

Steigerung des Elektrizitätseigenverbrauchs von Heim-Fotovoltaikanlagen durch Elektrofahrzeuge

Thomas Kaschub · Patrick Jochem · Wolf Fichtner

Zusammenfassung Durch die Energiewende und die Förderung der erneuerbaren Energien wurden bereits über eine Million Fotovoltaikanlagen (PV) in Deutschland installiert. Die Entwicklung im Verkehrsbereich hin zu weniger Emissionen, bringt eine Elektrifizierung des Antriebsstranges mit sich. Dadurch wird Elektromobilität in Zukunft eine wesentliche Rolle spielen. Ist in einem Eigenheim sowohl eine PV-Anlage als auch ein Elektrofahrzeug (EV) vorhanden, stellt sich die Frage, wie diese sich sinnvoll ergänzen und zu einer stärkeren Eigennutzung des PV-Stroms führen. Ein EV zeichnet sich dabei durch eine hohe Energienachfrage und grundsätzliche Flexibilität beim Laden aus.

Mit Hilfe eines optimierenden Modells werden verschiedenste Systemkombinationen aus Haushaltlast, Mobilitätsprofil und Einbindung des EV ins Eigenheim untersucht. Eine Integration des EV ins Eigenheim z. B. durch gesteuertes Laden wirkt sich sowohl positiv auf den Eigenverbrauchsanteil aus als auch auf den Kapitalwert der PV-Anlage. Eine EEG-Vergütung der PV-Anlage ist dabei mittelfristig nicht mehr nötig.

1 Einführung

Die Energiewende in Deutschland setzt einen Schwerpunkt auf den Umbau der Elektrizitätserzeugung hin zu mehr erneuerbaren Energien. Der Weg zu weniger Emissionen, weniger Importabhängigkeit und mehr Nachhaltigkeit betrifft ebenso den Transportsektor. Insbesondere die Elektromobilität scheint hier in Kombination mit erneuerbaren Energien ein großes Potential zu haben (Dallinger 2012).

Die politische Unterstützung der Energiewende im Elektrizitätssektor erfolgt wesentlich durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2008), das seit dem Jahr 2000 existiert und immer wieder aktualisiert wurde (letzte Änderung Dez. 2012).

Im Folgenden werden zunächst die Entwicklung von PV hin zum Eigenverbrauch und die Charakteristiken von Elektromobilität eingeführt. Darauf folgt die Modellbeschreibung zur Untersuchung des Eigenverbrauchs. Daran schließen die Ergebnisse an.

1.1 Fotovoltaik und Eigenverbrauch

Insbesondere bei Fotovoltaikanlagen (PV-Anlagen) besteht die Möglichkeit, relativ kleine Anlagen auf Wohnhausdächflächen zu installieren. Durch die guten und verlässlichen Rahmenbedingungen wurden bis Ende 2012 bereits über 1,2 Mio. Anlagen installiert (BSW-Solar 2013). Die Preise

für diese PV-Anlagen sind seit 2006 von ca. 5.100 €/kWp auf aktuell ca. 1.700 €/kWp gefallen (BSW-Solar 2013) was sich in den EEG-Vergütungssätzen von 51,80 ct/kWh in 2006 und 14,27 ct/kWh für Dach-Kleinanlagen bei einer Installation im Oktober 2013 widerspiegelt (BNetzA 2013a). Der durchschnittliche Strompreis für Haushaltskunden stieg von knapp 19 ct/kWh in 2006 auf über 26 ct/kWh in 2012 (BNetzA 2013b). Dadurch ist es inzwischen vorteilhaft den PV-Strom einer neuen PV-Anlage selbst zu verbrauchen anstatt diesen ins Stromnetz einzuspeisen. Selbst im gewerblichen und industriellen Bereich sind PV-Anlagen zum Eigenverbrauch inzwischen teilweise lohnenswert. Durch eine passende Dimensionierung der Anlage sind hier Eigenverbrauchsanteile von über 90% erreichbar. In Eigenheimen sind jedoch selbst bei passend dimensionierten PV-Anlagen in der Regel lediglich 20 bis 35% Eigenverbrauch erreichbar. Es gibt verschiedene Möglichkeiten diesen Eigenverbrauchsanteil zu vergrößern:

- a. manuelle Lastverlagerung,
- b. automatisierte Lastverlagerung und
- c. Speicherung.

Lastverlagerung zielt in diesem Fall darauf ab, Haushaltsgeräte dann zu nutzen, wenn die Sonne viel Energie liefert. Zum Beispiel kann die Spülmaschine anstatt abends auch mittags angeschaltet werden. Die Möglichkeiten einer solchen manuellen Lastverlagerung sind allerdings begrenzt, besonders wenn tagsüber niemand zu Hause ist. Durch eine Automatisierung, z. B. durch ein Energie-Management-System (EMS), könnten Lastverlagerungen einfacher und zuverlässiger realisiert werden (Paetz et al. 2011). Allerdings ist ein Markt für solche EMS erst im Entstehen. Weiterhin sind die verschiebbaren Lasten in Haushalten (HH) sehr begrenzt, wenn man das EV außer Acht lässt (Jochem et al. 2012). Eine Alternative zur Lastverlagerung ist daher die Speicherung der elektrischen Energie. In der Regel sind hierfür stationäre Batteriespeicher mit Lithium-Ionen- oder Blei-Technologie einsetzbar. Allerdings ist dieser Markt ebenfalls noch jung und die Systeme aktuell noch teuer. Die spezifischen Preise lagen in der letzten Preisübersicht zwischen 2.000 und 3.500 €/kWh installierter Kapazität (PV Magazine 2013).

