

# **Synthese von Elektromobilitäts-Lade-Profilen für die Berechnung des Eigenverbrauchs von PV-Anlagen**

Dr. Noah Pflugradt, Prof. Urs Muntwyler

Berner Fachhochschule, Labor für Photovoltaiksysteme, Jlcoweg 1, 3400 Burgdorf

Tel.: +41 344 266 927

E-Mail: Noah.Pflugradt@bfh.ch

Internet: www.pv-test.ch

## **Kurzfassung**

Um den Stromverbrauch durch Elektromobilität korrekt in Eigenverbrauchsberechnungen mit einzubeziehen, werden Elektromobilitätsverbrauchsprofile benötigt. Diese sind bisher häufig nicht verfügbar. Daher wurde der seit langem etablierte LoadProfileGenerator um die Synthese von Elektromobilitätsprofilen erweitert. Das Paper stellt das erweiterte Modell vor.

## **Einleitung**

Durch die Elektromobilität wird der Stromverbrauch stark zunehmen. Das birgt ein großes Potential für eine Erhöhung des Eigenverbrauchs von Solaranlagen. Aber die Menge des Eigenverbrauchs für heimische Solaranlagen hängt stark von der Verwendung des Autos ab. Wenn das Auto, wie bei den meisten Arbeitnehmern, tagsüber unterwegs ist, dann kann es nicht gleichzeitig von der heimischen Solaranlage geladen werden. Daher sind für Simulationen von Solaranlagen zunehmend auch Elektroauto-Anwesenheitsprofile und Ladeprofile erforderlich. Für eine korrekte Berechnung ist es dabei wichtig, das Elektromobilitätsprofil, Verbrauchsprofil und Warmwasserprofil den selben Haushalt abbilden. Wenn z.B. das Ladeprofil im Juli besagt, dass das Auto jeden Tag 50 km Distanz zurücklegt, während das Stromverbrauchsprofil sagt, dass die Bewohner 3 Wochen verreist sind, dann sind die Ergebnisse unweigerlich verfälscht.

## **Stand der Forschung**

Nach bestem Wissen der Autoren sind bisher keine gemessenen, hochaufgelösten, ganzjährigen Profile von Ladestationen für Forschungszwecke frei verfügbar. Es sind einzelne Beschreibungen von Auswertungen von Messkampagnen wie z.B. [1], verfügbar, die beschreiben, wie das Ladeverhalten für eine grössere Anzahl von Ladevorgängen aussieht, was aber als Grundlage für Simulationen im Haushaltsbereich nicht ausreicht.

Unterschiedliche Simulationsumgebungen wie z.B. Velasolaris Polysun haben bereits Möglichkeiten für die Erstellung eigener Lastprofile integriert, wie z.B. in Abbildung 1 gezeigt. Allerdings sind die so erstellten Profile deutlich vereinfacht und berücksichtigen weder reale Verhaltensmuster noch die Komplexität realer Ladevorgänge.



Abbildung 1: Fenster für die Erstellung eines Elektromobilitätslastprofils in Polysun

### LoadProfileGenerator

In den letzten Jahren wurde in den letzten Jahren ein neuartiger Ansatz für die Synthese von Lastprofilen entwickelt [2]. Dieser modelliert die Bewohner des Hauses als bedürfnisgesteuerte Software-Agenten. Dabei wird die Abfolge der Handlungen der Bewohner durch ein psychologisches Bedürfnismodell bestimmt [3]. Das Modell hat eine Reihe von Vorteilen, verglichen mit einem wahrscheinlichkeitsbasierten Ansatz, da z.B. ein Anwesenheits-Modell implizit integriert ist. Anwesenheitsmodelle sind für die Lastprofile sehr wichtig, weil ca. 70-80% des Stromverbrauchs in Haushalten direkt von den Handlungen der Benutzer abhängt [2,4]. Dieses Modell wurde als Windows-Anwendung implementiert und ist frei verfügbar unter [5].

Die Grundidee ist relativ einfach und in Abbildung 2 dargestellt. Die Person steht im Mittelpunkt der Simulation. Im Haushalt sind verschiedene Geräte vorhanden, welche der Person verschiedene Aktivitäten anbieten. Die Person wählt dann immer, wenn sie eine Aktivität abschliesst, die nächste basierend auf ihren aktuellen Bedürfnissen aus.

