

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME, ISE
ABTEILUNG INTELLIGENTE ENERGIESYSTEME, SMART GRIDS

POTENTIAL DER LADUNG VON ELEKTROFAHRZEUGEN DURCH PHOTOVOLTAIKENERGIE IM PRIVATHAUSHALT

POTENTIALANALYSE DER INTELLIGENTEN LADUNG VON ELEKTROFAHRZEUGEN MIT EIGENERZEUGTEM PHOTOVOLTAIKSTROM IN EINEM PRIVATHAUSHALT

Michael Mierau

Dominik Noeren

Fabian Becker

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, ISE
in Freiburg

November 2014

Kontakt: Michael Mierau

Abteilung Intelligente Energiesysteme

michael.mierau@ise.fraunhofer.de

Projektpartner: BELECTRIC Solarkraftwerke GmbH (Koord.), BELECTRC Drive GmbH, E-Werk Mainbernheim,
KISTERS AG, Hochschule Zittau-Görlitz, LEMONAGE Software GmbH

Inhalt

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung..... | 5 |
| 2 | Datengrundlage | 6 |
| 2.1 | Grundlegende Definitionen..... | 6 |
| 2.2 | Zugrundeliegende PV-Daten | 8 |
| 2.3 | Verbrauchsdaten Haushalt | 8 |
| 2.4 | Zugrundeliegende Mobilitätsdaten..... | 9 |
| 3 | Fahrtensimulation | 12 |
| 3.1 | Funktionsweise der Simulation | 12 |
| 3.2 | Erstellung des Ladeprofils..... | 13 |
| 3.3 | Parameterannahmen..... | 13 |
| 3.4 | Simulationsergebnis: Fahrprofile..... | 15 |
| 4 | Erstellung der Energiebilanzen..... | 16 |
| 5 | Darstellung der Ergebnisse der Jahresenergiebilanzen..... | 17 |
| 5.1 | Exemplarisches Beispiel: Bilanzergebnis der zweiten Nutzergruppe..... | 17 |
| 5.2 | Vergleich der verschiedenen Nutzergruppen | 20 |
| 5.3 | Exemplarische Untersuchung des Parametereinflusses..... | 22 |
| 5.3.1 | Variation der maximalen Ladeleistung | 22 |
| 5.3.2 | Variation der installierten PV-Leistung | 23 |
| 5.4 | Bewertung der Ergebnisse..... | 25 |
| 6 | Ökonomische Betrachtung der Ergebnisse | 27 |
| 6.1 | Gesetzliche Grundlage: EEG | 27 |
| 6.2 | Berechnung der Ersparnisse durch Eigenverbrauch | 30 |
| 6.3 | Fazit der ökonomischen Betrachtung | 38 |
| 7 | Literaturverzeichnis | 40 |

1 Einleitung

Die vorliegende Studie fasst die Ergebnisse der Arbeiten zum Arbeitspaket 151 „Potentialstudie zur Ladeboxanbindung“ zusammen. Es wird der Mehrwert einer Anbindung von Ladeinfrastruktursystemen an ein Heimenergiemanagementsystem (HEMS) eines Privathaushaltes abgeschätzt.

Hierfür werden definierten Nutzergruppen, deren Stromverbrauchsprofile bekannt sind, Fahrprofile für Elektrofahrzeuge zugeordnet. Aus diesen Fahrprofilen kann der Verlauf des Energiebedarfs der Elektrofahrzeuge bestimmt werden. Zusammen mit dem Verlauf der Haushaltslast ergibt sich der gesamte Energiebedarf der Nutzer. Zur Deckung dieses Energiebedarfs steht neben dem Netzanschluss eine Photovoltaikanlage zur Verfügung, deren Erzeugungsprofil ebenfalls bekannt ist. Aus diesen Energiebilanzen wird eine Jahresenergiebilanz erstellt, welche anschließend unter Berücksichtigung aktueller und zu erwartender regulatorischer Rahmenbedingungen wirtschaftlich bewertet wird. Abbildung 1.1 zeigt diesen Ablauf in einer Übersicht.



Abbildung 1.1: Schematische Darstellung der Herangehensweise der Potentialstudie

Im Folgenden wird in Kapitel 2 die Datengrundlage sowie in Kapitel 3 die Erstellung der Fahrprofile dargestellt. Die Berechnung der Jahresenergiebilanzen sowie deren Auswertung ist Gegenstand der Kapitel 4 und 5. Im abschließenden Kapitel 6 folgt die wirtschaftliche Bewertung der Energiebilanzen.

2 Datengrundlage

Im Folgenden werden zentrale Begriffe erläutert sowie die Datengrundlage der Studie dargestellt. Sämtliche Verbrauchs- und Erzeugungsdaten der drei Komponenten Haushalt, Elektrofahrzeug und PV-Anlage sind in der gleichen zeitlichen Auflösung von Kilowattstunden pro Viertelstunde vorhanden. Da die Studie mit Blick auf den deutschen Markt angefertigt wird, beziehen sich die verwendeten Daten auf den Standort Deutschland. Wenn nötig werden die zugrundeliegenden realen Messwerte entsprechend auf den jeweiligen durchschnittlichen Wert in Deutschland skaliert.

2.1 Grundlegende Definitionen

Grundszenario

Das Grundszenario der energetischen Untersuchungen besteht aus einem Privathaushalt mit zugehöriger Photovoltaikanlage. Die Energiebilanz dieses Grundszenarios ohne Elektrofahrzeug wird als Vergleichsgrundlage für die Energiebilanzen des Haushalts mit Elektrofahrzeug verwendet. Dadurch kann die Auswirkung der Ladevorgänge für das Elektrofahrzeug auf die Energiebilanz des Haushalts quantifiziert werden.

Haushaltslast/ Haushaltstromverbrauch

Der Stromverbrauch der betrachteten Haushalte liegt in viertelstündiger Auflösung für jeweils ein ganzes Jahr vor. Es handelt sich dabei um einen vordefinierten Verbrauch, der nicht intelligent gesteuert oder an die Produktion der Photovoltaikanlage angepasst werden kann. Zur Datengrundlage der Haushaltslast siehe 2.3.

Leistung

Die verwendeten Daten für den Haushaltstromverbrauch, die Photovoltaikerzeugung und die Elektrofahrzeugladung sind jeweils in Energiemengen pro Viertelstunde angegeben (kWh/ ¼ h). Dass in der Studie häufig der Begriff der Leistung verwendet wird, ist auf die viertelstündige Auflösung zurückzuführen. Die Messdaten lassen jedoch keine Rückschlüsse auf die bezogene bzw. eingespeiste Leistung zu. Die Leistungen können innerhalb eines Messintervalls durch Einschaltvorgänge elektrischer Geräte oder bei Photovoltaikanlagen durch Wolkenzug starken Schwankungen unterworfen sein. Da diese Vorgänge für die zu erstellenden Energiebilanzen nicht

abbildbar sind, werden im Folgenden durchschnittliche Leistungen pro Viertelstunde angenommen.

Datengrundlage

PV-Anteil

Der PV-Anteil beschreibt den Anteil der Energie aus Photovoltaikerzeugung am Gesamtbezug des Verbrauchers für ein ganzes Jahr. Der PV-Anteil des Gesamtsystems (Haushalt & Elektrofahrzeug) berechnet sich durch gewichtete Mittelwertbildung der einzelnen PV-Anteile.

PV-Produktionsdeckungsgrad

Der PV-Produktionsdeckungsgrad beschreibt das Verhältnis der eigenverbrauchten Photovoltaikenergie zur insgesamt produzierten Photovoltaikenergie im Betrachtungszeitraum eines Jahres. Der PV-Produktionsdeckungsgrad des Gesamtsystems (Haushalt & Elektrofahrzeug) berechnet sich durch Addition der PV-Produktionsdeckungsgrade der Einzelsysteme.

Ungesteuerte Fahrzeugladung

Im Kontext dieser Potentialanalyse wird von ungesteuerter Fahrzeugladung gesprochen, wenn die Batterie eines Elektrofahrzeugs direkt nach dessen Ankunft an der Ladestation mit voller Leistung aufgeladen wird bis sie vollständig geladen ist oder die Ladung durch eine erneute Fahrt unterbrochen wird. Die Ladeleistung beträgt dabei stets 3,5 kW.

Intelligente Fahrzeugladung

Für die intelligente Ladung eines Elektrofahrzeugs in den betrachteten Szenarien sind primär die zu ladende Energiemenge, der Zeitpunkt der nächsten Fahrzeugnutzung sowie die Dimension der Photovoltaikerzeugung in dieser Zeit von Bedeutung. Die Prognose dieser relevanten Parameter zum jeweiligen Ladebeginn ist mit gewissen Ungenauigkeiten verbunden. Für die Analyse des Potentials der intelligenten Fahrzeugladung werden statt der aufwändigen Berechnung eines tatsächlichen Ladeplans mit Berücksichtigung der verschiedenen Ungenauigkeiten die folgenden vereinfachenden Annahmen getroffen. Diese ermöglichen die wirtschaftliche Bewertung der intelligenten Ladung auf Basis der vorhandenen 15-minütigen Zeitreihen der Datenbasis. Hierfür werden die Energiemengen für die Fahrzeugladung aus der Photo-

voltaikanlage und dem Netz sowie für die Einspeisung aus der PV-Anlage in das Netz berechnet und mit den entsprechenden Kosten und Erlösen beaufschlagt.

- Die Fahrzeugbatterie wird, wenn möglich, vor jeder Abfahrt voll aufgeladen. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit, während der Fahrt liegenzubleiben, minimiert. Es handelt sich dabei um eine konservative Annahme und gewissermaßen um den größtmöglichen Sicherheitspuffer. Das Potential der intelligenten Ladung aus Photovoltaikenergie wird dadurch reduziert. So wird oft teurer Strom aus dem Netz bezogen, obwohl dies für die nächste Fahrt nicht nötig wäre.
- Die verfügbare Photovoltaikenergie kann für jede Viertelstunde genau vorhergesagt werden. Diese Annahme ist vertretbar, da die Größenordnung der Photovoltaikerzeugung vorhersagbar ist.
- Der Abfahrtszeitpunkt der nächsten Fahrt ist bereits bei Ankunft des Fahrzeugs am Ladepunkt bekannt. Diese Annahme ist aufgrund der Ungenauigkeit von Nutzervorhersagen nicht für alle Fälle realistisch. Im Hinblick auf eine möglichst einfache Berechnung der Energiebilanz wird jedoch darauf verzichtet, eine Schätzungenauigkeit einzuberechnen.

2.2 Zugrundeliegende PV-Daten

Die PV-Erzeugungsdaten der Studie basieren auf realen Messdaten des Fraunhofer ISE aus dem Jahre 2011. Sie wurden in Freiburg gemessen und auf den durchschnittlichen spezifischen Jahresertrag in Deutschland von 900 kWh/(kWp*a) herunterskaliert. Dies entspricht für die angenommene durchschnittliche PV-Anlage mit einer installierten Leistung von 4 kWp einer Jahreserzeugung von 3600 kWh/a. Die PV-Erzeugungsdaten liegen in viertelstündiger Auflösung vor.

2.3 Verbrauchsdaten Haushalt

Die verwendeten Haushaltsverbrauchsdaten entstammen einem vorhergehenden Projekt des Fraunhofer ISE. Es werden vier typische Kategorien von Haushalten definiert, für die ein charakteristisches Haushaltslastprofil angefertigt wurde. Dabei handelt es sich um die gemittelten Verbrauchswerte mehrerer realer Haushalte des gleichen Typs. Diese Verbrauchsdaten wurden für den Zeitraum vom 01.11.2008 bis 31.10.2009 ermittelt und liegen in Viertelstundenwerten vor.

Bei den vier Nutzergruppen handelt es sich um einen Singlehaushalt, zwei verschiedene Familienhaushalte und den Haushalt eines Rentnerpaares. Die Abgrenzung der Nutzergruppen sowie ihr jährlicher Stromverbrauch ist in Tabelle 2.1 dargestellt.