Neben dem direkten Ziel einer Steigerung des Eigenverbrauchs und damit der Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage durch Lastverlagerung und Speicherung, können diese Möglichkeiten auch zur besseren Integration von anderen erneuerbaren Energien wie bspw. Windenergie und zur Netzentlastung genutzt werden.

Mit dem Thema der PV-Eigennutzung haben sich schon andere Studien beschäftigt. Staudacher und Eller (2012) zeigen, dass für verschiedene Varianten einer PV-Anlagenutzung ohne EV der Eigenverbrauch lohnenswert ist – der Einsatz eines stationären Batteriespeichers aktuell jedoch

noch nicht. Haubrock et al. (2012) berücksichtigen in ihren technischen Simulationen lediglich einen EV-Ladevorgang. Richardson (2013) stellt fest, dass die Interaktion zwischen EV und PV bisher wenig untersucht wurde und motiviert damit zusätzlich diesen Beitrag.

1.2 Laden von EV zu Hause

Elektromobilität wird seit Jahren propagiert und von der Bundesregierung und Ministerien mit verschiedensten Forschungsprojekten unterstützt. Weltweit steigen die Zulassungszahlen und die Anzahl verfügbarer Modelle, so dass eine starke Verbreitung für die nächsten Jahrzehnte angenommen wird (u. a. UKPIA and RAC 2013).

Ein batterieelektrisches Fahrzeug (BEV) braucht bei durchschnittlicher Fahrleistung von etwas über 12.000 km pro Jahr und 0,2 kWh/km Verbrauch ca. 2.400 kWh/a Strom. Dies liegt in der gleichen Größenordnung eines Mehrpersonenhaushaltes. Ein Plug-in Hybrid (PHEV) hat zusätzlich einen Verbrennungsmotor, der bei längeren Distanzen unterstützt. Je nach Mobilitätsbedarf, liegt der Strombedarf in ähnlicher Höhe. Abbildung 1 zeigt den Einfluss eines Fahrzeugladevorgangs am Abend anhand eines Tageslastverlaufes eines HH. Nicht nur der Strombedarf ist außergewöhnlich hoch, auch die Ladeleistung übertrifft den Stromverbrauch aller anderen Haushaltsgeräte. An deutschen Haushaltsanschlüssen ist es in der Regel technisch problemlos möglich mit noch höheren Leistungen, z. B. mit 11 kW, zu laden.

Mit der neuen internationalen Norm ISO-15118 ist es möglich, das Laden des EV zu steuern und ins EMS des Eigenheims zu integrieren. Dadurch wird es zum Beispiel möglich die maximale Ladeleistung zu beschränken. Dies wird gerade im Forschungsprojekt iZEUS am KIT erforscht

