

Elektrofahrzeuge mit PV Strom sind ein neuer Treiber für den PV - Markt – können sie stationäre Batterien ersetzen?

Urs Muntwyler, Benjamin Ulrich
PV Labor Berner Fachhochschule
Jlcoweg 1, CH - 3400 Burgdorf
Telefon: +41 (0)34 426 68 37/ Fax: +41 (0)34 426 68 63
urs.muntwyler@bfh.ch
www.pvtest.ch

Einleitung

Die Vermarktung von PV Strom wird immer schwieriger, weil die kostendeckenden Vergütungen (feed-in-tariffs) immer weniger oder gar nicht mehr greifen¹. So besteht in der Schweiz kaum mehr eine Chance auf eine kostendeckende Vergütung. Bis anhin wurden 12'684 Anlagen mit einer Leistung von 592 MWp bewilligt. Davon sind 11'563 Anlagen mit 526 MWp in Betrieb. Am 3. Januar 2017 waren 35'028 PV Anlagen mit einer Leistung von 2'105 MWp in der Warteliste (in einem Land mit 8 Millionen Einwohner). Gefragt sind deshalb Vermarktungskonzepte für den Selbstverbrauch. Das Potential für den Selbstverbrauch sinkt je mehr energiesparende Elektroanwendungen, wie LED-Beleuchtungen, Wärmepumpen-Heizungen und -Boiler etc. anstelle der bisherigen ineffizienten Verbraucher wie elektrischen Glühbirnen/ FL-Leuchten, Elektroheizungen und Elektroboiler eingesetzt werden.

Ein zusätzlicher Verbraucher, der bis anhin keinen Strom konsumiert hat, ist das Elektroauto. Hier bieten sich Potentiale für zusätzlichen Absatz von Strom aus Photovoltaik-Anlagen. Elektrofahrzeuge mit PV- Strom sind zudem sehr interessant, weil sie günstiger im Betrieb sind als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. So kann sich die Photovoltaik einen neuen Verbrauchermarkt erschliessen, der bis anhin durch die Autos mit Verbrennungsmotoren ausserordentlich ineffizient war. Hier ist die Photovoltaik sofort auch ohne Förderungen konkurrenzfähig. Damit ist der alte Traum der „Solarmobile“, der „Tour de Sol-Solarmobilrennen der 80-er Jahre“ ein business case. Diese „low hanging“ fruit, kann alleine in der Schweiz der PV einen Zusatzmarkt von ca. 8 GWp bringen.

Solar betriebene Elektrofahrzeuge haben einen Mehrfachnutzen

Solar betriebene Elektrofahrzeuge haben einen mehrfachen Nutzen. Sie sind viel effizienter als Autos mit Verbrennungsmotoren (Faktor 3-4) und können mit direkt erzeugten erneuerbaren Energien betrieben werden. In der Schweiz ist das primär die Photovoltaik als zusätzliche Stromquelle. Damit werden die Schadstoff-Emissionen nicht reduziert, sondern eliminiert.

Elektrofahrzeuge können aber auch helfen den PV-Strom zielgenauer zu verwerten und so den Eigenverbrauch zu erhöhen. Dies ist eine kommerziell sehr interessante Applikation. In der Schweiz gehen erste EWs soweit, dass sie unter Benutzung ihres

Monopols beim Endkunden (unter 100'000 kWh/ Jahr) für PV-Überschuss-Strom minime Rückspeisetarife offerieren. So bezahlen die bernischen Kraftwerke BKW, eine der drei grossen Stromfirmen der Schweiz noch ca. 4 Cent €/ kWh. Wird anstelle dessen ein Elektroauto geladen, so fährt dieses Fahrzeug nahezu gratis. Im Extremfall bei 2'500 kWh/ Jahr (12'000km Jahresfahrleistung) kostet die Fahrenergie noch 100€. Wie eine solche Überschuss-Ladung funktionieren könnte, haben zwei Diplomanden der Berner Fachhochschule in Burgdorf im Rahmen ihrer Diplomarbeit gezeigtⁱⁱ.

Elektrofahrzeug mit bidirektionalem Speicher (Vehicle to grid V2G)

Das Elektrofahrzeug kann aber noch mehr. So könnte seine Batterie auch als Puffer für Solarstrom eingesetzt werden, der in den Haushalt eingespeist werden kann. Das PV Labor der Berner Fachhochschule hat ihren Nissan LEAF entsprechend im Rahmen einer Diplomarbeit umgebaut. Das Fahrzeug kann nun am Netz geladen und über seinen DC-Batteriezugang Energie auf einen Wechselrichter speisen. Dieser kann als Stromquelle z.B. in der Nacht eingesetzt werdenⁱⁱⁱ.