Tabelle 2.1: Eigenschaften der Nutzergruppen

Datengrundlage

| Haushaltstyp | Eigenschaften | Stromverbrauch in kWh/a |
|-------------------------------------|--|------------------------------------|
| Nutzergruppe 1: Single | Voll berufstätig, keine Kinder | 2070 |
| Nutzergruppe 2: Familie (Typ I) | Ein Elternteil voll berufstätig, ein Elternteil nicht berufstätig, zwei bis vier Kinder | 4784 |
| Nutzergruppe 3: Familie (Typ II) | Ein Elternteil voll berufstätig, ein Elternteil halbtags berufstätig, zwei bis vier Kinder | 5268 |
| Nutzergruppe 4: Rentnerpaar | Beide Personen nicht berufstätig | 4449 |

2.4 Zugrundeliegende Mobilitätsdaten

Für die Erstellung von Fahrprofilen muss aus der vorliegenden Datengrundlage die typische Wahrscheinlichkeitsverteilung der Fahrten des betrachteten Zeitraumes erstellt werden können. Mit Wahrscheinlichkeitsverteilung der Fahrten sind hier die Wahrscheinlichkeiten für Ankunfts- und Abfahrtszeiten, Fahrtziel, Fahrdistanz und Anzahl der Fahrten am betrachteten Tag gemeint. Da für die Mobilität nach Werktagen, Samstagen und Sonntagen sowie zusätzlich nach Jahreszeiten unterschieden wird ergeben sich zwölf sog. Typtage. Für jeden dieser Typtage (z.B. den Sonntag im Sommer) muss eine ausreichend große Datengrundlage vorhanden sein, um dessen typische Wahrscheinlichkeitsverteilung von Fahrten abbilden zu können.

Die Datenerhebung Mobilität in Deutschland (MiD) bietet eine große Datengrundlage und ausreichend detaillierte Informationen zu den zurückgelegten Fahrten eines Haushalts. Sie wird durch das infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH und das Institut für Verkehrsforschung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. durchgeführt und ausgewertet. Die vorliegende Studie basiert auf den Ergebnissen der MiD 2008. Es wurden ca. 100.000 Personen aus 50.000 Haushalten zu ihrer persönlichen Mobilität an einem einzelnen, vorgegebenen Stichtag befragt. Dabei wurden insgesamt mehr als 300.000 Wege dokumentiert (1).

Die MiD-Daten wurden von der Clearingstelle für Verkehr des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Form von fünf Datentabellen zur Verfügung gestellt. Diese Tabellen sind nach ihrem Inhalt „Wege“, „Haushalte“, „Personen“, „Autos“ und „Reisen“ benannt (1). Der Begriff Weg bedeutet, dass sich eine einzelne Person von A nach B bewegt. Dabei sind beispielsweise die benutzten Verkehrsmittel, die Wegstrecken, die benötigte Zeit etc. angegeben. Dies bedeutet auch, dass die

Autofahrt einer vierköpfigen Familie als vier zurückgelegte Wege – ein Weg für jede Person - im Datensatz auftaucht. Diese Eigenschaft des Wegedatensatzes muss für die Filterung der Daten berücksichtigt werden. Der Reisedatensatz wird für die vorliegende Potentialstudie nicht verwendet, da lediglich die Alltagsmobilität abgebildet werden soll und Reisen dafür gezielt außen vor gelassen werden.

Variablen des angewandten Mobilitätsdatenfilters

Um ein realistisches Fahrprofil für die jeweiligen Nutzergruppen zu generieren, müssen alle relevanten Fahrten dieser Nutzergruppe aus der gesamten Datenmenge gefiltert werden. Zu diesem Zweck wird ein Datenfilter verwendet, der alle typischen Eigenschaften der vorgegeben Nutzergruppe enthält (vgl. Tabelle 2.1).

Beim Vergleich der gefahrenen Distanzen an den verschiedenen Wochentagen sowie an gleichen Wochentagen verschiedener Jahreszeiten ergeben sich jeweils signifikante Unterschiede. Bei der Gewinnung der Mobilitätsdaten werden daher die jahreszeitlichen und wochentäglichen Unterschiede der Mobilität berücksichtigt, indem dem Mobilitätsdatenfilter weiterhin die Variablen Jahreszeit und Wochentag hinzugefügt werden. Aufgrund der geringen Abweichungen zwischen den Werktagen wird bei der Variable Wochentag nur zwischen Werktagen, Samstagen und Sonntagen unterschieden.

Vorgehensweise der Datenfilterung

Für die Verarbeitung und Filterung werden die fünf MiD-Datentabellen in ein Datenbankmanagementsystem importiert. Die Datenfilterung wird möglichst einfach gestaltet, d.h. es werden nur die tatsächlich benötigten Daten für die Fahrprofilerstellung extrahiert. Dabei handelt es sich um Ankunfts- und Abfahrtszeiten, Fahrtziel, Fahrdistanz und Anzahl der Fahrten des Fahrzeugs am betrachteten Tag.

Die Datengewinnung für die Fahrprofilerstellung geschieht in mehreren aufeinander folgenden Schritten. Im ersten Schritt werden alle Haushalte nach den oben vorgestellten Nutzergruppenkriterien gefiltert. Als Ergebnis erhält man die IDs aller Haushalte, die der jeweiligen Nutzergruppe angehören. Im zweiten Schritt werden alle Fahrzeuge der Haushalte aus der Autotabelle des Datensatzes ermittelt und nach ihrer Jahresfahrleistung sortiert. Für jeden Haushalt wird das Fahrzeug mit der größten Jahresfahrleistung als elektrisches Fahrzeug definiert, so dass die Fahrten dieses Fahrzeugs die Datengrundlage für die spätere Simulation des Erstfahrzeugs bilden. Im nächsten Schritt werden alle Fahrten der ausgewählten Haushalte aus der Wegetabelle

des Datensatzes ermittelt. Der dabei benutzte Filter wendet die folgenden Annahmen auf den Datensatz an:

Datengrundlage

- Der Weg wurde als Fahrer des ausgewählten Autos zurückgelegt.
- Der Weg ist nicht länger als 100 km.
- Der Weg beginnt und endet am selben Tag.

Durch diese Filtereinstellungen wird sichergestellt, dass nur Fahrten der ausgewählten Fahrzeuge aufgeführt werden. Dabei darf jede Fahrt nur einmal erfasst werden, d.h. Wege, die mit dem Auto als Mitfahrer zurückgelegt werden, dürfen nicht in die Statistik eingehen. Dies erreicht das erste Kriterium „Fahrer des Autos“. Die Fahrtenlänge wurde auf maximal 100 km begrenzt, da sämtliche aktuell auf dem Markt verfügbaren Elektrofahrzeuge laut Herstellerangaben Distanzen von 100 km ohne Zwischenladung erfüllen können (2). Der Anteil der Autofahrten über 100 km liegt unter zwei Prozent. Für diese Fahrten müsste der jeweilige Nutzer auf ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor zurückgreifen.

Für die Simulation des Fahrprofils ist es nicht nur notwendig zu wissen, wie viele Fahrten ein Fahrzeug am Stichtag zurücklegt und wann diese stattfinden, sondern auch, welche Haushalte am Stichtag keine Fahrten zurückgelegt haben. Um dies zu erfassen, muss eine separate Abfrage mithilfe der Personentabelle erstellt werden. Die Personentabelle enthält hierfür eine passende Variable, die angibt, ob die betreffende Person am Stichtag mobil war. So kann für jeden Wochentag und jede Jahreszeit festgestellt werden, welcher Anteil der Fahrzeuge am Stichtag mobil war.

3 Fahrtensimulation

Nach der Filterung der Mobilitätsdaten werden die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Ankunfts- und Abfahrtszeiten, der Fahrtziele, der Fahrdistanzen und der Fahrtenanzahl pro Tag ermittelt. Dies wird jeweils für die Werkzeuge, Samstage und Sonntage einer Jahreszeit einzeln durchgeführt, um die Fahrtenwahrscheinlichkeiten der Nutzergruppe am jeweiligen Typtag zu erhalten.

3.1 Funktionsweise der Simulation

Die berechneten Wahrscheinlichkeitsverteilungen dienen als Grundlage für die anschließende Simulation und werden in ein Datenbankmanagementsystem importiert. Für die Simulation der Fahrprofile wird ein JAVA-Programm entsprechend dem in (3) vorgestellten eingesetzt. Das Programm erstellt für jeden Tag eine Anzahl von Fahrten und ordnet diesen nacheinander den Wegzweck, die Distanz, die Dauer sowie die Abfahrts- und Ankunftszeiten zu. Hierzu werden jeweils die Wahrscheinlichkeitsverteilungen des entsprechenden Wochentages genutzt. Dies geschieht nacheinander für alle Tage der zu simulierenden Jahreszeit. Die Funktionsweise der Simulation ist schematisch in Abbildung 3.1 dargestellt.

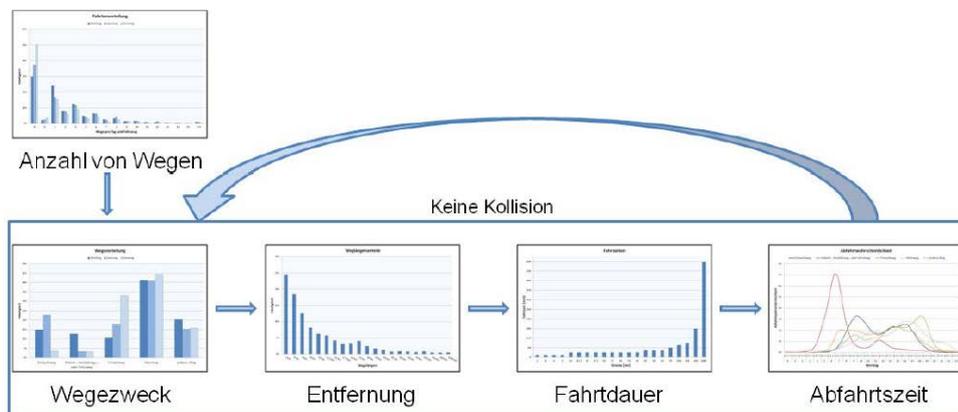


Abbildung 3.1: Funktionsweise der Fahrtenerstellung in der Simulation

Die simulierten Fahrten werden zusammen mit den zugehörigen Informationen wie dem Wegzweck, der Fahrdistanz und dem Energieverbrauch in die dafür vorgesehene Ergebnistabelle der Datenbank geschrieben. Diese Tabelle enthält alle Fahrten der Nutzergruppe einer Jahreszeit und wird für die spätere Validierung der Simulation verwendet.

3.2 Erstellung des Ladeprofils

Die Viertelstundenwerte der Fahrtenankünfte und -abfahrten, die zurückgelegten Distanzen, die spezifische Ladeleistung und der spezifische Verbrauch des Fahrzeugs werden verwendet, um eine viertelstündig aufgelöste Zeitreihe des Ladevorgangs zu berechnen.

Die Berechnung dieser Zeitreihe erfolgt mithilfe dreier möglicher Zustände, die dem Elektrofahrzeug zugeordnet werden können: Fahren, Laden und Warten. Wenn ein Fahrzeug fährt, reduziert sich der Batterieladezustand (engl.: State of Charge, SoC) jeweils abhängig von der zurückgelegten Strecke und des spezifischen Verbrauchs des Fahrzeugs. Der spezifische Verbrauch ist für die Untersuchungen im Rahmen der Studie für jede Jahreszeit im Voraus festgelegt worden (s. 3.3). Wenn das Elektrofahrzeug an der hauseigenen Ladesäule ankommt, geht es in den Zustand Laden über. Dabei erhöht sich die Batteriekapazität um einen vorher festgelegten Wert pro Zeiteinheit bis das Laden durch eine Fahrt unterbrochen wird oder die Batterie vollgeladen ist. Nach der Vollladung der Batterie wartet das Elektrofahrzeug auf die nächste Fahrt. Das Fahrzeug befindet sich ebenfalls im Zustand Warten, wenn es an einem anderen Ort als der hauseigenen Ladesäule angekommen ist.