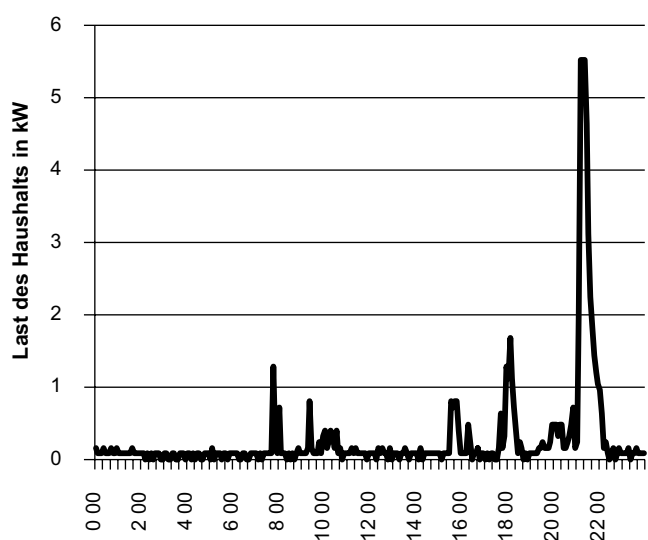


Abb. 1 Lastverlauf eines Haushalts inkl. Laden eines EV am Abend

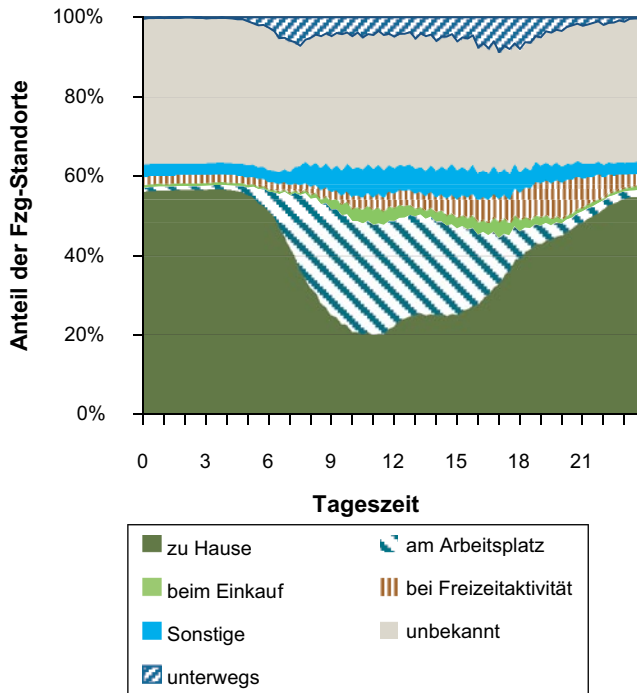


Abb. 2 Abstellorte von Fahrzeugen im Tagesverlauf

(iZEUS 2013). Die Möglichkeit die Batterie des EV als Speicher zu nutzen, hängt wesentlich an der Fähigkeit des Fahrzeugumrichters Rückspeisung zu ermöglichen. Somit kann ein EV technisch sowohl als verschiebbare Last als auch als Batteriespeicher eingesetzt werden. Man sollte bei diesen Eingriffen beachten, dass die oberste Priorität eines Fahrzeugs weiterhin das uneingeschränkte Fahren sein sollte.

Anhand deutschlandweiter Mobilitätsstudien wie der Mobilität in Deutschland (MiD 2010) lässt sich das Mobilitätsverhalten untersuchen. Hierbei zeigt sich, dass die Fahrzeuge meistens nicht fahren sondern parken (vgl. Abb. 2). Nachts stehen fast alle Fahrzeuge zu Hause, tagsüber steht ein wesentlicher Anteil am Arbeitsplatz. Da etwa ein Drittel der Fahrzeuge am Stichtag überhaupt nicht genutzt wurden, ist deren Standort nicht bekannt. Wahrscheinlich ist, dass ein Großteil dieser Fahrzeuge ebenfalls zu Hause steht und damit diesen Anteil deutlich steigert.

EV, die tagsüber am Arbeitsplatz stehen an dem eine PV-Anlage verfügbar ist, lassen sich grundsätzlich mit Sonnenstrom laden. Interessanter ist die Frage, in wie weit EV am Eigenheim zu einer Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils beitragen können. Dies wird im Folgenden anhand der technischen Möglichkeiten modellgestützt untersucht. Weitere Einflussfaktoren wie insbesondere die Nutzerakzeptanz werden hier nicht berücksichtigt und reduzieren ggf. die Lastverlagerungspotenziale. Paetz et al. (2012) zeigt bspw. eine grundsätzliche Akzeptanz zur Verlagerung von Ladevorgängen aber auch Einschränkungen auf.

2 Modellierung und Annahmen

Um die Frage zu untersuchen, in wie weit ein EV den Eigenverbrauch der PV-Anlage positiv beeinflussen kann wird ein Optimierungsmodell verwendet. Dieses berechnet die optimalen Ladezeiten und den Ladeleistungsverlauf. Zielgröße ist dabei die Maximierung des Kapitalwertes der PV Anlage unter Berücksichtigung der jährlichen Ausgaben für Strombezug und Einnahmen aus der PV-Stromeinspeisung (vgl. Gl. 1). Wartungskosten werden dabei vernachlässigt.

$$\begin{aligned} \max NPV = & - Inv^{PV} \\ & + \sum_{a,t} \left[\left(-P_t^{Netz} ZS p_a^{Netz} - P_t^{EV2H} ZS p^{AN,EV} \right. \right. \\ & \left. \left. + P_t^{PV,Netz} \right) / (1+i)^a \right] \end{aligned} \quad (1)$$

Mit der Bilanzgleichung (2) wird sichergestellt, dass durch das EMS zu jeder Zeit die Stromnachfrage durch das Angebot gedeckt wird.

$$P_t^{HH} + P_t^{EV,laden} = P_t^{PV,eigen} + P_t^{Netz} + P_t^{EV2H} \forall t \in T \quad (2)$$

Legende

NPV	Kapitalwert (Net Present Value)
<i>Inv^{PV}</i>	Investition der PV-Anlage
P_t^{Netz}	Strombezug aus dem Netz
P_t^{EV2H}	Rückspeisung vom EV ins Haus
P_t^{PV,Netz}	PV-Strom Netzeinspeisung
<i>P_t^{HH}</i>	Haushaltslast
P_t^{EV,laden}	EV Ladelast
P_t^{PV,eigen}	PV Eigenstromverbrauch
ZS	Dauer einer Zeitscheibe
<i>p_a^{Netz}</i>	Strompreis
<i>p^{AN,EV}</i>	Abnutzungspreis der EV-Batterie
<i>p_a^{PV}</i>	PV Einspeisevergütung
a	Jahre
t, T	Zeitscheibe(n)
i	Zinssatz

Hinweis: Variablen sind fett markiert

Weitere Gleichungen¹ berücksichtigen technische Restriktionen oder Zusammenhänge von PV bzw. EV. Das Modell berechnet jeweils für ein Eigenheim ein volles Jahr in vierstündlicher Auflösung. Für die Sonneneinstrahlung werden die Testreferenzjahre des DWD genutzt (DWD 2004). Für die Fahrzeugnutzung werden Wochenprofile aus dem Mobilitätspanel (MOP 2010) verwendet und eine gleich-

¹ Diese können bei den Autoren angefragt werden.