Dieses als vehicle to grid V2G genannte Verfahren geniesst international viel Aufmerksamkeit. Eine Arbeitsgruppe (Task 28) der Transport Collaboration Group „Hybrid- and electric vehicles“ der Internationalen Energie-Agentur IEA arbeitet an den Aspekten des V2G oder V2X (Fahrzeug zu „irgendwas“). Dabei steht die internationale Koordination im Vordergrund. Forschungsinstitute und Firmen aus Europa, USA, Kanada und Südkorea sind beteiligt^{iv}. Das PV Labor der Berner Fachhochschule vertritt die Schweiz in dieser Arbeitsgruppe. An einem dieser Meetings kam auch die Idee auf, einen Nissan LEAF bidirektional zu betreiben und als Versuchsplattform zu benutzen.

Nissan LEAF als bidirektionale Batterie

Das PV Labor der BFH beschaffte sich einen Nissan LEAF, um mit ihm einen bidirektionalen Betrieb zu realisieren. Ziel ist es, verschiedene Anwendungen zu testen, um zu lernen, wo mögliche „business cases“ liegen. Hinweise auf solche gab eine Masterdiplomarbeit eines Studenten im Frühling 2016^v. Der Umbau des Nissan LEAF war etwas komplizierter als erwartet. Die Nissan Vertretungen waren keine grosse Hilfe und wir wollten kein fertiges Paket beschaffen. So wurde eine BSc-Diplomarbeit ausgeschrieben, mit dem Ziel die Hardware und Software für den sicheren Anschluss eines Wechselrichters an den Nissan LEAF zu realisieren. Ideal wäre natürlich eine eingebaute bidirektionale Lade-/ Entladeeinheit, aber davon sind wir noch weit entfernt. Es sollte also die bestehende Ladeeinrichtung verwendet werden und ein möglichst vorhandener Wechselrichter mit nicht allzu grosser Leistung verwendet werden. Wird die Batterie aus dem Elektromobil zur Eigenverbrauchserhöhung (EVO) benutzt, so sind nur kleinere Ladeleistungen gefragt. Damit sind die Verluste klein und die Kosten werden minimal gehalten.



Abb. 1: Nissan LEAF des PV Labors der Berner Fachhochschule im Solarcarport

Das Ladeschema des Nissan LEAF:

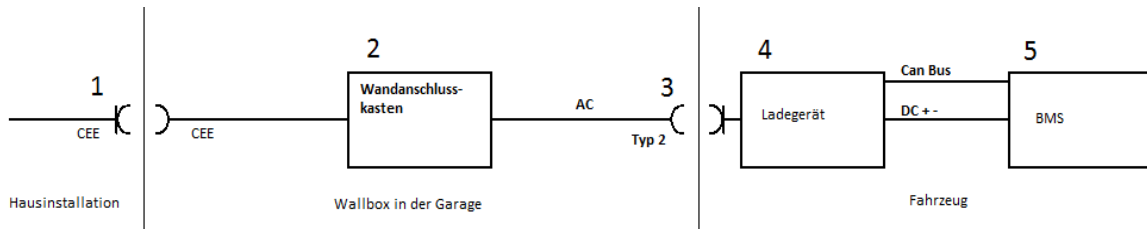


Abb. 2: AC Normalladung des Nissan LEAF

Der Nissan LEAF kann auch direkt auf DC-Basis nach der aus Japan stammenden CHAdeMO Schnelllade-Norm geladen werden:

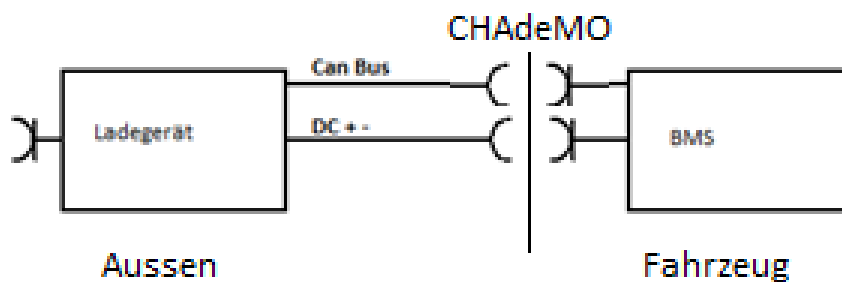


Abb. 3: CHAdeMo DC-Schnelladevariante des Nissan LEAF

Die dazu nötigen Stecker sind entsprechend der maximalen Ladeleistung von 50 kW, was beim Nissan LEAF Strömen bis 150 ADC entspricht „grössere Kaliber“:

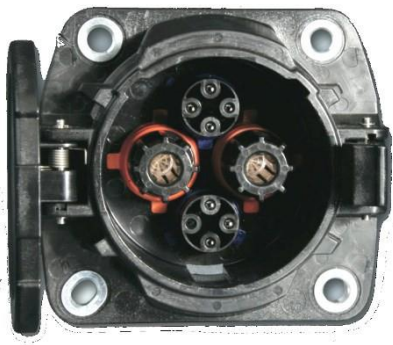


Abb. 4: CHAdeMo DC-Stecker

Die CHAdeMo DC-Stecker sind der Zugang zur Fahrzeugbatterie des Nissan LEAF:

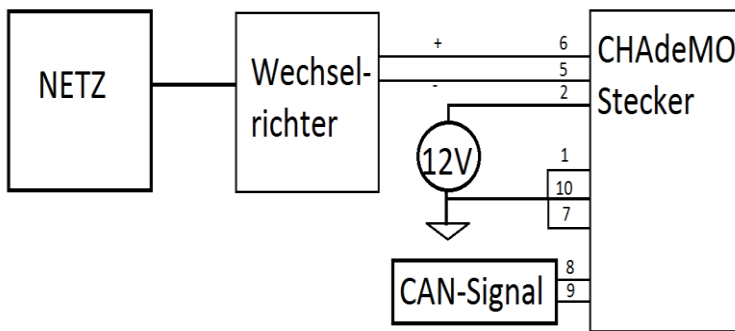


Abb. 5: Schema zur Entladung der Fahrzeugbatterie über den CHAdeMO Zugang

Abb. 6: CHAdeMO-Stecker im Nissan LEAF

Es muss also eine Kommunikation über einen CAN-Bus aufgebaut werden. Wie das gemacht wird, ist in einem Flowchart-Diagramm beschrieben.

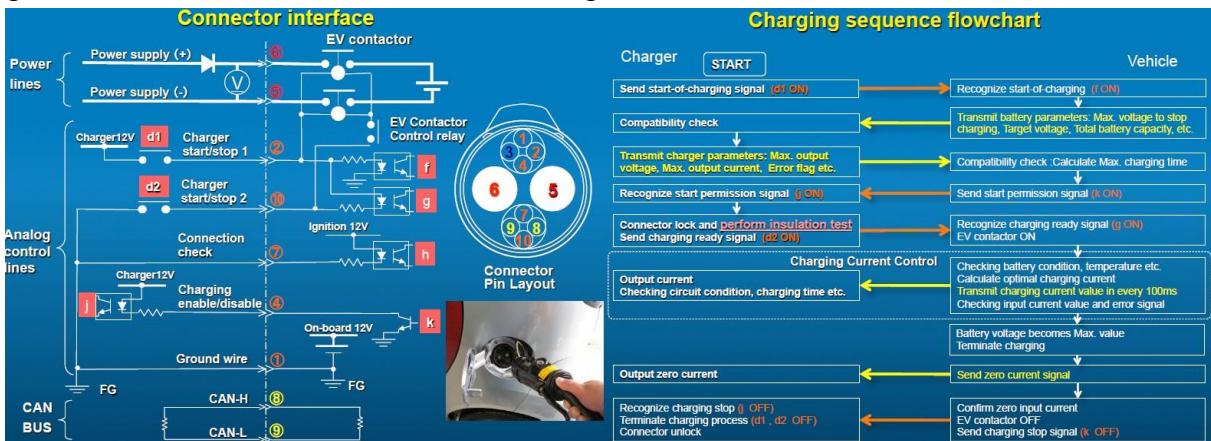


Abb. 7: Flowchart Diagramm für CHAdeMO Freischaltung des Nissan LEAF

Zur Aufzeichnung des CAN-Protokolls wurde eine kommerzielle Ladesäule aufgesucht und das CAN-Protokoll kopiert:



Abb. 8: Aufzeichnen des CAN-Protokolls an einer kommerziellen Ladesäule

Damit konnte die Ladesteuerung mit Wechselrichter aufgebaut werden:

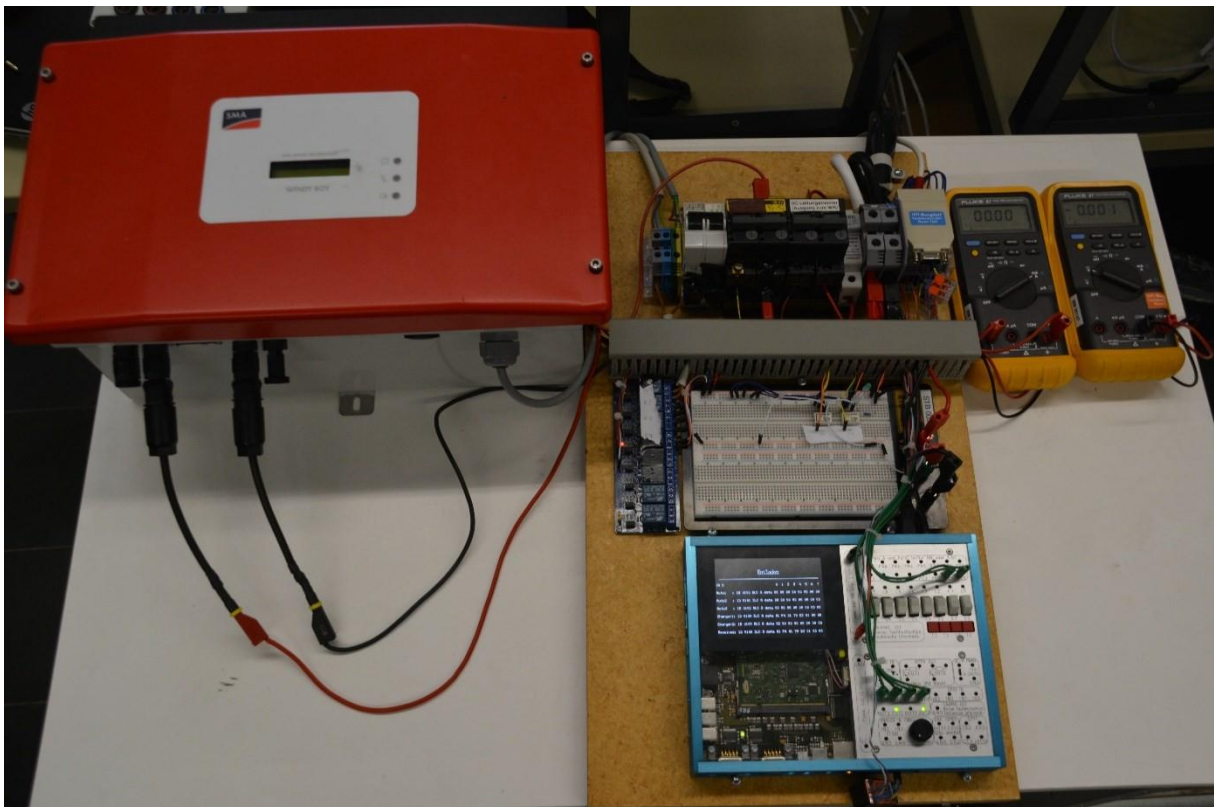


Abb. 9: Entladeaufbau mit Standard-Wechselrichter (für Windgenerator) und den Mess-, Signalkonversions-, Kommunikations- und Schutzeinrichtungen

Die Steuerung zur Zuschaltung des Wechselrichters wurde wie folgt programmiert:

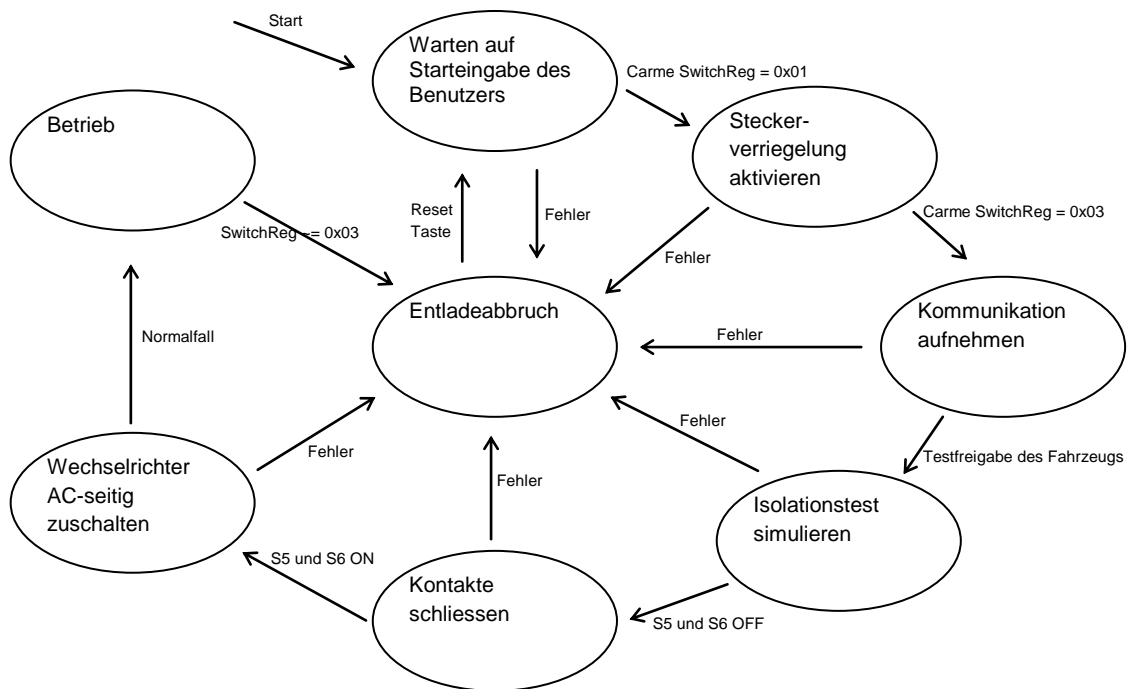


Abb. 10: Ablauf der Steuerungsablauf

Damit war der Zugriff auf die Batterie möglich und erste Messungen konnten gemacht werden. Batterie-Leerlaufspannung des LEAF gemessen in Funktion des State of Charge SOC der Batterie:

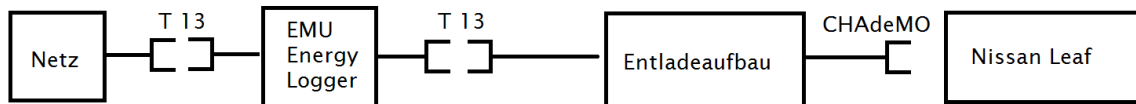


Abb. 11: Messaufbau Entladung Nissan LEAF

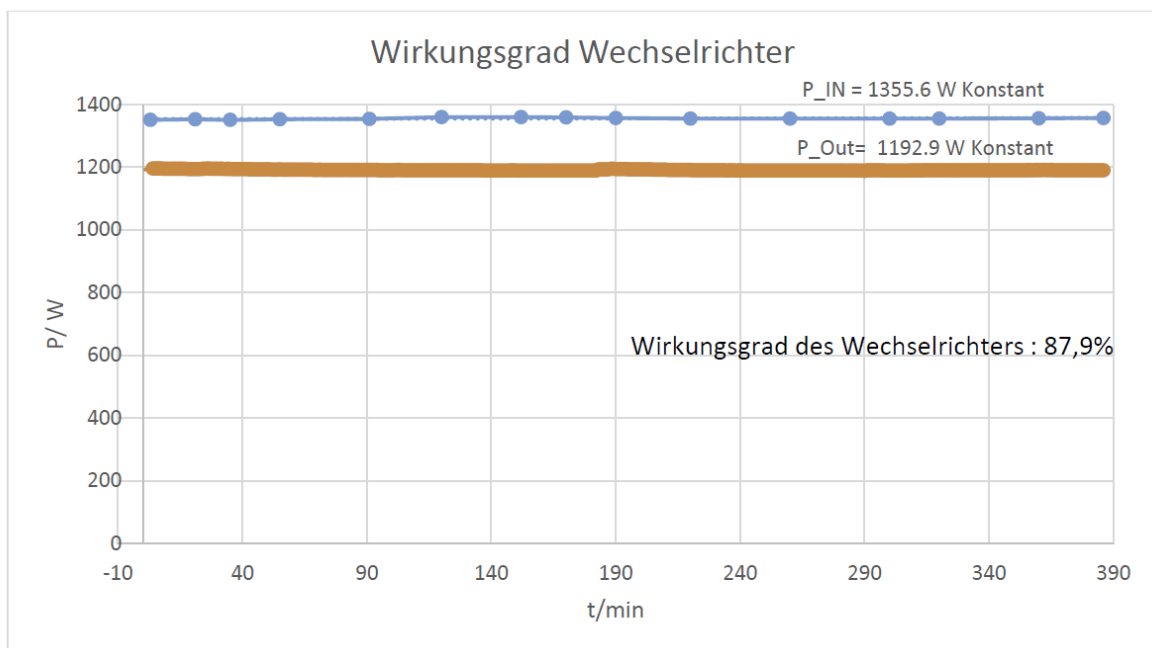


Abb. 12: Wirkungsgrad des Wechselrichters

Der Wirkungsgrad des Wechselrichters (galvanisch getrennt) konnte gemessen werden.

Nun konnten auch die Wechselrichter Wirkungsgrad beim Auf- und Entladen gemessen werden:

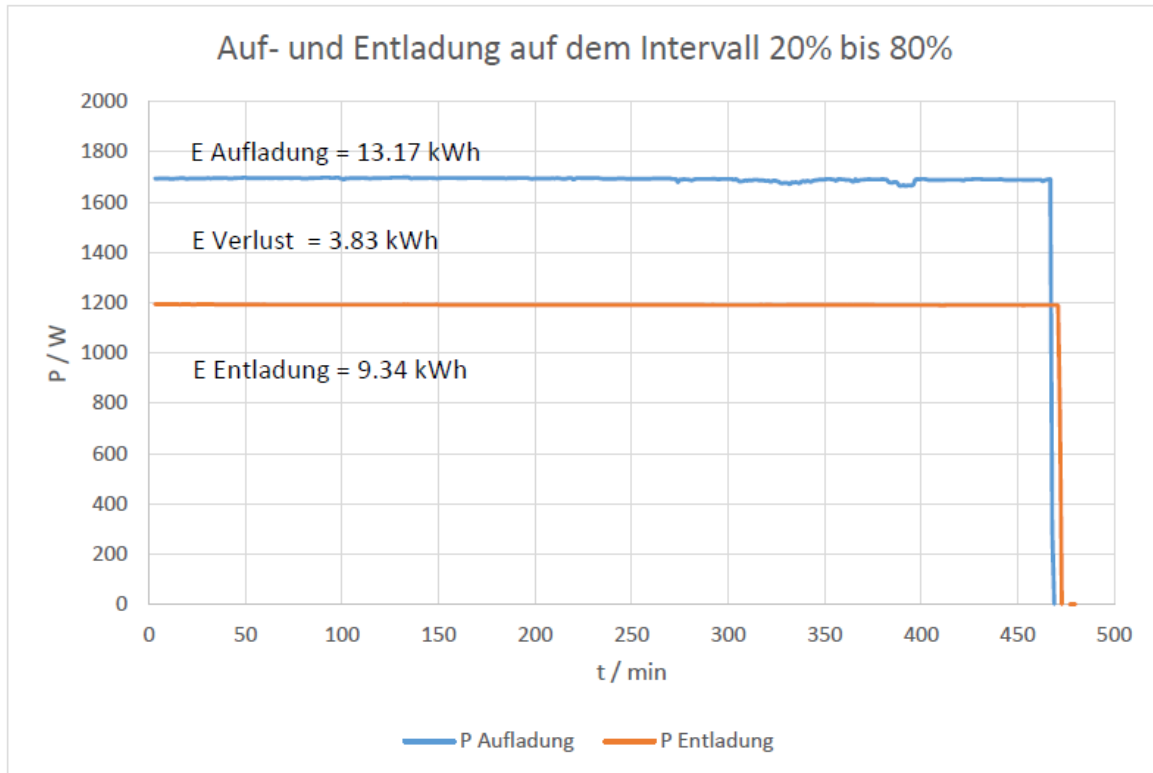


Abb. 13: Gesamtwirkungsgrad im Arbeitsbereich 70.9%

Fazit: Solarstromspeicherung im Elektrofahrzeug hat grosses Potential

Der Wirkungsgrad von 70.9% mag nicht sehr hoch sein. Er kann aber leicht verbessert werden mit optimierten Komponenten und Betriebsverfahren. Hier wurden aus Kostengründen „zusammengewürfelte Komponenten“ verwendet. In einem nächsten Schritt, wird der technische Aufbau kompakter und robuster aufgebaut, so dass Messungen und „user cases“ getestet werden können. Mit dem Zugriff auf die Batterie des Elektrofahrzeuges stehen dem PV-Anlagenbesitzer der Zukunft eine günstige Speichermöglichkeit zur Verfügung, die die stationären Batterien ersetzen können. Weil die Batterie dann in der Kostenrechnung sehr günstig aussieht, wird die Speicherung von Solarstrom sehr attraktiv^{vi}.

Wirtschaftlichkeit E-Mobilvarianten mit Einbezug von bidirektionalen E-Mobilen

In der folgenden Darstellung werden verschiedenen Elektrofahrzeug-Varianten verglichen:

- Elektrofahrzeug ohne PV
- Elektrofahrzeug mit PV
- Elektrofahrzeug mit PV und stationärem Batteriespeicher
- Elektrofahrzeug mit PV bidirektional
- Elektrofahrzeug mit PV bidirektional und Ausnutzen des Hoch- und Niedertarifs (wie er in der Schweiz üblich ist)