Anhand der Ankunfts- und Abfahrtszeiten, dem Wegezweck sowie der zurückgelegten Wegstrecke berechnet das Programm die Viertelstundenwerte der Batteriekapazität für den gesamten Zeitraum der Simulation. Diese Zeitreihe wird in die Ergebnistabelle der Datenbank geschrieben und später für die Berechnung der Jahresenergiebilanz verwendet.

3.3 Parameterannahmen

Für die Simulation müssen fahrzeugspezifische Parameter wie die Fahrzeugladeleistung, der spezifische Energieverbrauch und die Batteriegröße festgelegt werden. Diese Annahmen haben direkten Einfluss auf die Simulation, weshalb ihre Güte von großer Bedeutung ist.

Batteriekapazität und spezifischer Verbrauch

Um die verschiedenen Jahresenergiebilanzen untereinander vergleichen zu können, wird in allen Simulationen das gleiche fiktive Fahrzeug verwendet. Die Batteriekapazität dieses fiktiven Elektrofahrzeugs wird mit 20 kWh, der spezifische Grundverbrauch mit 0,16 kWh/km angenommen. Diese Annahmen wurden unter Berücksichtigung der Eigenschaften von aktuell verfügbaren Elektrofahrzeugen getroffen (2).

Eine Batteriekapazität von 20 kWh ist realistisch und liegt im Mittel zwischen den Batteriegrößen des Kleinwagen Mitsubishi i-MiEV (16 kWh) und des Kompaktklassewagens Nissan Leaf (24 kWh). Der angenommene Grundverbrauch des zu simulierenden Fahrzeugs liegt bei 0,16 kWh/km und wird für die Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst angenommen, für die i.d.R. keine bis kaum zusätzliche Klimatisierung notwendig ist. Dieser Grundverbrauch orientiert sich am Mittelwert der spezifischen Verbräuche des Mitsubishi i-MiEV (0,135 kWh/km, (4)) und des Nissan Leaf (0,173 kWh/km, (5)). Der verwendete Wert liegt bewusst etwas höher, um einen realen Verbrauch darzustellen, der meist über den Herstellerangaben liegt.

Zusätzlich zu diesem Grundverbrauch wird für die Klimatisierung im Sommer und im Winter je ein spezifischer Zusatzverbrauch angenommen, der anhand von Testberichten berechnet wird. Beim ADAC-Test von vier verschiedenen Elektrofahrzeugen verringerte sich die Reichweite bei Klimatisierung im Sommer um durchschnittlich 13 % gegenüber der ursprünglichen Reichweite bei Grundverbrauch (6). Bezieht man diesen Wert auf das zu simulierende Fahrzeug mit einer Reichweite von 125 km bei einem Grundverbrauch von 0,16 kWh/km, verringert sich die Reichweite um 16,25 km auf 108,75 km. Diese Reichweite ergibt einen Durchschnittsverbrauch von 0,184 kWh/km für das klimatisierte Fahren im Sommer. Der zusätzliche Energieverbrauch für die Heizung im Winter wurde vom Energieanbieter Thüringer Energie ermittelt (7). Dabei wurde der Mitsubishi i-MiEV getestet, der im Test einen Grundverbrauch von 0,159 kWh/km aufwies. Im Winter stieg der Verbrauch auf durchschnittlich 0,197 kWh/km an. Bezogen auf das modellierte Elektrofahrzeug ergibt dies einen Verbrauch von ca.0,2 kWh/km in den Wintermonaten.

Die getroffenen Verbrauchsannahmen für das durchschnittliche Elektrofahrzeug sind in Tabelle 3.1 aufgeführt. Die Verbräuche in den Winter- und Sommermonaten liegen etwas über den errechneten Werten und sind damit konservative Annahmen.

Tabelle 3.1: Verbrauch- und Reichweitenvergleich des simulierten Elektrofahrzeugs nach Jahreszeiten

| Jahreszeit | Spezifischer Verbrauch in kWh/km | Reichweite in km |
|------------|----------------------------------|------------------|
| Frühling | 0,16 | 125 |
| Sommer | 0,19 | 105,3 |
| Herbst | 0,16 | 125 |
| Winter | 0,21 | 95,2 |

Reichweite

Die unterschiedlichen Verbräuche haben entsprechend großen Einfluss auf die erzielbaren Reichweiten in den jeweiligen Jahreszeiten (vgl. Tabelle 3.1). Im Frühling und im Herbst kann durch den Grundverbrauch ohne Klimatisierung eine Reichweite von 125 km erreicht werden. Im Sommer liegt die Reichweite des simulierten Elektrofahrzeugs bei ungefähr 105 km, im Winter dagegen bei nur 95 km.

Ladeleistung

Im Rahmen der vorliegenden Potentialanalyse erfolgt die Fahrzeugladung stets an einem normalen, einphasigen 230 V-Haushaltsanschluss. Ein solcher Anschluss erlaubt eine maximale Ladeleistung von 3,5 kW.

3.4 Simulationsergebnis: Fahrprofile

Die simulierten Fahrten des Fahrzeugs werden durch zwei verschiedene Datensätze beschrieben. Bei dem ersten Datensatz handelt es sich um die Auflistung der Fahrten für jeden Tag mit Angaben zu den Ankunfts- und Abfahrtszeiten, den zurückgelegten Distanzen und dem jeweiligen Energieverbrauch.

Der zweite Datensatz beschreibt den zeitlichen Verlauf der Batteriekapazität in Viertelstundenwerten (vgl. hierzu 3.2). Durch Zusammenfügen der jahreszeitlichen Profile erhält man das Jahresfahrprofil.

Validierung des Fahrprofils

Anhand der ermittelten Fahrten für die jeweiligen Nutzergruppen kann ein Durchschnittsenergiebedarf für jeden Tag ermittelt werden. Damit ist eine Hochrechnung für den gesamten Zeitraum der Simulation (eine Jahreszeit) möglich. Anhand dieses Durchschnittsverbrauchs kann jeder Simulationsdurchlauf validiert werden. Für die Validierung wird ein Toleranzbereich von zwei Prozent gewählt, d.h. das Simulationsergebnis für den Gesamtenergiebedarf des Fahrzeugs darf maximal zwei Prozent vom errechneten Validierungswert abweichen. Liegt das Ergebnis eines Simulationsdurchlaufs nicht innerhalb des Toleranzbereichs, wird eine neue Simulation durchgeführt. Dies wird solange wiederholt, bis das Ergebnis alle gestellten Bedingungen erfüllt.

4 Erstellung der Energiebilanzen

Die Jahresenergiebilanz basiert auf den Daten der PV-Erzeugung, der Haushaltslast und der Fahrzeugladung jeweils in viertelstündiger Auflösung. Die Daten der Haushaltslast für die vier verschiedenen Nutzergruppen sowie die Daten der Photovoltaikerzeugung liegen bereits vor (vgl. Kap. 2). Die Ladeprofilerstellung des Elektrofahrzeugs erfolgt entsprechend der Darstellung in Kapitel 3.2.

Für jede Viertelstunde des Jahres wird eine energetische Bilanz des Haushaltsverbrauchs, der Fahrzeugladung und der Photovoltaikerzeugung erstellt, um den Eigenverbrauch von Photovoltaikenergie zu bestimmen. Dabei wird außerdem der Bezug aus dem örtlichen Niederspannungsnetz bei fehlender Photovoltaikleistung bzw. die Einspeisung in das selbige bei überschüssiger Photovoltaikleistung bestimmt. Durch das Aufsummieren aller Viertelstundenwerte erhält man die jährlichen Werte.

Es werden dabei gleichzeitig die folgenden Szenarien berechnet: das Grundszenario bestehend aus Haushalt mit Photovoltaikanlage, sowie Haushalt mit PV-Anlage und Elektrofahrzeug. Hierbei wird zwischen ungesteuerter und intelligenter Ladung unterschieden.

Für die Vergleichbarkeit der verschiedenen Szenarien untereinander wird folgende Prioritätenreihenfolge angenommen: Die Deckung der Haushaltslast bekommt oberste Priorität. Mit der übrigen PV-Leistung kann das Elektrofahrzeug geladen werden. Für den Fall, dass der Haushaltsverbrauch die PV-Produktion übersteigt, wird die fehlende Leistung aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen. Das Elektrofahrzeug wird in diesem Fall ebenfalls mit Netzstrom aufgeladen. Bei intelligenter Fahrzeugladung gelten dieselben Annahmen. Der Unterschied zur ungesteuerten Ladung besteht darin, dass der gesamte Zeitraum, in dem das Elektrofahrzeug an der heimischen Ladestation parkt, für die Fahrzeugladung verwendet werden kann, anstatt nur die kurze Zeitspanne der ungesteuerten Ladung. Die gesamte überschüssige PV-Leistung während des Parkens kann somit für die Ladung des Elektrofahrzeugs genutzt werden, wodurch deutlich größere Mengen von Photovoltaikstrom in die Fahrzeugbatterie geladen werden können.

5 Darstellung der Ergebnisse der Jahresenergiebilanzen

Darstellung der Ergebnisse der
Jahresenergiebilanzen

Die Auswertung der berechneten Jahresenergiebilanzen erfolgt zunächst exemplarisch am Beispiel der zweiten Nutzergruppe (Familienhaushalt, beide Elternteile voll erwerbstätig). Anschließend werden die Ergebnisse der verschiedenen Nutzergruppen verglichen.

5.1 Exemplarisches Beispiel: Bilanzergebnis der zweiten Nutzergruppe

Der PV-Anteil bzw. der PV-Produktionsdeckungsgrad des Haushalts, der Fahrzeugladung und des Gesamthaushalts (Kombination aus Haushalt und Elektrofahrzeug) sind in Abbildung 5.1 bzw. Abbildung 5.2 dargestellt. Tabelle 5.1 zeigt die zugehörigen Energiemengen.

Tabelle 5.1: Energiemengen, PV-Anteile und PV-Produktionsdeckungsgrade der Szenarien für die Nutzergruppe 2 (max. 3,5 kW Ladeleistung, 4 kWp-PV-Anlage)

| | Haushalt | Elektrofahrzeug ungesteuert | Elektrofahrzeug intelligent | Gesamt (HH & EV) ungesteuert | Gesamt (HH & EV) intelligent |
|-------------------------------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| PV-Eigenverbrauch in kWh | 1.696,6 | 105,3 | 567,6 | 1.801,8 | 2.264,2 |
| Netzbezug in kWh | 3.087,3 | 1.767,6 | 1.305,2 | 4.854,8 | 4.392,5 |
| Summe in kWh | 4.783,9 | 1.872,8 | 1.872,8 | 6.656,7 | 6.656,7 |
| PV-Anteil am Gesamtverbrauch | 35,5 % | 5,6 % | 30,3 % | 27,1 % | 34,0 % |
| PV-Produktionsdeckungsgrad | 47,1 % | 2,9 % | 15,8 % | 50,1 % | 62,9 % |

Ein Haushalt der zweiten Nutzergruppe mit einem Verbrauch von 4784 kWh im Jahr kann 1697 kWh im Haushalt selbst verbrauchen. Dies entspricht einem PV-Anteil von 35,5 % (vgl. Abbildung 5.1) am Haushaltstromverbrauch und einem PV-Produktionsdeckungsgrad von 47,1 % (vgl. Abbildung 5.2).

Die nicht im Haushalt verbrauchte Energie von 1903 kWh würde theoretisch ausreichen, um den Jahresenergiebedarf des Fahrzeugs von 1873 kWh vollständig zu decken. Dazu müsste das Fahrzeug allerdings immer zur richtigen Zeit am Ladepunkt verfügbar sein und weiterhin die vorhandene PV-Energie auch aufnehmen können. Diese Anforderungen sind für Elektrofahrzeuge jedoch nicht zu erreichen.