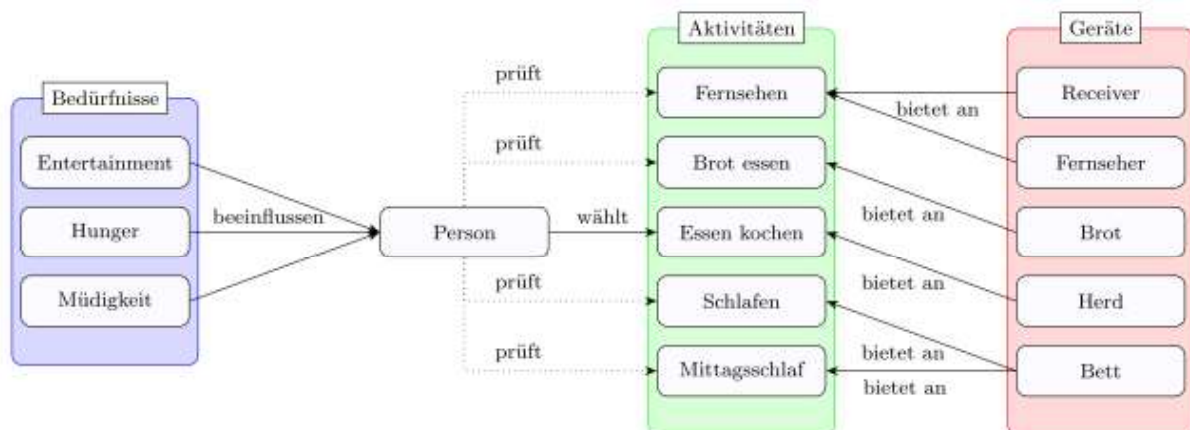


Abbildung 2: Grundidee des Lastprofilgenerators: Die Person entscheidet aufgrund ihrer Bedürfnisse

Das reicht allerdings noch nicht, um die volle Komplexität menschlichen Verhaltens abzubilden. Weitere notwendige Elemente sind dann z.B. eine Wichtung der Bedürfnisse und zeitliche Begrenzungen für die einzelnen Aktivitäten. Ebenfalls wichtig

sind Zustandsvariablen für u.a. die Menge an angefallener Schmutzwäsche, damit die Waschmaschine nur eingeschaltet wird, wenn es auch Sinn macht. Überraschend wichtig für die Erstellung realistischer Profile waren dabei gemeinsame Aktivitäten: Wenn die Bewohner nicht zusammen essen (können), dann kocht jeder für sich, was zu deutlich verzerrten Profilen mit viel zu hohen Stromverbräuchen führt. Das Modell ist in mehr Details in [2] beschrieben.

### **Elektromobilität**

Für dieses Paper wurde das Modell um die Elektromobilität erweitert. Durch die agentenbasierte Simulation sind die Aktivität und der Aufenthaltsort jedes Bewohners zu jedem Zeitpunkt bekannt. Somit ist es möglich, für ein Elektroauto den Aufenthaltsort und Ladezustand genau zu simulieren. Dafür musste die Simulation hauptsächlich um ein Wegekonzept ergänzt werden.

Das Wegekonzept funktioniert wie folgt: Die Räume in der Simulation werden einem Standort zugewiesen. Für die Strecken zwischen Standorten werden ein oder mehrere Wege definiert. Ein Weg besteht aus einer oder mehreren Wegstrecken, welche jeweils eine Distanz und eine Fortbewegungsmittel-Kategorie zugeordnet haben. Ein Beispiel für eine Wegedefinition ist in Tabelle 1 dargestellt. Zusätzlich haben die Personen individuelle Präferenzen, welche Fortbewegungsmittel sie nutzen können und wollen. So wird z.B. die 12-jährige Tochter nicht das Auto verwenden, sondern auf Fahrrad oder Bus ausweichen.

Parallel dazu werden verschiedene Fortbewegungsmittel definiert, die jeweils einer Fortbewegungsmittel-Kategorie angehören und eine bestimmte Geschwindigkeit aufweisen. Ein wichtiger Unterschied zwischen z.B. einem Bus und einem Auto ist, dass ein Bus zu bestimmten Zeiten immer verfügbar ist, unabhängig davon, ob jemand anderes ihn zuletzt benutzt hat, während ein Auto nur verfügbar ist, wenn es der letzte Benutzer auch zuhause abgestellt hat. Daher muss für jedes Verkehrsmittel festgelegt werden, zu welchem Typ von Fahrzeug es gehört. Natürlich brauchen viele Fortbewegungsmittel wie z.B. die Busse auch Zeitbeschränkungen für ein realistisches Modell.