Tab. 1 Kategorisierung der Mobilitätsprofile

	Jahresfahrleistung ^a	Anteil Parken ^b tagsüber zu Hause, Mo-Fr
BEV 05	Hoch	Gering
BEV 13	Hoch	Mittel
BEV 20	Gering	Hoch
PHEV 06	Gering	Hoch
PHEV 24	Gering	Gering

^aHoch: >40.000 km/a, gering: <15.000 km/a

^bHoch: >95 %, gering: <60 %, mittel: dazwischen

bleibende Mobilitätsnutzung über alle Wochen und Jahre angenommen. Deshalb genügt die Berechnung eines Jahres. Zur Berechnung des Kapitalwerts werden die jährlichen Ausgaben mit einem Zinssatz von 5 % abgezinst. Betrachtungszeitraum sind 20 Jahre, die auch als Lebensdauer einer PV-Anlage angenommen werden. Als Investitionsjahr wurde 2016 gewählt. Zur Berücksichtigung der unterschiedlichsten Haushaltstypen und Mobilitätsanforderungen werden mehrere Modellrechnungen durchgeführt.

Die Investition der PV-Anlage wird mit 1.904 €/kWh_p für das Jahr 2012 angenommen (BSW-Solar 2013) und mit –12 % pro Jahr extrapoliert. In den letzten sechs Jahren lag der Preisverfall bei ca. 15 %/a (BSW-Solar 2013). Es wird weiterhin von einem geringen Ertrag von 750 kWh/kW_p ausgegangen. Wartungskosten werden vernachlässigt. Weiterhin wird keine EEG-Vergütung angenommen, sondern lediglich eine fixe Vergütung von 4 ct/kWh über den gesamten Zeitraum, was in der Größenordnung aktueller Strommarktpreise liegt. Die Dimensionierung der Anlage erfolgt nach dem Strombedarf des Eigenheims inkl. EV und deckt bilanziell 100 % des Eigenbedarfs.

Beim EV wird lediglich die Batterieabnutzung durch Rückspeisen berücksichtigt². Die Mobilitätsbereitstellung ist Primärzweck des Fahrzeugs. Es wird angenommen, dass diese allein die Anschaffung motiviert. Für die Modellierung des Mobilitätsbedarfes wurden fünf Fahrzeugprofile aus dem Mobilitätspanel (MOP 2010) ausgewählt. Entscheidend war eine Kategorisierung nach Jahreskilometern und dem Zeitanteil, an dem das Fahrzeug an Werktagen tagsüber (8-19 Uhr) zu Hause geparkt wurde (vgl. Tab. 1).

Der Strompreis wurde mit 25,1 ct/kWh für 2011 angenommen und mit +3 % Preissteigerung (vgl. BMWi 2012) für die kommenden Jahre extrapoliert. Für den Strombedarf der Eigenheime wurden elf verschiedene Haushalts-Jahreslastgänge genutzt. Diese wurden kategorisiert nach dem Jahresstrombedarf und dem Stromanteil der tagsüber (8-19 Uhr) an Werktagen verbraucht wurde (vgl. Tab. 2).

² Das sind 600 €/kWh/ 7.000 Zyklen=8,6 ct/kWh.

Tab. 2 Anzahl HH je Lastgangkategorie

Jahresstrombedarf ^a				
Hoch	Mittel	Niedrig		
1	2	–	Hoch	Anteil ^b
2	2	2	Mittel	tagsüber
–	2	–	Niedrig	Mo-Fr

^ahoch: >6.000 kWh/a; niedrig: <2.000 kWh/a

^bhoch: >65 %; gering: <50 %

2.1 Systemvarianten und Ladeszenarien

Da die Integration des EV ins Eigenheim von zentraler Bedeutung ist, wurden vier Varianten betrachtet:

keinEV Variante ohne EV

EVstart EV wird sofort nach Ankunft am Eigenheim geladen

EVsmart EV wird gesteuert (bzw. geregelt) geladen

EV2H EV ist bidirektional ans Eigenheim angebunden und kann gesteuert geladen und entladen werden

Zur Kapitalwertberechnung wird das System bei allen Varianten sowohl ohne PV-Anlage als auch mit PV-Anlage berechnet. Anhand der beispielhaften Haushaltslastgänge und Mobilitätsprofile wurden jeweils 55 Kombinationen betrachtet, um den großen Unterschieden der Einflussparameter Rechnung tragen zu können. Dabei werden ausschließlich Einzelhäuser betrachtet, so dass immer ein Haushalt mit einer PV-Anlage und einem EV kombiniert wurde.

Für die Implementierung der Varianten EVsmart und EV2H wurden anhand der Ladeszenarien „sofort Vollladen“ und „spätestes Minimalladen“ die Randwerte der möglichen Ladezustände (SoC – state of charge) ermittelt (Kaschub et al. 2013a). Innerhalb dieser kann das Modell den optimalen Ladezustand im Zeitverlauf ermitteln.

3 Modellergebnisse

Die verwendeten Systemkombinationen und Varianten sind nicht repräsentativ für Deutschland oder eine Region. Die folgenden Ergebnisse sollen Zusammenhänge darstellen und erklären. Hierbei steht die Frage im Mittelpunkt, wie der PV Eigenverbrauch wirtschaftlich gesteigert werden kann.