 Darstellung der Ergebnisse der
 Jahresenergiebilanzen

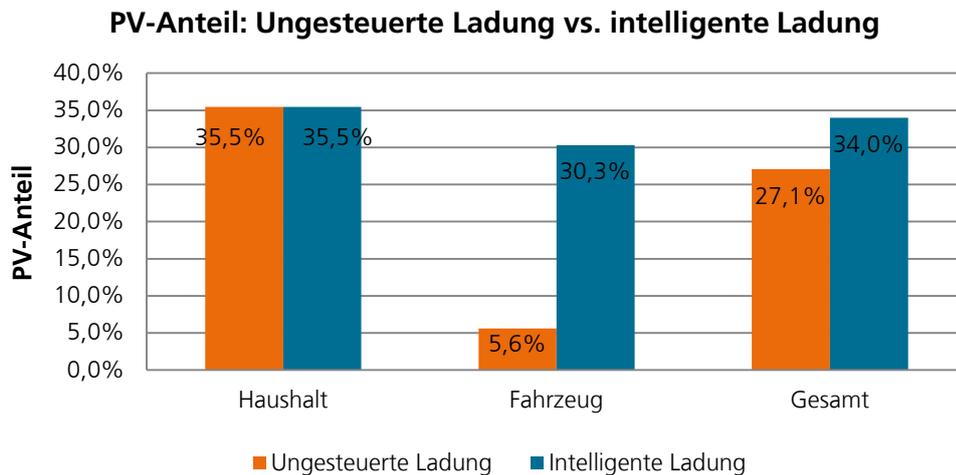


Abbildung 5.1: PV-Anteil der Szenarien für die Nutzergruppe 2 (max. 3,5 kW Ladeleistung, 4 kWp-PV-Anlage)

Abbildung 5.1 zeigt die PV-Anteile für die betrachteten Szenarien für die Nutzergruppe 2. Der PV-Anteil des Haushalts beträgt sowohl bei ungesteuerter als auch bei intelligenter Ladung 35,5 %, da die Last des Haushalts bevorzugt durch die PV-Anlage gedeckt wird. Der PV-Anteil des Fahrzeugs bei ungesteuerter Ladung liegt bei 5,6 % und kann durch intelligente Ladung auf 30,3 % erhöht werden. Der PV-Anteil des Gesamthaushalts beträgt bei ungesteuerter Ladung 27,1 %, bei intelligenter Ladung 34 %. Damit ist der PV-Anteil des Gesamthaushalts sowohl bei ungesteuerter als auch bei intelligenter Ladung kleiner als der PV-Anteil des Grundszenarios. Dies ist auf den zusätzlichen Strombezug aus dem öffentlichen Stromnetz zurückzuführen, der für die Ladevorgänge anfällt.

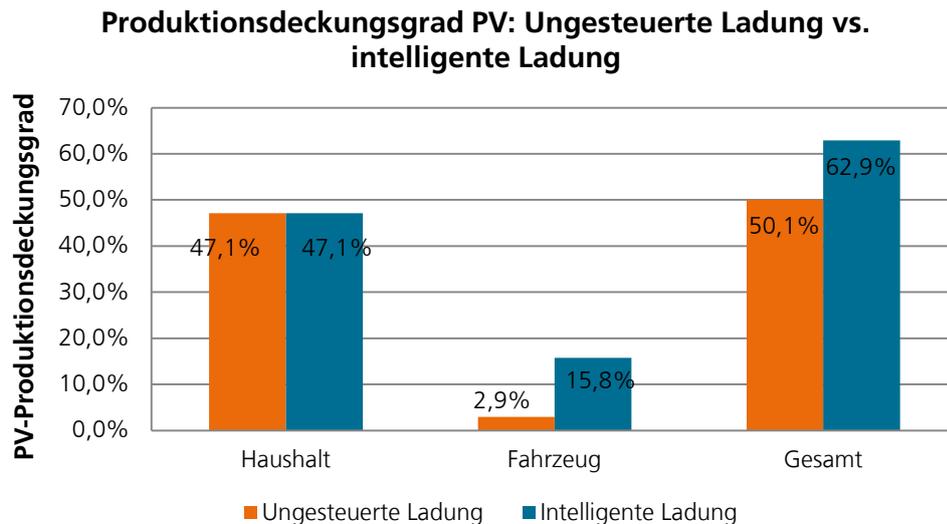


Abbildung 5.2: PV-Produktionsdeckungsgrad der Szenarien für Nutzergruppe 2 (max. 3,5 kW Ladeleistung, 4 kWp-PV-Anlage)

Abbildung 5.2 zeigt die PV-Produktionsdeckungsgrade der Szenarien für die Nutzergruppe 2. Das Elektrofahrzeug kann bei ungesteuerter Ladung 2,9 % der jährlich produzierten Photovoltaikenergie in seine Batterie aufnehmen. Bei intelligenter Ladung können dagegen 15,8 % selbst verbraucht werden. Der Haushalt verbraucht im Grundszenario 47,1 % der jährlichen PV-Produktion. Für den Gesamthaushalt bedeutet dies, dass bei ungesteuerter Ladung 50,1 % und bei intelligenter Ladung 62,9 % der jährlich produzierten PV-Energie selbst verbraucht werden können.

Vergleich der ungesteuerten und der intelligenten Ladung

Nur zu Zeiten großer Sonneneinstrahlung kommt es vor, dass die haushaltseigene Photovoltaikanlage mehr Energie erzeugt als im Haushalt verbraucht wird. Dies bedeutet, dass nur zu diesen Zeiten das Elektrofahrzeug aus eigener PV-Energie geladen werden kann. Aufgrund der geringen Gleichzeitigkeit von Photovoltaiküberproduktion und Fahrzeugladung kann daher nur sehr wenig PV-Energie in die Batterie des haushaltseigenen Elektrofahrzeugs geladen werden. Das Fahrzeug der zweiten Nutzergruppe beispielsweise kann über das Jahr 105 kWh Photovoltaikstrom in seine Batterie laden (vgl. Tabelle 5.1). Das entspricht einem Anteil von 2,9 % der jährlich produzierten PV-Energie.

Durch die intelligente Ladung kann der PV-Anteil des Fahrzeugs der zweiten Nutzergruppe gegenüber der ungesteuerten Ladung um 24,7 % erhöht werden (vgl. Tabelle 5.2). Somit wird bei der intelligenten Ladung ein PV-Anteil von 30,3 % erreicht. Dies entspricht einer Energie von 568 kWh, die über das Jahr verteilt in die

Fahrzeuggeladung kann, was 15,7 % des jährlichen Photovoltaikertrags entspricht. Die Verschiebung der Fahrzeugladung in Zeiten hoher Sonneneinstrahlung hat also großen Einfluss auf die ladbare Energiemenge aus PV. Durch intelligente Ladung kann über das Fünffache der PV-Energie der ungesteuerten Ladung erreicht werden. Eine Ladungsregelung ist daher von großer Bedeutung für eine energetisch sinnvolle Ladung von Elektrofahrzeugen.

 Darstellung der Ergebnisse der
 Jahresenergiebilanzen

5.2 Vergleich der verschiedenen Nutzergruppen

Im folgenden Abschnitt der Studie werden die Ergebnisse für die verschiedenen Nutzergruppen untereinander verglichen. Dabei werden die ungesteuerte und die intelligente Ladung getrennt betrachtet.

In Tabelle 5.2 und Tabelle 5.3 sind für alle betrachteten Szenarien und Haushaltstypen die nutzbaren PV-Energiemengen sowie die PV-Anteile am Gesamtverbrauch dargestellt.

Tabelle 5.2: Nutzbare Photovoltaikenergiemengen in kWh für die Szenarien (max. 3,5 kW Ladeleistung, 4 kWp-PV-Anlage)

| | Haushalt | Elektrofahrzeug ungesteuert | Elektrofahrzeug intelligent | Gesamt (HH & EV) ungesteuert | Gesamt (HH & EV) intelligent |
|---|----------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Nutzergruppe 1: Single | 726,2 | 66,5 | 641,4 | 792,7 | 1367,6 |
| Nutzergruppe 2: Familie (Typ I) | 1696,6 | 105,3 | 567,6 | 1801,8 | 2264,2 |
| Nutzergruppe 3: Familie (Typ II) | 1627,9 | 105,6 | 496,4 | 1733,5 | 2124,2 |
| Nutzergruppe 4: Rentnerpaar | 1533 | 80,9 | 500,3 | 1613,9 | 2033,3 |

Tabelle 5.3: Nutzbare Photovoltaikenergieanteile für die Szenarien (max. 3,5 kW Ladeleistung, 4 kWp-PV-Anlage)

 Darstellung der Ergebnisse der
 Jahresenergiebilanzen

| | Haushalt | Elektrofahrzeug ungesteuert | Elektrofahrzeug intelligent | Gesamt (HH & EV) ungesteuert | Gesamt (HH & EV) intelligent |
|---|----------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Nutzergruppe 1: Single | 35,1 % | 4,6 % | 44,3 % | 22,5 % | 38,9 % |
| Nutzergruppe 2: Familie (Typ I) | 35,5 % | 5,6 % | 30,3 % | 27,1 % | 34,0 % |
| Nutzergruppe 3: Familie (Typ II) | 30,9 % | 5,6 % | 26,6 % | 24,2 % | 29,7 % |
| Nutzergruppe 4: Rentnerpaar | 34,5 % | 7,7 % | 47,7 % | 29,4 % | 37,0 % |

Die jährlich nutzbare PV-Energie bei ungesteuerten Ladevorgängen liegt zwischen 66,5 kWh bei einem Singlehaushalt und 105,6 kWh bei einem Familienhaushalt (Typ II). Durch intelligente Fahrzeugladung können erheblich größere PV-Energiemengen für die Fahrzeugladung genutzt werden. So kann in die Fahrzeugbatterie des Singlehaushalts mit 641,4 kWh im Jahr die größte Energiemenge aus der eigenen PV-Erzeugung geladen werden. Dies entspricht ca. einer zehnfachen Steigerung gegenüber der ungesteuerten Ladung. Der PV-Anteil an der Fahrzeugladung steigt auf 44,3 %. Die Steigerungsraten der anderen Nutzergruppen sind geringer. Doch auch hier steigen die PV-Energiemengen um die Faktoren fünf bis sieben im Vergleich zur ungesteuerten Ladung.

Das Fahrzeug des Rentnerhaushalts erreicht mit 500,3 kWh den größten PV-Anteil von 47,7 % an der Fahrzeugladung. Das liegt vor allem am niedrigen Energieverbrauch des Fahrzeugs, denn die Familienhaushalte erzielen ähnliche Energiemengen, der PV-Anteil ist jedoch deutlich geringer. Betrachtet man die Summe von Haushalts- und Fahrzeugverbrauch, so stellt man fest, dass die erreichte PV-Energie für die Familien- und den Rentnerhaushalt in der gleichen Größenordnung liegen. Nur der Singlehaushalt bleibt mit 1367,6 kWh weit dahinter zurück, was auf den geringen Haushaltsverbrauch zurückzuführen ist.

Die Art der Fahrzeugladung hat keinerlei Einfluss auf die Energiebilanz des Haushalts, da die Speisung des Haushalts bei beiden Ladearten Priorität vor der Fahrzeugladung hat. Der PV-Anteil am Haushaltsverbrauch liegt für alle Nutzergruppen im Bereich von 30 % bis 36 %. Das bedeutet, dass die Menge an eigenverbraucher Photovoltaikenergie im Haushalt mit zunehmendem Haushaltsverbrauch ebenfalls ansteigt. Dies gilt

jedoch nur innerhalb bestimmter Grenzen, d.h. das Verhältnis der Bezugsleistung des Haushalts zur installierten Photovoltaikleistung muss gewahrt bleiben.

Darstellung der Ergebnisse der
Jahresenergiebilanzen

5.3 Exemplarische Untersuchung des Parametereinflusses

Um die Auswirkungen der maximalen Ladeleistung sowie der installierten PV-Leistung auf die vorgestellten Ergebnisse bewerten zu können, wird eine Parametervariation für die einzelnen Bilanzen durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden exemplarisch vorgestellt werden.

5.3.1 Variation der maximalen Ladeleistung

Die standardmäßig angenommene Ladeleistung von 3,5 kW beschreibt die Ladung an einer herkömmlichen Haushaltssteckdose mit einphasigem Anschluss. Im Privatbereich kommt weiterhin ein dreiphasiger Anschluss in Frage, der eine höhere Ladeleistung ermöglicht. Im Rahmen der Parametervariation wird eine maximale Leistung von 10 kW angenommen.