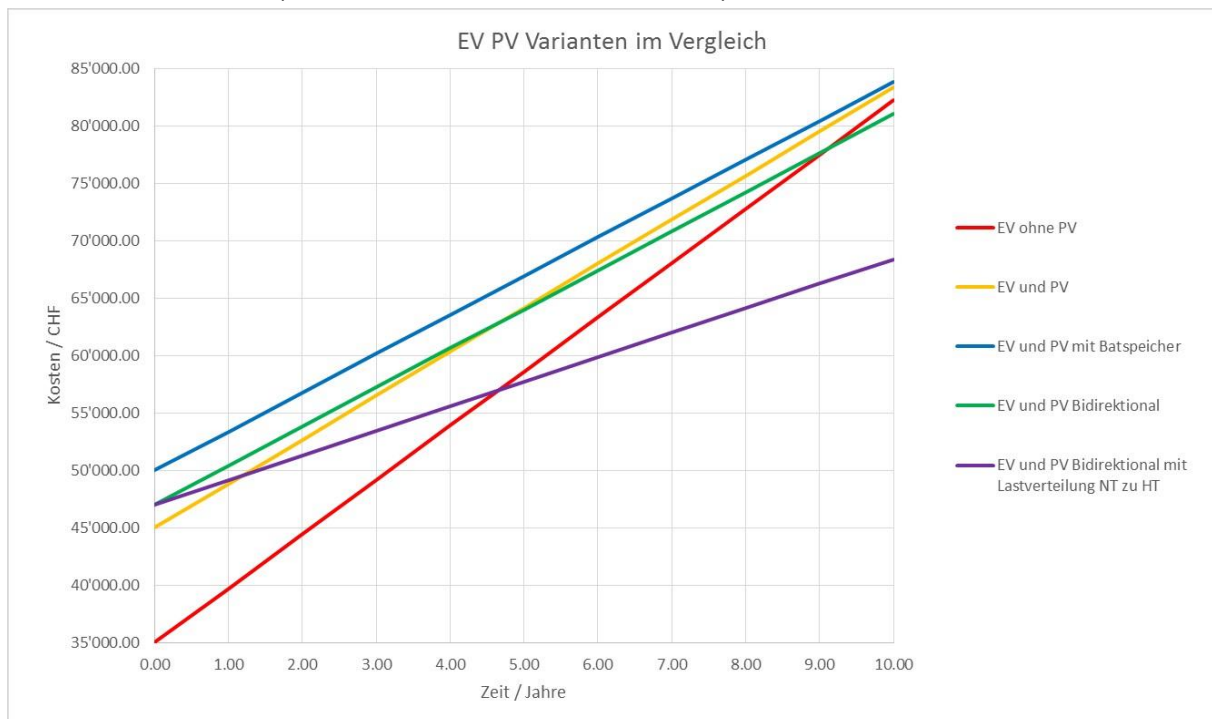


Abb. 14: Bidirektionale Elektrofahrzeuge bringen Kostenvorteile

Dabei sind natürlich die angenommenen Rahmenbedingungen zu beachten. So kostet das Elektrofahrzeug Fr. 35'000.- (ca. 35'000 €). Die 2,5 kWp PV-Anlagen kostet Fr. 5'000.- (analog €.). In Zukunft sollte das Elektromobil mehr in der Region von Fr. 20'000.- bzw. Euro sein. Der Aufpreis für ein Bidirektionales Fahrzeug mit Batterienutzung unter den hier angenommenen Fr. 5'000.- (analog €) sein. Es sei aber daran erinnert, dass der Durchschnittspreis eines Autos in der Schweiz bei sFr. 41'370.- liegt^{vii}. Dies bei einer Mehrwertsteuer von nur 8%. Es ist also eine Preiselastizität vorhanden, die durchaus die Anschaffung eines Elektroautos möglich macht. Dies wird unterstrichen durch die Tatsache, dass der Tesla sich in der Schweiz besser verkauft als die drei bestverkauften Oberklasse-modelle deutscher Automobilhersteller zusammen^{viii}.

Zukünftige Geschäftsmodelle gehen über die Energie hinaus

Weitere Geschäftsmodelle mit Elektrofahrzeuge, die über das Fahren hinausgehen, sind im folgenden Beispiel angetönt. Hier werden in einem Parkhaus eines

Flugplatzes die Elektrofahrzeuge zur Bereitstellung von Regelenergie zur Netzstabilisierung zusammengefasst. Bei der Primärregelung müssen mindestens 1 MW angeboten werden. Bei 50 kW müssen mindestens immer 40 Elektrofahrzeuge verfügbar sein. Bei einer Investitionssumme von 160'000.- für die Installation (Fr. 4'000.- pro Fahrzeug) ist dies nicht rentabel. Auch die Bereitstellung von Sekundärregelung von mindestens 5 MW ist nicht rentabel. Erst bei der Tertiärregelung über 5 MW oder mindestens 100 Elektrofahrzeugen ergibt sich eine Rentabilität bei den angenommenen Rahmenbedingungen. Bei gesunkenen Komponenten-, und -installationspreisen werden die rentablen Betriebsfälle früher erreicht. Nun kann man sich natürlich weitere Varianten von „zusammengeschlossenen Elektromobilen vorstellen, die PV-Strom konsumieren. Gerade der Fall eines Parkhauses mit längeren Parkzeiten wird da interessant.