Die Unterschiede bzgl. der Integration des EV ins Eigenheim werden anhand der Abb. 3 und Abb. 4 beispielhaft dargestellt. Dabei zeigt sich im Falle des direkten ungesteuerten Ladens, dass die Ladezeiten unabhängig von der Verfügbarkeit von PV-Strom sind (vgl. Abb. 3). Dagegen ermöglicht das gesteuerte Laden, die Zeiten und die Leistung der verbleibenden PV-Erzeugung zu nutzen (vgl. Abb. 4). Dies hat Auswirkungen auf den Eigenverbrauchsanteil des Systems.

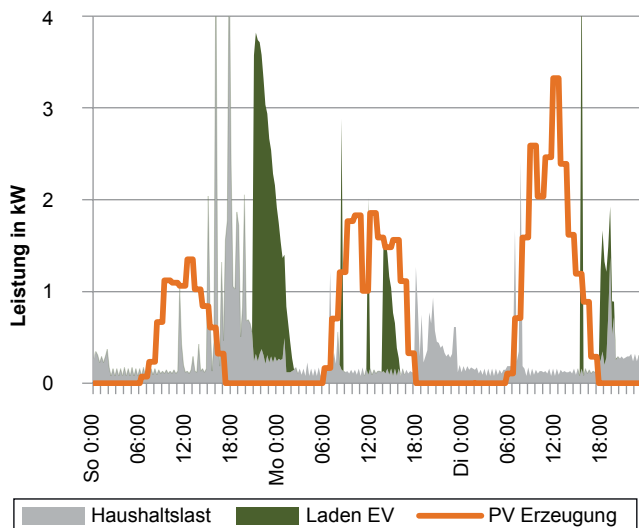


Abb. 3 Lastgang des Hauses (EVstart, Herbst)

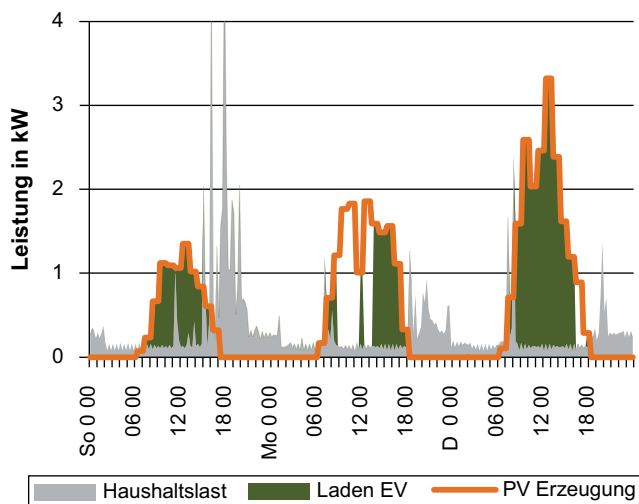


Abb. 4 Lastgang des Hauses (EV2H, Herbst)

3.1 Eigenverbrauchsanteil

Gesteuertes Laden des EV zu Hause (EVsmart) steigert den Eigenverbrauchsanteil und den Eigendeckungsanteil im Vergleich zum ungesteuerten sofort Laden (EVstart). Dies zeigen die Durchschnittswerte über alle 55 betrachteten Systemkombinationen (vgl. Tab. 3). Durch die Ladezeiten außerhalb der Sonnenscheinzeiten im Falle des ungesteuerten Ladens, wird der Eigenverbrauchsanteil im Vergleich zur Situation ohne EV sogar verringert³. Die Möglichkeit das EV zusätzlich als Speicher zu nutzen (EV2H) steigert den Eigenverbrauchsanteil nochmals deutlich im Vergleich zum gesteuerten Laden.

³ Durch die angepasste PV-Größe, sind die Werte direkt vergleichbar.

Tab. 3 Durchschnittlicher Eigenverbrauchsanteil und Eigendeckungsgrad

	Eigenverbrauch (%) ^a	Eigendeckung (%) ^b
KeinEV	31	31
EVstart	27	27
EVsmart	42	41
EV2H	57	48

^aAnteil des PV-Stroms, der selbst verbraucht wird

^bAnteil am Stromverbrauch des HH, der durch PV-Strom gedeckt wird

Tab. 4 Durchschnittlicher Kapitalwert der PV Anlage

	Ø Kapitalwert (€)	Anteil HH mit NPV > 0 (%)	Ø-PV-Größe (kW _p)
KeinEV	1.222	82	5
EVstart	799	69	7,35
EVsmart	4.382	100	7,35
EV2H	6.083	100	7,35

Der Eigenverbrauchsanteil ist zudem abhängig von der PV-Anlagengröße und deren Stromertrag in Kombination mit Jahresstrombedarf und Lastgang des Haushaltes. Deshalb werden die verschiedenen Systemkombinationen miteinander verglichen.

Der Jahresstrombedarf alleine hat keinen erkennbaren Einfluss auf den Eigenverbrauch. Dies liegt insb. an der Dimensionierung der PV-Anlage, die direkt aus Jahresstrombedarf von Eigenheim und EV resultiert. Ein höherer Verbrauchsanteil des Eigenheims tagsüber (8-19 Uhr, Mo-Fr) zeigt einen leichten steigenden Effekt auf den Eigenverbrauchsanteil. Eine Integration des EV mit gesteuertem Laden oder Rückspeisung ins Eigenheim, überlagern diesen Effekt weitestgehend.