**Tabelle 1: Beispiel für die Definition eines Weges**

<b>Schritt</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Distanz</b>	<b>Fortbewegungsmittel-Kategorie</b>
<b>1</b>	Vom Haus zum Auto laufen	200 m	Laufen
<b>2</b>	Zur Arbeit fahren	15 km	Auto
<b>3</b>	Vom Parkplatz zum Arbeitsort laufen	500 m	Laufen

Die grösste Herausforderung bei der Implementierung ist die Abstraktion des Wegekonzepts. Es soll dieselbe Wege- und Fortbewegungsmittel-Definition für unterschiedliche Haushalte und unterschiedliche Definitionen für den selben Haushalt verwendet werden können. Dafür wurde die Möglichkeit geschaffen, verschiedene

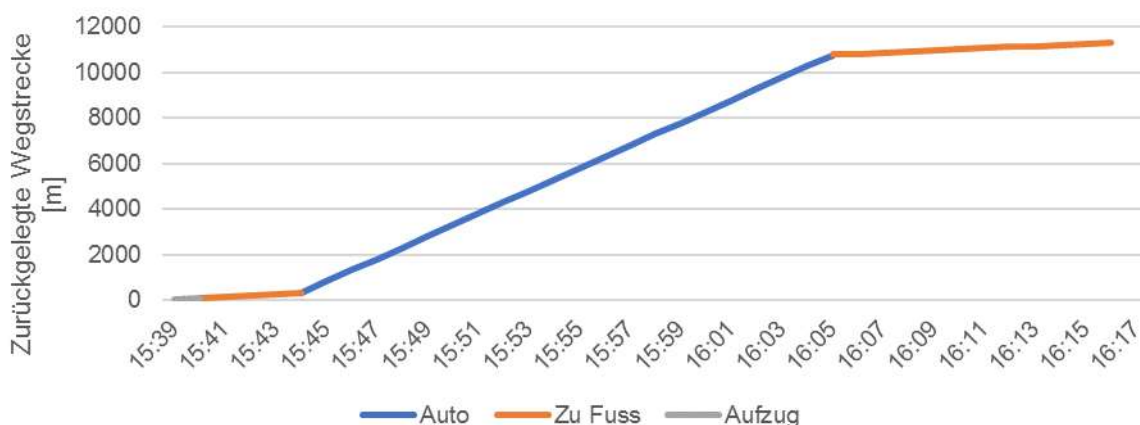
Wege zu einem Wege-Set und verschiedene Fortbewegungsmittel zu einem Fortbewegungsmittel-Set zusammenzufassen. Diese Sets können dann bei der Berechnung ausgewählt werden und somit kann jeder Haushalt mit jeder Kombination aus Fortbewegungsmitteln und Wegstrecken berechnet und systematisch untersucht werden.

Eine andere Herausforderung ist der Realismus. So muss z.B. sichergestellt sein, dass eine Person, wenn sie mit dem Auto einkaufen gefahren ist, auch mit dem Auto wieder nach Hause fährt, und nicht das Auto stehen lässt und mit dem Bus zurückfährt. Das wurde über persönliche Präferenzen der Bewohner gelöst, die festlegen, welches Fortbewegungsmittel bevorzugt wird.

Auch der Ladestand oder die Tankfüllung muss berücksichtigt werden. Dafür wird bei der Verfügbarkeitsprüfung des Fahrzeugs geprüft, ob entweder die gesamte Strecke oder, für Fahrten von der Ladestation aus, die doppelte Wegstrecke zurückgelegt werden kann. Eine Einschränkung des Modells ist, dass Wegeketten nicht berücksichtigt werden, d.h. wenn die Person zunächst zum Supermarkt, dann zum Schwimmbad und dann zur Arbeit fährt und dabei dann unterwegs liegen bleibt, weil das Auto nicht hinreichend geladen war, dann wird die Simulation beendet.

Dieses Wegekonzept ermöglicht nicht nur die Modellierung von Elektroautos, sondern auch (elektrischen) Fahrrädern, Aufzügen und anderen Fortbewegungsmitteln. Damit ist es dann möglich, für die Fortbewegungsmittel zu jedem Zeitpunkt der Simulation den Aufenthaltsort, den Ladezustand, die gefahrenen Kilometer und die Zeiten, zu denen das Auto zuhause geladen werden kann, genau zu bestimmen.