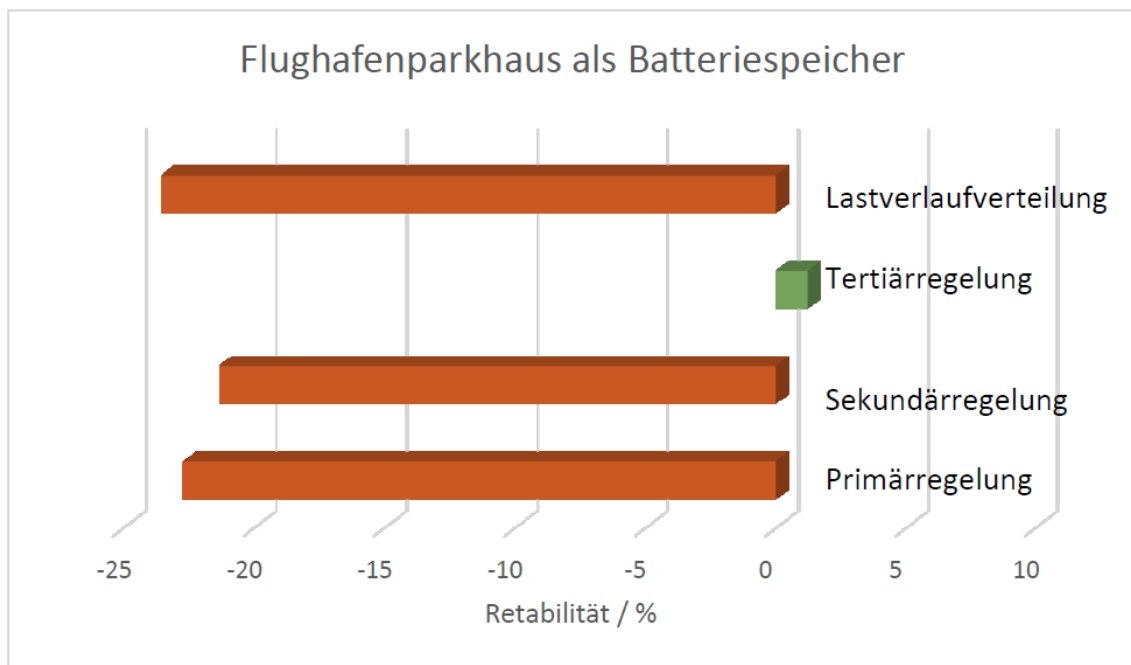


Abb. 15: Die Rentabilität zeigt sich nur knapp bei der Tertiärregelung

Ausblick

Die Nutzung von Elektrofahrzeugen als PV-Speicher ist technisch realisierbar. Es hat hier noch grosse Verbesserungspotentiale im Bereich der Fahrzeuge, der bidirektionalen Elektronik und der Systemführung. Erschwerend kommt hinzu, dass verschiedene Branchen (Autoindustrie/ PV-/Elektro-Branche/ Stromversorger) zusammenarbeiten sollten. Hier ist eventuell Platz für einen neuen Player, der dies alles schneller umsetzen kann.

Ein Elektroauto mit PV-Strom ist viel günstiger als ein Benzinauto. So produziert eine 2,5 KWp PV Anlage, den Strom über ca. 30 Jahre. Dies entspricht einer Benzinmenge von ca. 27'000 l in der Lebensdauer der PV-Anlage. Die noch höheren

Anschaffungspreise und Beschränkungen in der Reichweite, welche für Nicht-E-Mobilfahrer eine Barriere darstellen, hemmen die Verbreitung der E-Mobile.

Mit geeigneter Lade-Infrastruktur können Elektromobile zusätzliche Vorteile generieren. Jetzt kann die Batterie des Elektrofahrzeuges, welche in Zukunft bei 40-60 kWh (Opel Ampera-e/ Tesla 3 etc.) auch bei kleineren Modellen liegt, für weitere Anwendungen benutzt werden.

So wird der Traum der Solarpioniere der 80-er Jahre Realität^{ix}. PV gespeiste Elektrofahrzeuge werden in Zukunft den Massenmarkt erreichen, was der Anwendung der Photovoltaik weiteres Volumen erschliesst.

ⁱ www.swissgrid.ch, KEV/ EIV

ⁱⁱ Analyse und PV-optimierte Ladestrategie für Solarcarport der BFH, Michael Briggeler/ Pascal Amiet, BSc-Diplomarbeit 2016 bei Professor Urs Muntwyler, Berner Fachhochschule TI, Burgdorf

ⁱⁱⁱ Bidirektionales Laden von Elektrofahrzeugen, Benjamin Ulrich, BSc-Diplomarbeit 2017 bei Professor Urs Muntwyler, Berner Fachhochschule TI, Burgdorf

^{iv} Annual report 2016, Task 28 – Home grids and V2X Technologies, page 115-123, IEA TCP HEV, download annual report 2016: IEAHEV.org

^v Douglas Urena Hunziker, MSE Diplomarbeit 2016

^{vi} Jonas Wälten, Kostenberechnungen von dezentralen Batterien in PV-Anlagen, internes Papier des PV Labors der Berner Fachhochschule, Februar 2017

^{vii} Auto Scout Dezember 2016

^{viii} Annual Report 2016, IEA TCP HEV

^{ix} Solarmobile, Sonderheft „Schweizer Illustrierte“, Christa Dettwiler/ Urs Muntwyler, S. 106 1985