Wenn das Fahrzeug tagsüber (8-19 Uhr, Mo-Fr) einen großen Zeitanteil zu Hause parkt, hat dies erheblichen steigenden Einfluss auf den Eigenverbrauchsanteil. Gesteuertes Laden und die Möglichkeit aus dem Fahrzeug rückzuspeisen verstärken diesen Einfluss. Die Jahresfahrleistung des EV hat insofern Einfluss auf den Eigenverbrauch, da diese in der Regel gegenläufig zu den Standzeiten tagsüber zu Hause ist. Hohe Fahrleistungen und hohe Standzeiten zu Hause schließen sich praktisch aus. Die Unterscheidung von BEV oder PHEV hat keinen erheblichen Einfluss auf den Eigenverbrauchsanteil.

3.2 Kapitalwert der PV-Anlage

Beim Kapitalwert der PV-Anlage zeigt sich ein ähnlicher Zusammenhang wie beim Eigenverbrauchsanteil. Die Integration des EV steigert in der Regel den Kapitalwert (vgl. Tab. 4).

Bei einer Einzelauswertung zeigt sich, dass der Anteil Eigenverbrauch grundsätzlich Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage hat (vgl. Abb. 5). Durch eine Integration des

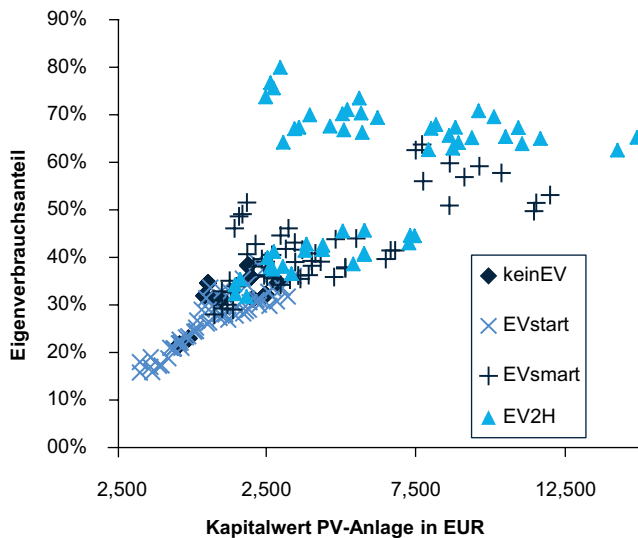


Abb. 5 Abhängigkeit zw. Eigenverbrauch und Kapitalwert der PV-Anlage

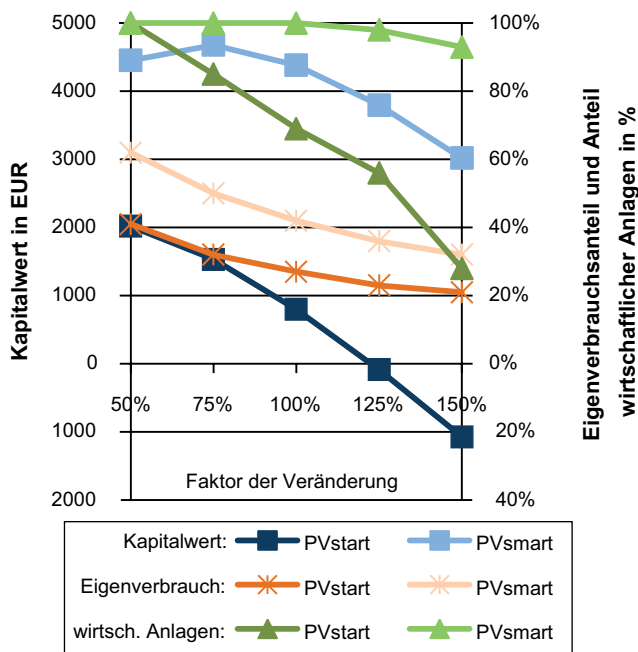


Abb. 6 Variation der PV-Anlagengröße

EV mit Rückspeisemöglichkeit ins Haus profitieren besonders Haushalte mit wenig Strombedarf und einem EV, das tagsüber viel zu Hause steht. Hier kann trotz geringem Kapitalwert ein hoher Eigenverbrauch erreicht werden (vgl. Abb. 5).

Variiert man die Größe der PV-Anlage zwischen 50% und 150% der ursprünglichen Dimensionierung so stellt man an den drei dargestellten Parametern in Abb. 6 einen klaren Vorteil hin zu kleineren PV-Anlagensystemen fest. Gegenläufig ist dagegen der Eigendeckungsgrad, der bei größeren PV-Systemen steigt.