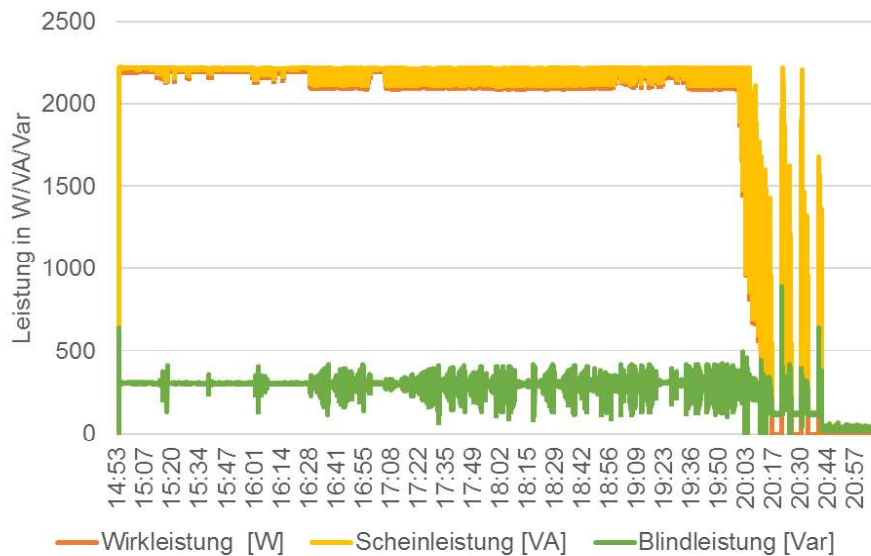
Abbildung 3 zeigt ein Beispiel der Resultate für einen Fahrtweg von ca. 10km. Man sieht, dass die Geschwindigkeit vereinfacht als linear angenommen wird.



**Abbildung 3: Entfernungs-Zeit-Diagramm für die Modellierung einer Wegstrecke von ca. 10km**

Für die Abbildung des eigentlichen Ladevorgangs sind in der Software eine Reihe von hochaufgelösten gemessenen Ladeprofilen für Autos verschiedener Hersteller hinterlegt. Diese werden dann auf die jeweils für einen Ladevorgang benötigte Energiemenge skaliert. Somit entstehen sehr realistische Ladeprofile. Abbildung 1

zeigt ein solches gemessenes Ladeprofil. Man sieht, dass insbesondere die Endphase der Ladung keineswegs über ein einfaches Rechteckprofil abgebildet werden kann.



**Abbildung 1: Gemessenes Ladeprofil eines Nissan Leaf über 6h**

## Fazit

Durch die Integration des Wegekonzepts in den frei verfügbaren Lastprofilgenerator steht für die Zukunft somit ein sehr flexibles und mächtiges Werkzeug bereit, um Ladepprofile für ganz unterschiedliche Lebenssituationen zu erstellen, die auch solche Faktoren wie Urlaub, Krankheit und unterschiedliche Arbeitszeitmodelle berücksichtigen. Mit diesen Profilen ist es deutlich leichter, Untersuchungen zur optimalen Auslegung von Solar-Anlagen und Speichersystemen für Kunden mit Elektroautos zu machen.

## Acknowledgement

This project is carried out within the frame of the Swiss Centre for Competence in Energy Research on the Future Swiss Electrical Infrastructure (SCCER-FURIES) with the financial support of the Swiss Innovation Agency (Innosuisse - SCCER program)

## Literaturverzeichnis

- [1] H. Triebke, G. Göhler, S. Wagner, Data analysis of PEV charging events in rural and business environments-a load behaviour comparison, in: University Stuttgart and Fraunhofer IAO, Germany, 13th Symposium of hybrid and electric vehicles, Februar 23rd and 24th, 2016.
- [2] N. Pflugradt, Modellierung von Wasser und Energieverbräuchen in Haushalten. Dissertation, Chemnitz, Germany, 2016.
- [3] D. Dörner, Bauplan für eine Seele (2001).
- [4] N.R.W. EnergieAgentur, Erhebung „Wo im Haushalt bleibt der Strom? Anteile, Verbrauchswerte und Kosten von 12 Verbrauchsbereichen in 1- bis 6-Personen-Haushalten, 2013.
- [5] N. Pflugradt, LoadProfileGenerator - Homepage, available at <http://www.loadprofilegenerator.de> (accessed on February 28, 2018).