Durch eine größere Ladeleistung wird tendenziell etwas weniger Sonnenenergie in die Fahrzeugbatterie geladen (vgl. Abbildung 5.3). Dies ist zum einen darin begründet, dass im Standardfall die produzierte Leistung der 4 kWp-Anlage extrem selten bzw. nie größer ist als der Haushaltsverbrauch summiert mit der maximalen Ladeleistung (3,5 kW) des Fahrzeugs. Das bedeutet wiederum, dass die zur Verfügung stehende Photovoltaikleistung komplett genutzt und nicht ins öffentliche Stromnetz eingespeist wird. Eine größere maximale Ladeleistung spielt erst im Zusammenhang mit einer größeren Photovoltaikanlage eine entscheidende Rolle für die Vermeidung von PV-Einspeisung ins öffentliche Stromnetz aufgrund von Überproduktion.

Der hauptsächliche Vorteil einer größeren Ladeleistung besteht darin, dass sie bei kürzeren Ladezeiten größere Fahrtstrecken ermöglicht. Das ist dann der Fall, wenn das Fahrzeug nur für kurze Zeit an der heimischen Ladestation steht und danach erneut verwendet wird. Für die maximale Verfügbarkeit des Fahrzeugs ist dies sehr wünschenswert. Aus energetischer Sicht fällt jedoch auf, dass bei dieser Art der Ladung fast ausschließlich mit Netzbezug geladen wird. Für den Fall, dass bei der nächsten Rückkehr an die Ladestation eine große Menge an PV-Energie für die Ladung zur Verfügung steht, kann davon weniger genutzt werden. Der PV-Anteil der Fahrzeugladung sinkt dadurch. Dieser Effekt wird in Abbildung 5.3 veranschaulicht.

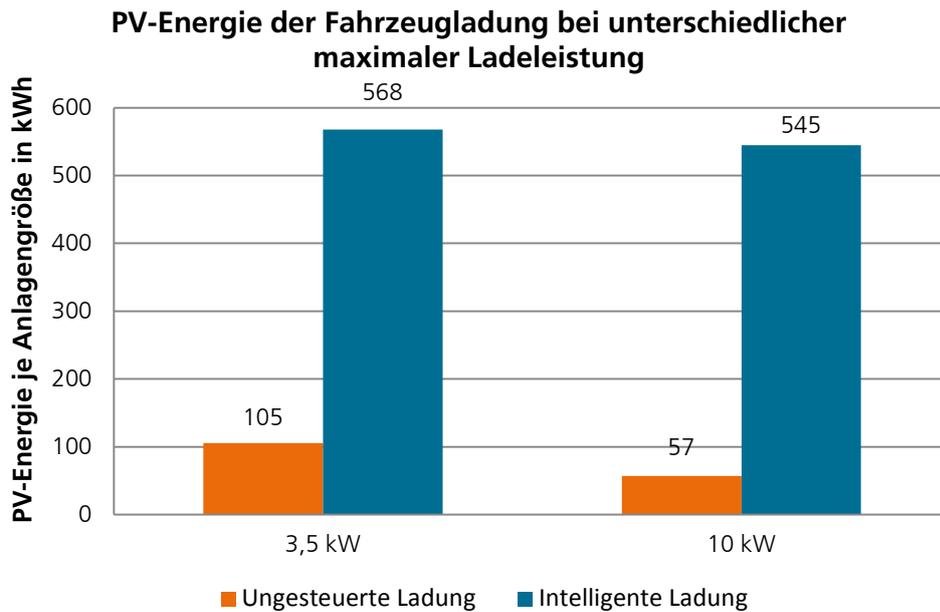


Abbildung 5.3: PV-Energiemengen für die Ladung des Erstfahrzeugs der Nutzergruppe 2 (max. 3,5 und 10 kW Ladeleistung, 4 kWp-PV-Anlage)

Die potentiell ladbare Energiemenge ist bei einer maximalen Ladeleistung von 10 kW und intelligenter Ladung mit 545 kWh um 23 kWh geringer als bei Ladung mit 3,5 kW.

5.3.2 Variation der installierten PV-Leistung

Die nutzbare PV-Energie für die Fahrzeugladung ist ebenfalls stark von der installierten PV-Anlagenleistung abhängig. Im Rahmen der Parametervariation werden Anlagen mit zwei, vier und acht kWp betrachtet. Die Stromproduktion aus Photovoltaik übersteigt bei größeren PV-Anlagenleistungen häufiger den Haushaltstromverbrauch, woraufhin mehr Leistung für die Ladung des Elektrofahrzeugs zur Verfügung steht. Dies zeigt sich in einem größeren PV-Anteil der Fahrzeugladung. Das Potential der ungesteuerten Ladung bleibt dabei weit hinter dem Potential der intelligenten Ladung zurück. Die absoluten Ertragsunterschiede zwischen den beiden Ladearten wachsen mit zunehmender installierter PV-Leistung. Es lässt sich also feststellen, dass die Bedeutung der intelligenten Fahrzeugladung mit der Größe der installierten PV-Anlage zunimmt. Abbildung 5.4 veranschaulicht diese Tatsache. Die prozentualen Steigerungen des PV-Anteils der intelligenten Fahrzeugladung sind stets größer als die der ungesteuerten Ladung.

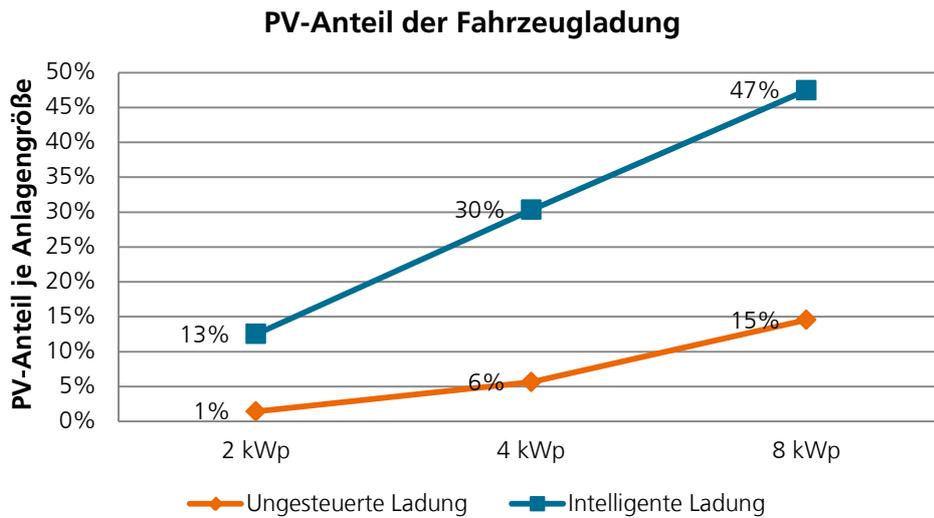


Abbildung 5.4: PV-Anteile der Ladung des Erstfahrzeugs der Nutzergruppe 2 (max. 3,5 kW Ladeleistung, 2, 4 und 8 kWp-PV-Anlage)

Der PV-Produktionsdeckungsgrad der 2 kWp- Anlage erreicht bei intelligenter Fahrzeugladung für den Gesamthaushalt einen Wert von 86 % (vgl. Abbildung 5.5). Dies ist dadurch begründet, dass der Haushalt einen sehr großen Teil der produzierten PV-Leistung selbst verbraucht. Nach der Versorgung des Haushalts ist häufig keine oder nur eine geringe PV-Leistung für die Fahrzeugladung übrig. Aus diesem Grund ist die Anlage für eine zusätzliche Fahrzeugladung sehr klein dimensioniert.

Bei größerer Dimensionierung geht der Produktionsdeckungsgrad der Photovoltaikanlage entsprechend zurück. Die 8 kWp- Anlage erreicht lediglich einen Produktionsdeckungsgrad von 40 %. Es werden also 60 % der erzeugten Energie ins öffentliche Stromnetz eingespeist.

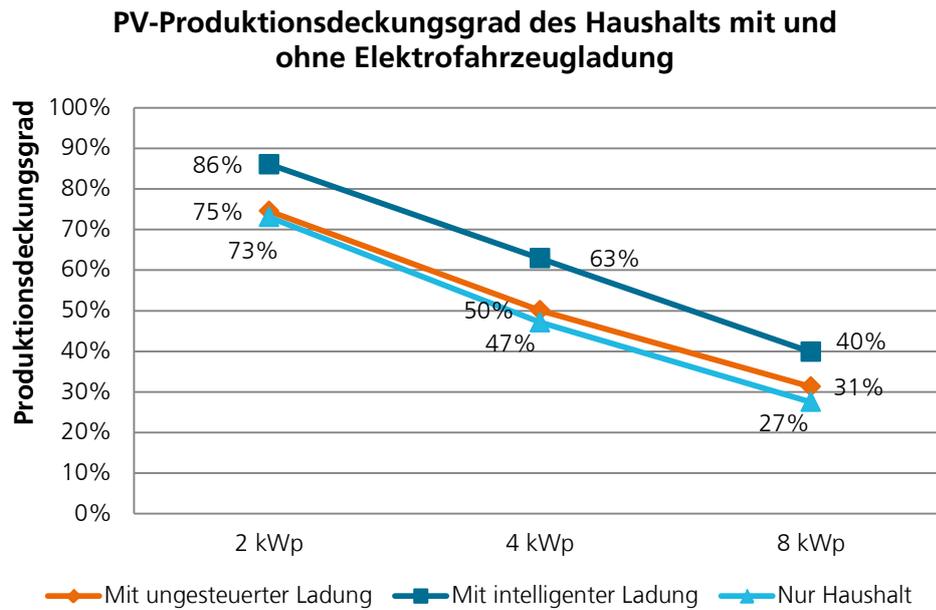


Abbildung 5.5: PV-Produktionsdeckungsgrad des Gesamthaushalts der Nutzergruppe 2 (max. 3,5 kW Ladeleistung, 2, 4 und 8 kWp-PV-Anlage)

5.4 Bewertung der Ergebnisse

Der Verbrauch eigenerzeugter Photovoltaikenergie im Haushalt beträgt bei einer 4 kWp-Anlage für die durchschnittlichen Haushalte der vier Nutzergruppen zwischen 30 % und 36 % der gesamt produzierten PV-Energiemenge. Durch ungesteuerte Ladung eines Elektrofahrzeugs kann der Eigenverbrauch darüber hinaus nur geringfügig erhöht werden. Der Mehrwert der ungesteuerten Elektrofahrzeugladung ist aus energetischer Sicht daher relativ gering. Das Potential der intelligenten Ladung des Elektrofahrzeugs ist hingegen deutlich größer. Bei den Haushalten der Nutzergruppen zwei, drei und vier kann mit einem elektrischen Erstfahrzeug ungefähr ein Drittel des Haushaltsverbrauchs zusätzlich aus eigenerzeugter PV-Energie genutzt werden. Das Beispiel des Durchschnittshaushalts der zweiten Nutzergruppe zeigt, dass der Produktionsdeckungsgrad durch die intelligente Ladung des elektrischen Erstfahrzeugs von 47 % auf 63 % gesteigert werden kann.

Das verwendete Fahrprofil entspricht dem Durchschnittswert der jeweiligen Nutzergruppe. Durch veränderte Fahrgewohnheiten kann der Eigenverbrauch durch ein Elektrofahrzeug beträchtlich erhöht werden. Insbesondere im Fall mehrerer Fahrzeuge mit unterschiedlichen Fahrprofilen ergibt sich ein großes Potential zur Ladung der Fahrzeuge mit eigenerzeugtem PV-Strom. Durch das Vorhandensein mehrerer Fahrzeuge ist die Wahrscheinlichkeit bedeutend größer, dass ein Fahrzeug an der

Ladestation verfügbar ist um den erzeugten Strom in seine Batterie zu laden. Aus diesem Grund sind Fahrzeugflotten mit mehreren elektrischen Fahrzeugen für die Maximierung der PV-Eigenstromnutzung besonders attraktiv. Daher ist die Untersuchung gewerblicher Fahrzeugflotten in diesem Zusammenhang sehr interessant.