Tab. 5 Eigenverbrauch mit BS und Kapitalwert des BS

	Eigenverbrauch (%)	Kapitalwert Ø des BS (€)	Anteil HH mit Kapitalwert > 0 (%)
KeinEV	63	680	100
EVstart	55	1.112	100
EVsmart	42	572	89
EV2H	47	-283	40

3.3 Vergleich zur aktuellen EEG-Vergütung

Um einen Vergleich zu den aktuellen Rahmenbedingungen zu ermöglichen, werden die bisherigen Erkenntnisse mit einer Investition im Oktober 2013 und aktueller EEG-Vergütung verglichen. So liegt bei ungesteuertem Laden des EV der durchschnittliche Kapitalwert (NPV) einer Investition in 2013 bei ca. 1.400 € und alle betrachteten PV-Anlagen erreichen einen Kapitalwert größer null. Ohne die EEG-Vergütung erreicht keine Anlage einen NPV größer null und der Durchschnitt des NPV liegt bei ca. -3.700 €. Je höher der Eigenverbrauchsanteil, desto geringer der Einfluss der EEG-Einspeisevergütung.

3.4 Integration eines stationären Speichers

Wird zusätzlich in dem Haus ein stationärer Batteriespeicher (BS) eingesetzt, kann der Eigenverbrauch weiter gesteigert werden. In diesem Fall wird ein kleines Li-Ionen Speichersystem eingesetzt, wie es in Kaschub et al. (2013b) beschrieben wird (Tab. 5).

Dabei zeigt sich, dass ein zusätzliches Speichersystem insbesondere dann sinnvoll und wirtschaftlich ist, wenn kein EV vorhanden ist oder ein vorhandenes EV ungesteuert geladen wird.

Beispielhaft zeigt Abb. 7 den hohen Anteil aus PV an dem Strombedarf des Haushalts mit EV. Dennoch verbleiben Zeiten mit starkem Netzbezug. Ohne zusätzliche Rahmenbedingungen, wie z. B. eine Einspeisebegrenzung, werden die Spitzenlasten des Haushalts nicht reduziert. Durch den stationären Batteriespeicher wird eine Rückspeisung aus dem EV seltener durchgeführt. Vergleicht man den durchschnittlichen Kapitalwert aus PV und Batteriespeicher der Szenarien mit gesteuertem Laden (EVsmart, 4.954 €) und Rückspeisung (EV2H, 5.800 €), so wird deutlich, dass die Rückspeisemöglichkeit des EV nur noch eine kleine Verbesserung herbeiführen kann.

4 Zusammenfassung

Die Auswirkungen eines Elektrofahrzeuges (EV) auf den Eigenverbrauch von Eigenheim-Fotovoltaikanlagen (PV-Anlagen) wurden in diesem Beitrag untersucht. Ein optimierendes Modell zeigte die wesentlichen Einflüsse von

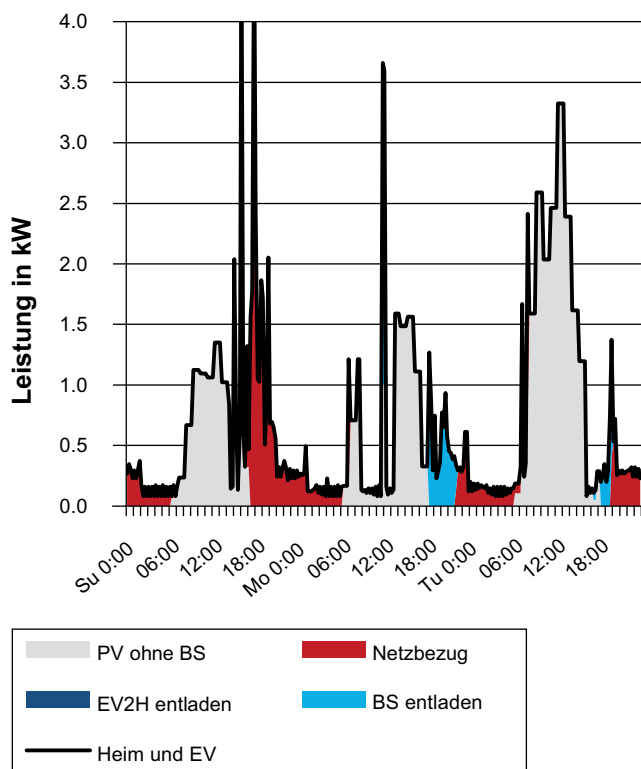


Abb. 7 Lastbezugsquellen des Haushalts

Haushaltslast, Mobilitätsprofil und Einbindung des EV ins Haus auf die Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen.

Die Integration des EV in ein Haus-Energiemanagement mit gesteuertem Laden steigert sowohl den Eigenverbrauch (vgl. Tab. 3) als auch den Kapitalwert der PV-Anlage (vgl. Tab. 4) deutlich. Die Möglichkeit aus dem EV rückspeisen zu können, verstärkt diese Effekte (wenn auch in geringerem Ausmaß). Erwartungsgemäß reduziert eine zu groß dimensionierte PV Anlage sowohl den Eigenverbrauchsanteil als auch den Kapitalwert. Die zusätzliche Investition eines Batteriespeichers kann durchaus sinnvoll sein. Insbesondere dann, wenn kein EV vorhanden ist bzw. dieses ungesteuert sofort geladen wird. Die Ergebnisse legen nahe, dass mittelfristig auf eine EEG-Einspeisevergütung für kleine PV-Hausdachanlagen verzichtet werden kann. Ein hoher Eigenverbrauchsanteil und sinkende Gestehungskosten ermöglichen einen positiven Kapitalwert.

