkte Ansteuerung der Elektrofahrzeuge gewählt. Diese wird als realitätsnäher eingeschätzt und erlaubt zudem eine Analyse der Ladezyklen eines einzelnen Fahrzeugs. Analog zu den in der Literatur gefundenen Methoden wurde ein bilanzierendes Batteriemodell gewählt, welches auf Basis der Batteriekapazität, eines Ladelastgangs und der Zeit den Ladezustand der Batterie berechnet.

¹ Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV, Provinost. 52, 86153 Augsburg, Tel.: +49 821 90678-168, E-Mail: stefan.roth@igcv.fraunhofer.de

Da die in elektrisch betriebenen PKW verwendeten Lithium-Ionen-Batterien keinen linearen Zusammenhang zwischen Ladeleistung und -Zeit aufweisen, wurden real gemessene Ladelastgänge in das Modell integriert. Um außerdem die unterschiedliche Pendeldistanz der Mitarbeiter zu berücksichtigen, wurde ein Monte-Carlo-Modul implementiert. Auf Basis einer Pendlerstatistik berechnet es zufällige Distanzen für den Arbeitsweg und den daraus resultierenden Ladezustand der Elektroautos nach Ankunft am Arbeitsplatz.

Aufbau und exemplarische Anwendung des Modells

Als Eingangsgrößen für das Modell dienen ein beispielhafter Verbrauchslastgang eines KMU, der Leistungsverlauf einer Solaranlage und die durchschnittlichen Strompreise für industrielle Großkunden aus [7]. Außerdem wurden Fahrzeugdaten aktuell erwerblicher Elektrofahrzeuge verwendet [8–10]. Die Ladesäulen, mit der die Ladelastgänge der Lithium-Ionen-Batterien gemessen wurden, verfügen über acht Ladepunkte. Es wurden folglich acht verfügbare Elektroautos simuliert, was bei einer KMU-typischen Parkplatzgröße von 100 Parkplätzen einem Anteil von acht Prozent entspricht. Gemäß aktueller Prognosen wird diese Elektrifizierungsquote innerhalb der nächsten fünf bis zehn Jahre erreicht [11]. Die Simulation wurde für die beiden exemplarischen industriellen Anwendungen von Batteriespeichern der Eigenverbrauchsoptimierung und der Minimierung der Spitzenlasten durchgeführt. Zudem wurde zur Untersuchung der jahreszeitlichen Schwankungen je ein Sommer- und ein Wintermonat simuliert. Es zeigt sich, dass sich durch eine Umsetzung von V2F die Eigenverbrauchsquote sowohl im Sommer (4,3 Prozent) als auch im Winter (13,6 Prozent) signifikant steigern lässt (siehe Abbildung 1).

Die Umsetzung von V2F mit dem Ziel der Minimierung der Spitzenlasten zeigt die Bedeutung einer gezielten, energieorientierten Produktionsplanung. Viele der auftretenden Spitzenlasten liegen außerhalb der Zeiten der Verfügbarkeit der Elektromobile und können daher nicht ohne Weiteres kompensiert werden. Durch eine Analyse des Lastgangs hinsichtlich Flexibilität und ein individuelles Lastmanagement können Spitzenlasten gezielt reduziert werden.

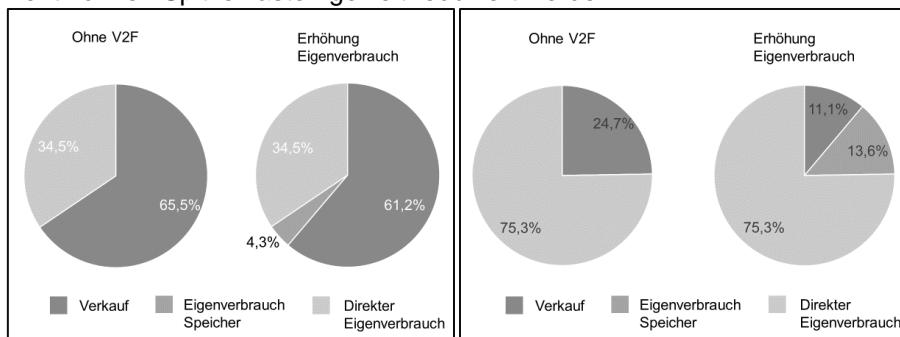


Abbildung 1: Auswirkung auf die Nutzung der Solarenergie in einem Sommermonat (links) und Wintermonat (rechts)

Fazit und Ausblick

Eine Implementierung von V2F mit dem Ziel die Eigenverbrauchsquote zu erhöhen ist empfehlenswert und birgt deutliche Kostensenkungspotenziale. Für einen Einsatz des mobilen Energiespeichers zur Minimierung der Spitzenlasten ist die Analyse weiterer Anwendungsfälle in Kombination mit Lastverschiebungsmaßnahmen notwendig. Unter Berücksichtigung des Schichtbetriebs stellt V2F ein nützliches Werkzeug für die energieorientierte Produktionsplanung dar.

Literatur

- [1] Umweltbundesamt: Energiebedingte Emissionen. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen#textpart-3>. Abrufdatum 02.11.2018.
- [2] Umweltbundesamt: Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Dessau-Roßlau 2013.
- [3] Deutsche Energie-Agentur gmbh: dena-Studie Systemdienstleistungen 2030. Berlin 2014.
- [4] Kempton, W.; Tomić, J.: Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue. In: Journal of Power Sources 144 (2005) 1, S. 268–79.
- [5] Beier, J.; Neef, B.; Thiede, S.; Herrmann, C.: Integrating on-site Renewable Electricity Generation into a Manufacturing System with Intermittent Battery Storage from Electric Vehicles. In: Procedia CIRP 48 (2016), S. 483–88.
- [6] Betz, J.; Lienkamp, M.: Approach for the development of a method for the integration of battery electric vehicles in commercial companies, including intelligent management systems. In: Automotive and Engine Technology 1 (2016) 1-4, S. 107–17.
- [7] BDEW Strompreisanalyse Mai 2018. Haushalte und Industrie 2018.
- [8] BMW Group: Technische Daten. Der neue BMW i3. URL: <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0273661DE/der-neue-bmw-i3-der-neue-bmw-i3s?language=de>. Abrufdatum 01.10.2018.
- [9] Daimler AG: >>smart fortwo electric drive and smart BRABUS electric drive. Die Preise. Gültig ab Februar 2014. URL: https://www.smart.com/content/dam/smart/DE/PDF/Preisliste_smart_fortwo_electric_drive.pdf. Abrufdatum 01.10.2018.
- [10] Tesla Deutschland: Model S. URL: https://www.tesla.com/de_DE/models. Abrufdatum 01.10.2018.
- [11] Propfe, B.: Marktpotentiale elektrifizierter Fahrzeugkonzepte unter Berücksichtigung von technischen, politischen und ökonomischen Randbedingungen 2015.