Darstellung der Ergebnisse der
Jahresenergiebilanzen

6 Ökonomische Betrachtung der Ergebnisse

Um die Ergebnisse der Energiebilanzen ökonomisch einstufen zu können wird im Folgenden die gesetzlichen Grundlagen des EEG 2009, des EEG 2012 und einer Annahme für das Jahr 2015 (im Folgenden EEG 2015 genannt) herangezogen, um eine Abschätzung der Einsparmöglichkeiten vorzunehmen. Zunächst werden die angewandten Fassungen des EEG kurz beschrieben.

6.1 Gesetzliche Grundlage: EEG

Die Abkürzung EEG steht für das deutsche Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien. Es regelt die vorrangige Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen und garantiert dabei feste Einspeisevergütungen über einen definierten Zeitraum (8). Die erste Fassung trat am 1. April 2000 in Kraft. Darin waren die Einspeisevergütungen für Strom aus verschiedenen erneuerbaren Energiequellen festgeschrieben. Die Einspeisevergütungen für Photovoltaikstrom lagen deutlich über dem Haushaltsstrompreis, weshalb die Einspeisung der produzierten Energie die wirtschaftlichste Betriebsweise einer PV-Anlage war. Auch in der veränderten Fassung des EEGs aus dem Jahr 2004 wurde daran nichts geändert.

EEG 2009

Am 1. Januar 2009 trat eine Neufassung des EEG in Kraft. Darin wurde erstmalig eine Eigenstromvergütung festgelegt um die Eigenstromnutzung attraktiv zu machen. Grund für diesen Schritt waren u.a. die möglichen positiven Auswirkungen der Eigenstromnutzung auf die Spannungsqualität im Stromnetz, vor allem in Bezug auf das Niederspannungsnetz.

Es wurde eine gleitende Degression der Einspeisevergütung eingeführt, d.h. die Einspeisevergütung geht in Abhängigkeit von der installierten Photovoltaikleistung des vorigen Halbjahres zurück. Fällt der Photovoltaikausbau höher aus als erwartet, geht die Einspeisevergütung im folgenden Halbjahr entsprechend stärker zurück. Seit Juli 2010 gibt es zusätzlich zu dieser Regelung eine Unterscheidung nach der Eigenverbrauchsquote. Liegt diese über 30 %, wird der Eigenverbrauch erhöht vergütet (vgl. Tabelle 6.1).

Tabelle 6.1: Eigenverbrauchsvergütungen für PV-Anlagen bis 30 kWp nach Installationsjahr in ct/kWh (9)

| | | 2009 | Datum der Inbetriebnahme | | | 2011 |
|----------------------------|-----------|-------|--------------------------|----------------|----------------|-------|
| | | | 2010 | | | |
| Eigenverbrauchs- anteil | bis 30 % | 25,01 | Jan. – Jun. | Jul. – Okt. | Okt. – Dez. | 12,36 |
| | über 30 % | | 22,76 | 22,05 | 21,03 | |

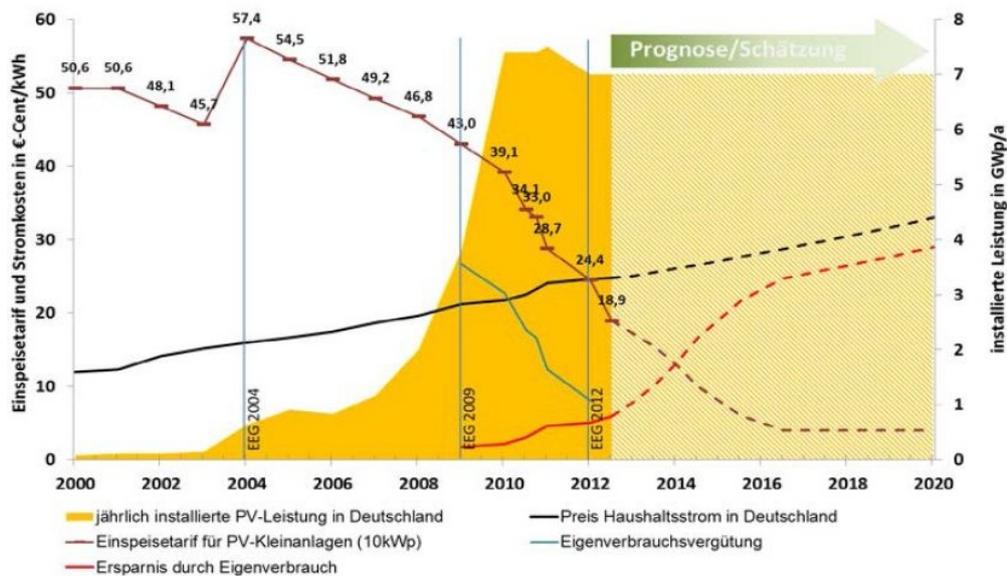
EEG 2012

Das EEG 2012 ist die aktuell gültige Fassung des EEG. Diese trat am 1. Januar 2012 in Kraft und löste damit seinen Vorgänger aus dem Jahre 2009 ab. Damit wurde die darin festgelegte Eigenverbrauchsvergütung wieder abgeschafft. Das lag einerseits an den zwischenzeitlich gesunkenen Einspeisevergütungen und andererseits an den gestiegenen Strompreisen für Haushaltskunden. Die Einspeisevergütung lag nun erstmalig unterhalb des Strompreinsniveaus, so dass eine Vergütung der Eigenstromnutzung überflüssig wurde.

Finanzieller Aspekt der Eigenstromnutzung

Es wird davon ausgegangen, dass sich die Eigenstromnutzung für Besitzer von Photovoltaikanlagen bis 10 kWp zukünftig von Jahr zu Jahr mehr lohnen wird. Grund für diese Annahme ist der anhaltende Trend der Strompreiserhöhung gekoppelt mit der sinkenden Einspeisevergütung aufgrund des kontinuierlich starken Photovoltaikzubaues in Deutschland.

Abbildung 6.1 veranschaulicht den Zusammenhang der zu erwartenden Eigenstromvergütungssätze im Zeitraum von 2000 bis 2020 (10). Die Grafik wurde im Juli 2012 erstellt, d.h. ab diesem Zeitpunkt handelt es sich um prognostizierte Werte.



Ökonomische Betrachtung der Ergebnisse

Abbildung 6.1: Entwicklung des Strompreises und der Einspeisevergütung seit 2000 mit Prognose bis 2020

Der jährliche Photovoltaikzubau in Deutschland ist in der Abbildung durch die gelb eingefärbte Fläche dargestellt. Es ist ein extremer Anstieg des jährlichen Photovoltaikzubaus in den Jahren 2007 bis 2010 festzustellen. In den Jahren 2010 bis 2012 blieb die jährlich installierte Photovoltaikleistung bei ca. 7 GWp/a. Der jährliche Zubau für die Jahre bis 2020 wird ebenfalls in dieser Größe angenommen. Basierend auf dieser Annahme und der im EEG festgeschriebenen Degression in Abhängigkeit von der neu installierten PV-Leistung des vorigen Halbjahres wurde der Einspeisetarif für PV-Kleinanlagen bis 10 kWp berechnet.

Die realen Einspeisetarife sind Anfang des Jahres 2013 stärker zurückgegangen als erwartet, da der Zubau von Photovoltaik im Jahr 2012 mit 7,6 GWp/a die Annahmen übertraf. Aufgrund der stärkeren Degression der Einspeisevergütungen ist künftig jedoch weniger PV-Zubau und dadurch ein geringerer Rückgang der Einspeisevergütungen für den weiteren Verlauf des Jahres 2013 zu erwarten (11). Für den Haushaltstrompreis wird eine gemäßigte Steigerung angenommen, welche die tatsächliche Steigerung unterschätzt. Der prognostizierte Preis für 2013 liegt unter dem letzten verfügbaren Durchschnittswert von 28,73 ct/kWh. Dieser Wert wurde der Strompreisanalyse des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) aus dem Jahr 2013 entnommen (12).

Die Differenz aus Einspeisetarif und Haushaltstrompreis ergibt die Ersparnis durch Eigenverbrauch. Sie ist in der Grafik mit einer roten Linie dargestellt. Die aktuelle Ersparnis durch Eigenverbrauch liegt bei 13,38 ct/kWh und ist damit höher als in der

Grafik dargestellt. Der prognostizierte Anstieg der Ersparnis durch Eigenverbrauch ist somit etwas früher eingetreten.

Ökonomische Betrachtung der
Ergebnisse

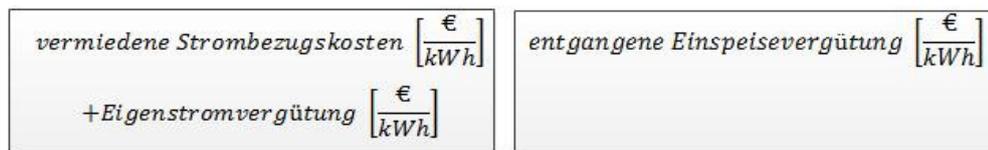
Vor dem Hintergrund stetig fallender Einspeisevergütungen tritt die Nutzung des eigenerzeugten Stroms u.a. zur Ladung eines Elektrofahrzeuges mehr und mehr in den Fokus. Die Auswirkung der sinkenden Einspeisevergütungen auf die Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen soll in den folgenden Ausführungen abgeschätzt werden. Zu diesem Zweck wird zwischen dem EEG-Szenario 2009, dem EEG-Szenario 2012 und dem EEG-Szenario 2015 unterschieden. Die möglichen Einsparungen der drei genannten Szenarien sollen jeweils mit den gleichen Energiesummen berechnet werden. Zu diesem Zweck wird nachfolgend exemplarisch die energetische Bilanz des Erstfahrzeugs der zweiten Nutzergruppe verwendet.

6.2 Berechnung der Ersparnisse durch Eigenverbrauch

Die Vorgehensweise der Berechnung der wirtschaftlichen Bilanzen des Haushalts ohne Fahrzeug sowie der Bilanzen mit Fahrzeug ist jeweils dieselbe: Im ersten Schritt werden die Kosten und Erlöse des Ausgangsszenarios berechnet. Ausgangsszenario bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sämtlicher Strombezug des Haushalts aus dem öffentlichen Stromnetz erfolgt und im Gegenzug die ganze Photovoltaikenergie in selbiges eingespeist wird. Im nächsten Schritt wird die Ersparnis für jede selbst verbrauchte Kilowattstunde berechnet. Dabei ist die Einsparung pro eigenverbraucher Kilowattstunde unabhängig davon, ob diese vom Haushalt oder vom Elektrofahrzeug verbraucht wurde. Deshalb können deren Einsparungen auf die gleiche Weise berechnet und später auch addiert werden.

Die Berechnung der Ersparnis pro eigenverbraucher Kilowattstunde erfolgt entsprechend Abbildung 6.2 durch Subtraktion der entgangenen Einspeisevergütung von den Einnahmen, bestehend aus den vermiedenen Strombezugskosten und der ggf. erzielten Eigenstromvergütung. Die jährliche Ersparnis lässt sich schließlich durch Multiplikation dieses Wertes mit der Summe des jährlichen Eigenverbrauchs ermitteln.

$$\text{Ersparnis} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] = \text{Einnahmen} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] - \text{entgangene Einnahmen} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$



Ökonomische Betrachtung der Ergebnisse

Abbildung 6.2: Berechnung der Ersparnis pro eigenverbraucher Kilowattstunde

Gemäß dieser Berechnung ergeben sich für die drei verschiedenen Szenarien stark unterschiedliche Werte. Diese Werte sind zusammen mit ihrer Berechnungsgrundlage in Tabelle 6.2 dargestellt.