In keinem Fall reduzieren Batteriespeicher oder EV unter den hier betrachteten Annahmen die maximale Netzbelastung (peak-load), wie dies auch Kanngiesser et al. (2011) feststellen. Für eine Reduzierung der maximalen Netzbelastung sind voraussichtlich regulatorische Maßnahmen nötig. Eine Möglichkeit besteht in der Begrenzung der Bezugslast oder der Einspeiseleistung. Weiterer Forschungsbedarf besteht darin, die Auswirkungen solcher Maßnahmen zu untersuchen. Dies gilt auch für eine mögliche Umgestaltung des bisherigen Strompreises, bei dem verschiedenste

Bestandteile (Steuern, Umlagen, Konzessionsabgabe, Netznutzung) ausschließlich auf die bezogene Energieeinheit berechnet werden. Davon profitieren bisher Eigenverbraucher (Bode und Groscurth 2013).

Insgesamt kann auf Basis der Ergebnisse dieses Beitrages unterstellt werden, dass die Integration des EV ins Haus, durch gesteuertes Laden oder Rückspeisen, ein beachtliches Potenzial zur Steigerung des Eigenverbrauchs und der Integration von PV ins Energiesystem hat.

Literatur

- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) (2012) Zahlen und Fakten – Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung. Berlin
- BNetzA (Bundesnetzagentur) (2013a) Photovoltaikanlagen Datenmeldungen sowie EEG-Vergütungssätze
- BNetzA (Bundesnetzagentur) (2013b) Jahresbericht 2012
- Bode S, Groscurth H-M (2013) Zur vermeintlichen Grid Parity von Photovoltaik-Anlagen. ET 63:39–43
- BSW-Solar (Bundesverband Solarwirtschaft e. V.) (2013) Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Photovoltaik), Jun 2013. http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/2013_2_BSW_Solar_Faktenblatt_Photovoltaik.pdf. Zugegriffen: 13. August 2013
- Dallinger D (2012) Plug-in electric vehicles integrating fluctuating renewable electricity. Dissertation
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (2004) Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse
- EEG (2008) Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 274), zuletzt geändert durch Art. 5 G v. 20.12.2012 I 2730
- Haubrock J, Hoefl K-D, Laudien F (2012) Simulation und Modellierung eines Energiemanagementsystems zur Erhöhung des Eigenverbrauchs von Privathaushalten mit Photovoltaik Einspeisung und Elektrofahrzeug. Power and Energy Student Summit 2012
- iZEUS (2013) Smart Grid & Smart Traffic Dienste für die Elektromobilität. <http://www.izeus.kit.edu/>. Zugegriffen: 13. August 2013
- Jochem P, Kaschub T, Paetz A-G, Fichtner W (2012) Integrating electric vehicles into the German electricity grid – an interdisciplinary analysis. 26th Electric Vehicle Symposium (EVS), Los Angeles
- Kanngiesser A, Wolf D, Schinz S, Frey H (2011) Optimierte Netz- und Marktintegration von Windenergie und Photovoltaik durch Einsatz von Energiespeichern
- Kaschub T, Jochem P, Fichtner W (2013a) Modeling load shifting potentials of electric vehicles. IAEE European Conference 2013, Düsseldorf
- Kaschub T, Jochem P, Fichtner W (2013b) Interdependencies of home energy storage between electric vehicle and stationary battery. EVS 27, Barcelona, Spain, angenommen
- MiD (2010) Mobilität in Deutschland 2008. INFAS und DLR im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)
- MoP (2010) Mobilitätspanel. IfV am KIT im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)
- Paetz A-G, Jochem P, Fichtner W (2012) Demand Side Management mit Elektrofahrzeugen – Ausgestaltungsmöglichkeiten und Kundenakzeptanz. 12. Symposium Energieinnovation, 2012
- Paetz A-G, Kaschub T, Jochem P, Fichtner W (2011) Erfahrungen mit dynamischen Tarifkonzepten im intelligenten Haus. Tagungsband VDE Kongress 2011

PV Magazine (2013) Tabelle zur Marktübersicht Speichersysteme. 01/2013, 66–69

Richardson DB (2013) Electric vehicles and the electric grid: a review of modeling approaches, impacts, and renewable energy integration. *Renew Sust Energ Rev* 19:247–254

Staudacher T, Eller S (2012) Dezentrale Stromversorgung eines Einfamilienhauses. *BWK* 64:38–45

UKPIA (UK Petroleum Industry Association), RAC (British Royal Automobile Club Foundation) (2013) Powering ahead – the future of low-carbon cars and fuels

Repository KITopen

Dies ist ein Postprint/begutachtetes Manuskript.

Empfohlene Zitierung:

Kaschub, T.; Jochem, P.; Fichtner, W.

[Steigerung des Elektrizitätseigenverbrauchs von Heim-Fotovoltaikanlagen durch Elektrofahrzeuge.](#)

2013. Umwelt-Wirtschafts-Forum, 21.

doi:10.554/IR/1000045173

Zitierung der Originalveröffentlichung:

Kaschub, T.; Jochem, P.; Fichtner, W.

[Steigerung des Elektrizitätseigenverbrauchs von Heim-Fotovoltaikanlagen durch Elektrofahrzeuge.](#)

2013. Umwelt-Wirtschafts-Forum, 21 (3-4), 243-250.

[doi:10.1007/s00550-013-0291-2](#)