Tabelle 6.2: Einsparung pro eigenverbraucher Kilowattstunde gemäß den verschiedenen EEG-Szenarien
Quellen: (12) (13)

| | EEG-Szenario 2009 | EEG-Szenario 2012 | EEG-Szenario 2015 |
|---|----------------------------|----------------------|----------------------|
| Bezugsjahr | 2013 | 2013 | 2015 |
| Installationsjahr/ Monat | 2010 /Juli | 2013 /Juli | 2015 |
| Strombezugskosten in ct/kWh | 28,73 | 28,73 | 31,07 |
| Einspeisevergütung in ct/kWh | 34,05 | 15,35 | 5 |
| Eigenstromvergütung in ct/kWh | 17,67 (22,05) ¹ | - | - |
| Ersparnis durch Eigenverbrauch in ct/kWh | 12,35 (16,73) | 13,38 | 26,07 |

Die Berechnung der drei EEG-Szenarien erfolgt jeweils anhand eines konkreten Beispiels. Das EEG-Szenario 2009 wird mit einer PV-Anlage berechnet, die im Juli 2010

¹ Die Angabe in Klammern gibt die Eigenstromvergütung bei einem Eigenstromanteil über 30 % an

installiert wurde. Für das EEG-Szenario 2012 wird von einer aktuell installierten PV-Anlage ausgegangen. Für diese beiden Szenarien werden jeweils die heute möglichen Einsparungen durch Eigenverbrauch berechnet (Stand Juli 2013).

Der verwendete Wert für den Strompreis wurde der Strompreisanalyse des BDEW entnommen (12). Die Werte für die Einspeise- und Eigenstromvergütung stammen vom Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V. (13). Dabei ist die Eigenstromvergütung für das EEG 2009 zudem abhängig von der Höhe des Eigenstromanteils (s. Tabelle 6.1).

Für die Prognose des EEG-Szenarios 2015 werden ein Haushaltsstrompreis von 31,07 ct/kWh und eine Einspeisevergütung von 5 ct/kWh angenommen. Der Wert für den Haushaltsstrompreis beruht auf der Annahme einer durchschnittlichen jährlichen Steigerung von 4 % auf Basis des heutigen Durchschnittspreises von 28,73 ct/kWh (10). Abbildung 6.3 und Abbildung 6.4 veranschaulichen deutlich, dass der Eigenstromverbrauch in Privathaushalten in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen hat. Besonders die Prognosen für die nächsten Jahre versprechen hohe finanzielle Einsparungen im Haushalt. Mit den berechneten Einsparungen pro kWh aus Tabelle 6.2 wird im Folgenden die wirtschaftliche Bewertung der Jahresenergiebilanzen des Grundszenarios und der um die Elektrofahrzeugladung erweiterten Szenarien beispielhaft anhand der zweiten Nutzergruppe berechnet. Für die Abschätzung des Potentials wird dabei lediglich die Einsparung durch PV-Eigenverbrauch berücksichtigt, während eventuelle Mehrausgaben für die intelligente Ladesteuerung nicht berücksichtigt werden.

Wirtschaftliches Ergebnis des Haushalts der zweiten Nutzergruppe mit elektrischem Erstfahrzeug

Betrachtet man den Haushalt der zweiten Nutzergruppe, können 1.697 kWh im Jahr aus der Photovoltaikanlage bezogen werden. Dies entspricht einem Anteil von 35,5 % am Gesamtverbrauch. Finanziell betrachtet ergibt dies eine Ersparnis von 221 € für das EEG-Szenario 2009, 227 € für das EEG-Szenario 2012 und 442,30 € für die Prognose für das Jahr 2015 (vgl. Abbildung 6.3).

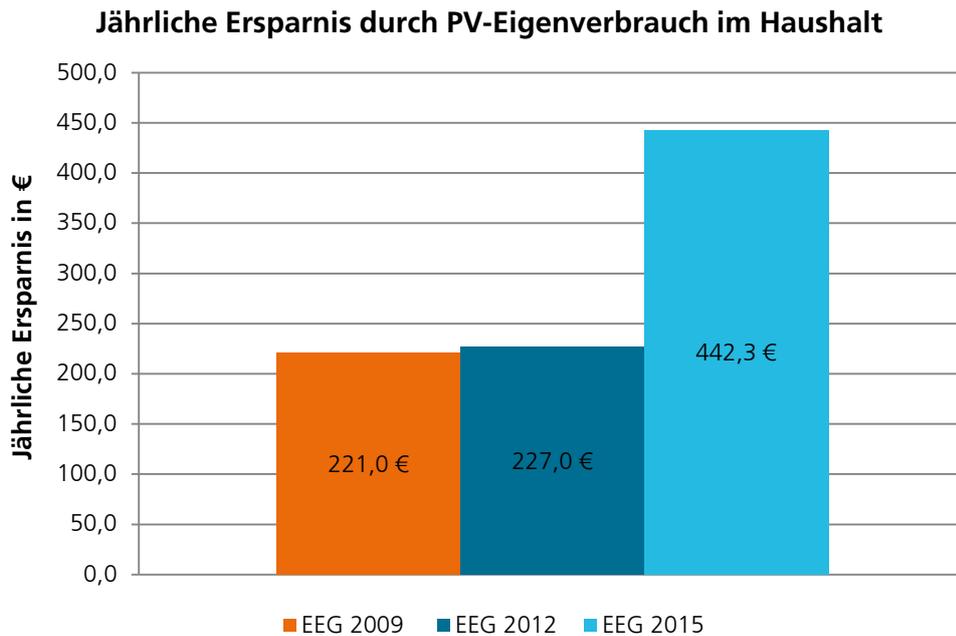


Abbildung 6.3: Jährliche Ersparnis durch PV-Eigenverbrauch im Haushalt der zweiten Nutzergruppe (4 kWp-PV-Anlage)

Für die Berechnung des jährlichen Ersparnisses gemäß dem EEG 2009 wird die erhöhte Eigenstromvergütung für den Eigenverbrauch über 30 % berücksichtigt. Daher wird für 5,5 % des Eigenverbrauchs eine Eigenstromvergütung von 22,05 ct/kWh angewandt. Der zusätzliche Eigenverbrauch des Fahrzeugs wird ebenfalls mit der erhöhten Eigenstromvergütung berücksichtigt. Dadurch fällt die jährliche Ersparnis im EEG-Szenario 2009 besser aus als die vergleichbare Bilanz des EEG 2012 (vgl. Abbildung 6.4).

Aufgrund der sehr kleinen nutzbaren Energiemenge aus der PV-Anlage für die ungesteuerte Fahrzeugladung ist auch die jährliche Ersparnis entsprechend gering. Es wird eine Ersparnis von 17,60 € für das EEG-Szenario 2009, 14,10 € für eine 2013 neu installierte PV-Anlage und 27,40 € für das EEG-Szenario 2015 erreicht. Die theoretisch erreichbaren Einsparungen bei intelligenter Ladung sind etwas größer und liegen für die aktuell installierte PV-Anlage bei 75,90 €. Das EEG-Szenario 2009 ergibt einen jährlichen finanziellen Vorteil von 95,00 €, die Prognose für das Jahr 2015 erreicht 148,00 € (vgl. Abbildung 6.4).

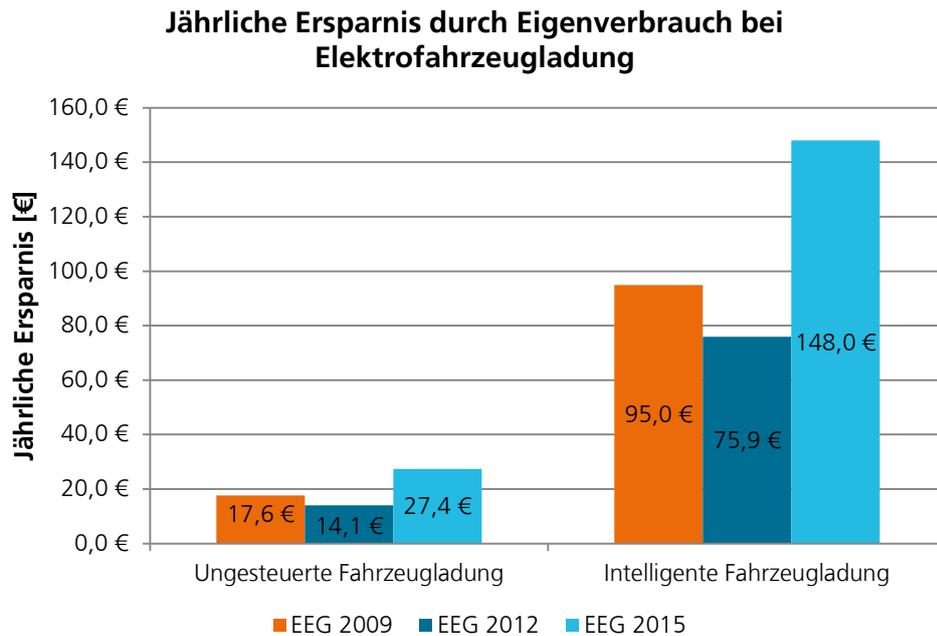


Abbildung 6.4: Jährliche Ersparnis durch PV-Eigenverbrauch bei intelligenter Ladung des elektrischen Erstfahrzeugs der zweiten Nutzergruppe (max. Ladeleistung 3,5 kW, PV-Anlage von 4 kWp)

Wirtschaftliches Ergebnis der Energiebilanzen der Nutzergruppen mit elektrischem Erst- bzw. Zweitfahrzeug

In Tabelle 6.3, Tabelle 6.4 und Tabelle 6.5 sind die berechneten Einsparmöglichkeiten aufgrund von Eigenverbrauch im Grundszenario bzw. bei ungesteuerter und intelligenter Ladung sowohl für das Erst- als auch ein mögliches Zweitfahrzeug abgebildet. Die berechneten jährlichen Einsparungen der verschiedenen EEG-Szenarien basieren jeweils auf den in Kapitel 5 vorgestellten jährlichen Eigenverbrauchsmengen.

EEG-Szenario 2009

Ökonomische Betrachtung der
Ergebnisse

Die in Tabelle 6.3 dargestellten jährlichen Einsparungen durch PV-Eigenverbrauch basieren auf den errechneten Einsparungen für jede eigenverbrauchte Kilowattstunde von 12,35 bzw. 16,73 ct/kWh ab einem Eigenstromanteil von 30 % (vgl. Tabelle 6.2).

Tabelle 6.3: Jährliche Einsparmöglichkeiten nach EEG-Szenario 2009 aufgrund von Eigenverbrauch im Haushalt und durch Elektrofahrzeugladung (max. Ladeleistung 3,5 kW, 4 kWp-PV-Anlage)

| | Grundszenario | Erstfahrzeug ungesteuert | Erstfahrzeug intelligent | Zweitfahrzeug ungesteuert | Zweitfahrzeug intelligent |
|---|---------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Nutzergruppe 1: Single | 94,30 € | 11,10 € | 107,30 € | - | - |
| Nutzergruppe 2: Familie (Typ I) | 221,00 € | 17,60 € | 95,00 € | 6,00 € | 66,70 € |
| Nutzergruppe 3: Familie (Typ II) | 203,10 € | 17,70 € | 83,00 € | 11,60 € | 75,40 € |
| Nutzergruppe 4: Rentnerpaar | 198,00 € | 13,50 € | 83,70 € | - | - |

EEG-Szenario 2012

Die in Tabelle 6.4 dargestellten jährlichen Einsparungen durch PV-Eigenverbrauch basieren auf den in Tabelle 6.2 dargestellten Einsparungen für jede eigenverbrauchte Kilowattstunde von 13,38 ct/kWh.

Die errechneten Einsparungen durch den Haushaltsverbrauch sind im EEG-Szenario 2012 für alle Nutzergruppen größer als die entsprechenden Werte des EEG-Szenarios 2009. Die Einsparungen durch die Eigenstromnutzung für die Ladevorgänge verhalten sich genau gegenteilig, d.h. die Einsparungen des EEG-Szenario 2009 sind für alle Nutzergruppen größer als die des EEG-Szenarios 2012. Dies liegt an der festgelegten 30 %-Schwelle für den Eigenverbrauch im EEG-Szenario 2009.

Tabelle 6.4: Jährliche Einsparmöglichkeiten nach EEG-Szenario 2012 aufgrund von Eigenverbrauch im Haushalt und durch Elektrofahrzeugladung (max. Ladeleistung 3,5 kW, 4 kWp-PV-Anlage)

| | Grundszenario | Erstfahrzeug ungesteuert | Erstfahrzeug intelligent | Zweitfahrzeug ungesteuert | Zweitfahrzeug intelligent |
|---|---------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Nutzergruppe 1: Single | 97,20 € | 8,90 € | 85,80 € | - | - |
| Nutzergruppe 2: Familie (Typ I) | 227,00 € | 14,10 € | 75,90 € | 4,80 € | 53,40 € |
| Nutzergruppe 3: Familie (Typ II) | 217,80 € | 14,10 € | 66,40 € | 9,30 € | 60,30 € |
| Nutzergruppe 4: Rentnerpaar | 205,10 € | 10,80 € | 66,90 € | - | - |

EEG-Szenario 2015

Die in Tabelle 6.5 dargestellten jährlichen Einsparungen durch PV-Eigenverbrauch basieren auf den in Tabelle 6.2 dargestellten Einsparungen für jede eigenverbrauchte Kilowattstunde von 26,07 ct/kWh.

Das EEG-Szenario 2015 erreicht deutlich größere Einsparungen als das EEG-Szenario 2012. Nutzergruppe zwei beispielsweise kann bei den prognostizierten Bedingungen für 2015 durch Eigenverbrauch im Haushalt und durch intelligente Ladung des Erstfahrzeugs jährlich 532,10 € einsparen. Das entspricht einer Zunahme von 234,40 € gegenüber dem EEG-Szenario 2012.

Tabelle 6.5: Jährliche Einsparmöglichkeiten nach EEG-Szenario 2015 aufgrund von Eigenverbrauch im Haushalt und durch Elektrofahrzeugladung (max. Ladeleistung 3,5 kW, 4 kWp-PV-Anlage)

| | Grundszenario | Erstfahrzeug ungesteuert | Erstfahrzeug intelligent | Zweitfahrzeug ungesteuert | Zweitfahrzeug intelligent |
|---|---------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Nutzergruppe 1: Single | 189,30 € | 17,30 € | 167,20 € | - | - |
| Nutzergruppe 2: Familie (Typ I) | 442,30 € | 27,40 € | 148,00 € | 9,30 € | 104,00 € |
| Nutzergruppe 3: Familie (Typ II) | 424,40 € | 27,50 € | 129,40 € | 18,10 € | 117,60 € |
| Nutzergruppe 4: Rentnerpaar | 399,70 € | 21,10 € | 130,40 € | - | - |

Vergleich der Einsparungen im Haushalt und für die Elektrofahrzeugladung

Da die Energiesummen für die Berechnung der Einsparungen jeweils für alle EEG-Szenarien gleich sind, können die Ergebnisse der verschiedenen Nutzergruppen unabhängig von den Szenarien miteinander verglichen werden. Für den Vergleich der Nutzergruppen werden beispielhaft die Zahlen des aktuellen EEG-Szenarios 2012 verwendet.

Die beiden Familienhaushalte (Nutzergruppen zwei und drei) erreichen mit 227 € bzw. 217,80 € die größten Ersparnisse aufgrund von Eigenstromverbrauch im Haushalt. Das Rentnerpaar (Nutzergruppe vier) liegt mit einer jährlichen Ersparnis von 205,10 € in der gleichen Größenordnung. Der Singlehaushalt (Nutzergruppe eins) kann dagegen mit

97,20 € deutlich weniger einsparen, was auf den insgesamt deutlich niedrigeren Energieverbrauch zurückzuführen ist.

Allgemein lässt sich festhalten, dass die Ersparnisse durch ungesteuerte Fahrzeugladung sehr gering sind. Allerdings sind dafür keine zusätzlichen Geräte wie beispielsweise ein intelligenter Laderegler für die Elektrofahrzeugladung nötig. Die geringen Einsparungen können daher als Reingewinn betrachtet werden.

Bei der intelligenten Fahrzeugladung können im Vergleich zur ungesteuerten Fahrzeugladung deutlich höhere Einsparungen erreicht werden. Beispielsweise können durch intelligente Ladung des Erstfahrzeugs der zweiten Nutzergruppe heutzutage insgesamt 75,90 € eingespart werden. Der Mehrwert der intelligenten Ladung gegenüber ungesteuerter Ladung beträgt für dieses Beispiel daher jährlich 61,80 €.

Durch Eigenstromverbrauch bei ungesteuerter Ladung des Zweitfahrzeuges werden 4,80 € bei Nutzergruppe zwei bzw. 9,30 € bei Nutzergruppe drei erreicht. Damit liegen die Einsparungen durch das elektrische Zweitfahrzeug unter den erreichbaren Einsparungen der jeweiligen Erstfahrzeuge. Die Mehrwerte durch intelligente Ladung gegenüber ungesteuerter Ladung liegen bei 48,60 € bzw. 51 € und erreichen damit annähernd die Einsparungen der Erstfahrzeuge durch intelligente Ladung. Die absoluten Einsparungen sind jedoch geringer als die Einsparungen bei intelligenter Ladung der Erstfahrzeuge.

Aufgrund der geringen Kilometerleistung und den i.d.R. längeren Standzeiten ergeben sich für die Zweitfahrzeuge deutliche Unterschiede bei den Ergebnissen. Dabei spielt die zu ladende Energiemenge die entscheidende Rolle. Obwohl tendenziell mehr Zeit für eine Ladungsverschiebung vorhanden ist, wird bei den Zweitfahrzeugen trotzdem weniger PV-Energie in die Fahrzeugbatterie geladen als bei den entsprechenden Erstfahrzeugen. Die größere Fahrleistung ist daher einer der Gründe, weshalb Erstfahrzeuge für den Einsatz von Elektrofahrzeugen geeigneter sind als Zweitfahrzeuge.

6.3 Fazit der ökonomischen Betrachtung

Für alle Nutzergruppen lässt sich feststellen, dass sich durch PV-Eigenverbrauch größere Einsparungen im Haushalt erzielen lassen als bei der Fahrzeugladung. Dies ist auf die vorgenommene Prioritätenvergabe zurückzuführen: Das Fahrzeug kann nur dann Photovoltaikleistung beziehen, wenn der Haushaltstrombezug gedeckt ist.

Die erzielbaren Ersparnisse sind zwischen den verschiedenen Nutzergruppen teilweise stark unterschiedlich. Die Familienhaushalte (Nutzergruppen zwei und drei) erzielen sowohl durch Eigenverbrauch im Haushalt als auch durch Elektrofahrzeugladung höhere Einsparungen als die Haushalte der Rentner (Nutzergruppe vier) und Singles (Nutzergruppe eins).

Für das Beispiel eines Familienhaushalts der zweiten Nutzergruppe kann von Einsparungen in Höhe von 227 € im Haushalt und zusätzlichen 14,10 € durch ungesteuerte Elektrofahrzeugladung ausgegangen werden. Ohne jegliche Steuerung der Haushaltslast und der Fahrzeugladung können somit heutzutage 241,10 € jährlich durch Photovoltaikeigenverbrauch gespart werden. Dabei fallen keine zusätzlichen Investitionen an, weshalb die Einsparungen als Reingewinn betrachtet werden können. Durch intelligente Steuerung der Fahrzeugladung kann theoretisch eine zusätzliche Ersparnis von 61,80 € jährlich erzielt werden, wobei in diesem Fall allerdings Mehrinvestitionen für die Ladesteuerung anfallen. Diese Mehrinvestitionen können bei einer Integration der Laderegulierung in ggf. bereits existierende Smart Home Systeme minimiert werden.

Für das EEG-Szenario 2015 ergibt sich bei intelligenter Elektrofahrzeugladung eine jährliche Einsparung von 120,60 €. Grundlage dessen ist die deutlich größere Ersparnis pro eigenverbrauchter Kilowattstunde gegenüber dem EEG-Szenario 2012. Die jährlichen Ersparnisse der zweiten Nutzergruppe durch Eigenverbrauch im Haushalt und durch intelligente Fahrzeugladung erreichen gemäß dem EEG-Szenario 2015 eine Summe von insgesamt 590,30 €. Das entspricht einer jährlichen Mehreinnahme von 287,40 € und einer Steigerung von 94,9 % gegenüber dem heutigen EEG-Szenario 2012.

Trotz der Unsicherheiten der Prognosen, die hinter dem EEG-Szenario 2015 stehen zeigen diese Zahlen das große Potential des Eigenverbrauchs von Photovoltaikstrom im Haushalt und für die Elektrofahrzeugladung. Der Anteil des Eigenverbrauchs von Photovoltaikstrom wird daher zukünftig von wachsender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit von privaten PV-Anlagen sein. Aus diesem Grund werden in Zukunft Systeme zur intelligenten Elektrofahrzeugladung bzw. zur intelligenten Steuerung von Verbrauchern im Haushalt immer attraktiver.

1. **Mobilität in Deutschland.** MiD 2008. [Online] [Zitat vom: 29. Juli 2013.] http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/02_MiD2008/index.htm.
2. **Greengear.** Marktübersicht Elektroautos 2013. [Online] [Zitat vom: 2013. Juli 2013.] <http://www.greengear.de/elektroauto-marktuebersicht-2013/>.
3. **Marwitz, Simon.** *Modellierung des Fahr- und Ladeverhaltens von Elektrofahrzeugen.* Karlsruhe Institute of Technology : Karlsruhe, 2012.
4. **Mitsubishi.** Technische Daten Mitsubishi i-MiEV. [Online] [Zitat vom: 27. Mai 2013.] http://presse.mitsubishi-motors.de/produktinfo/imiev/pdf/Technik_i-MiEV_MJ2011.pdf.
5. **News Aktuell.** na presseportal. [Online] 1. Oktober 2012. [Zitat vom: 27. Mai 2013.] <http://www.presseportal.de/pm/7849/2335897/elektromobilitaet-e-autos-bestehen-harten-praxistest-adac-reichweiten-bis-150-kilometer-kein-problem/rss>.
6. **Pluta, Werner.** Golem-IT-News. [Online] 22. Juni 2012. [Zitat vom: 29. Juli 2013.] <http://www.golem.de/news/elektroauto-wie-viele-kilometer-kostet-die-klimaanlage-1206-92710.html>.
7. **Elektroauto-News.** Testbericht Flottentest Mitsubishi i-MiEV. [Online] 15. August 2012. [Zitat vom: 29. Mai 2013.] <http://www.elektroauto-news.net/2012/i-miev-elektroauto-flotte-test-e-on-thueringen-zwischenstand>.
8. **Saar-Datenbank.** Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG. [Online] [Zitat vom: 11. Juni 2013.] http://www.sadaba.de/GSBT_EEG.html#Pa_1.
9. **Solaranlagen-Portal.** Übersicht Einspeisevergütung. [Online] 2013. [Zitat vom: 11. Juni 2013.] <http://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/eigenverbrauch/einspeiseverguetung>.
10. **Dominik Noeren, Dr. Thomas Erge, Dr. Felix Braam.** *Untersuchung zu einem elektrischen Hausspeichersystem.* 2012.
11. **Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien IWR.** Photovoltaikzubau in Deutschland im Jahr 2012. [Online] 31. Januar 2013. [Zitat vom: 23. Juli 2013.] <http://www.iwr.de/news.php?id=22931>.
12. **BDEW.** Strompreisanalyse Mai 2013. [Online] 31. Januar 2013. [Zitat vom: 13. Juni 2013.] [http://www.bdew.de/internet.nsf/id/123176ABDD9ECE5DC1257AA20040E368/\\$file/13%2005%2027%20BDEW_Strompreisanalyse_Mai%202013.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/123176ABDD9ECE5DC1257AA20040E368/$file/13%2005%2027%20BDEW_Strompreisanalyse_Mai%202013.pdf).
13. **Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V.** Einspeisevergütungen für Photovoltaikstrom. [Online] 2. Mai 2013. [Zitat vom: 13. Juni 2013.] <http://www.sfv.de/lokal/mails/sj/verguetu.htm>.