

Eigenverbrauch im Haushalt

Daten und Erfahrungen aus der Praxis

Optimierungsmöglichkeiten durch Integration eines E-Fahrzeuges

1. Fragestellungen

Die Eigennutzung von Solarstrom ist für jeden Haushalt, aber auch für jeden Gewerbebetrieb nicht nur ökologisch interessant. Vielmehr wird durch die stetig steigende Kostendifferenz einer mit eigener Photovoltaik erzeugten im Vergleich zu einer vom Netzversorger bezogenen Kilowattstunde auch der ökonomische Anreiz immer interessanter. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung jeder neu gebauten PV-Anlage setzt sich somit aus zwei Teilen zusammen: Jede selbst verbrauchte Kilowattstunde Solarstrom beeinflusst die Bilanz positiv, jede ins Netz eingespeiste Kilowattstunde dagegen beeinträchtigt aufgrund der niedrigen Einspeisetarife tendenziell die Wirtschaftlichkeit. Somit ist ein hoher prozentualer Eigenverbrauch der Schlüssel zur optimalen Wirtschaftlichkeit und zugleich der erste Schritt in die immer wieder zitierte „Zeit nach dem EEG“. Wege zur Optimierung des Eigenverbrauchs gewinnen deshalb immer mehr an Bedeutung. Da die Wirtschaftlichkeit der Gesamtinvestition aber auch von den Kosten des Gesamtsystems abhängt, ist die jedoch Reihenfolge dieser Schritte zu beachten:

1. Monitoring der Energieflüsse
2. Optimierung des Verbrauchsverhaltens „per Hand“
3. Automatische Systeme zur Optimierung des Verbrauchsverhaltens
4. Speichersysteme

So ist es in jedem Falle wirtschaftlicher, den Eigenverbrauch zuerst zeitlich zu optimieren und dann ggfs. kleinere Speichersysteme zu installieren.

Daraus ergibt sich jedoch gleichzeitig, dass die beiden Optimierungsziele „Optimale Wirtschaftlichkeit“ auf der einen Seite und ein möglichst hoher Autarkiegrad auf der anderen Seite vollkommen unterschiedliche Soll-Größen eines Speichersystems ergeben.

In der vorliegenden Unterlage sind die Erfahrungen aus den ersten 5 Monaten mit einer Muster-Eigenverbrauchsanlage zusammengestellt.

2. Musteranlage und Phasen der Inbetriebnahme

Der Musterhaushalt ist mit einem Jahresstromverbrauch von ca. 4500kWh pro Jahr bei 5 Personen plus einer Einliegerwohnung als bereits energieoptimiert zu bezeichnen.

Um nachvollziehbare und reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, müsste eine Testanlage mindestens ein Jahr, besser sogar mehrere Jahre in gleichbleibender Konfiguration betrieben werden, was allerdings einen bedeutenden Zeitaufwand mit sich bringen und sehr spät zu Ergebnissen führen würde. Um dennoch verschiedene Zustände vergleichen zu können wurde die Eigenverbrauchs-PV-Anlage sozusagen als Kompromiss in möglichst sinnvollen Schritten in Betrieb genommen:

1. Phase: 6,3kW PV-Leistung, verteilt auf ein reines Ost- und ein reines Westdach, 27 Grad (ab 01.08.2012)
2. Phase: Ergänzung mit weiteren 3,5kW PV-Leistung, Süddach, 15 Grad (ab 01. 10. 2012)
Summenleistung damit 9,8kW
3. Phase: Einbindung eines Elektrofahrzeugs (Nissan Leaf) und Versuche mit zeitoptimierter Ladung (ab 01.10.2012)

Das Anlagenmonitoring erfolgte primär mit dem „Sunny Home Manager“ der SMA. Weiterhin wurde parallel die Steuerungs- und Automatisierungssoftware „Next System“ der Automation Next GmbH (Schletter-Gruppe) eingebaut.

3. Details zur Anlagenkonfiguration



PV-Anlage

bestehend aus 3 Anlagenabschnitten
3,15kWp Ostdach, 27 Grad Dachneigung
3,15kWp Westdach, 27 Grad Dachneigung
3,5kWp Süddach, 15 Grad Dachneigung



Wechselrichter

1x SMA 4000TL-21 für Ost- und Westdach
1x SMA 3000TL-21 für Süddach
(Anwendung der 70%-Leistungsbegrenzung)



Sunny Home-Manager

Monitoring und Datenerfassung

- Datenerfassung der Wechselrichter über Bluetooth
- Datenerfassung und Steuerung von 10 Einzelverbrauchern über Bluetooth-Funksteckdosen
- Datenerfassung des Haushaltszählers über optische Schnittstelle



Haushalts-Zähler mit optischer Schnittstelle

Ein Haushaltszähler mit einer zum Sunny Home-Manager kompatiblen Schnittstelle wurde vom EVU leider nicht zur Verfügung gestellt. Deshalb wurde ein zweiter eigener Auswerte-Zähler in Reihe geschaltet.



Datenerfassung mit Automation-Next-Software

Parallel zum Sunny Home-Manager der SMA wurde ein Überwachungssystem der Automation Next GmbH (Unternehmen der Schletter-Gruppe) zur Überwachung und zur Erprobung neuer Optimierungsroutinen eingebaut.

Ziel ist hier insbesondere der Test einer optimierten E-Fahrzeugladung SmartPVCharge©.



P-Charge-Wallbox zur Elektrofahrzeugladung

Die P-Charge-Wallbox (Schletter GmbH) erlaubt die Ladung eines E-Fahrzeuges nach IEC 61851-1. Die Ladeleistung des E-Fahrzeuges kann so in gewissen Grenzen beeinflusst und so dem PV-Überschuss angepasst werden.

Eine Ladung hoher Priorität mit Netzstrom ist optional möglich.



Haushaltsgeräte mit Kalt- und Warmwasser-Anschluss

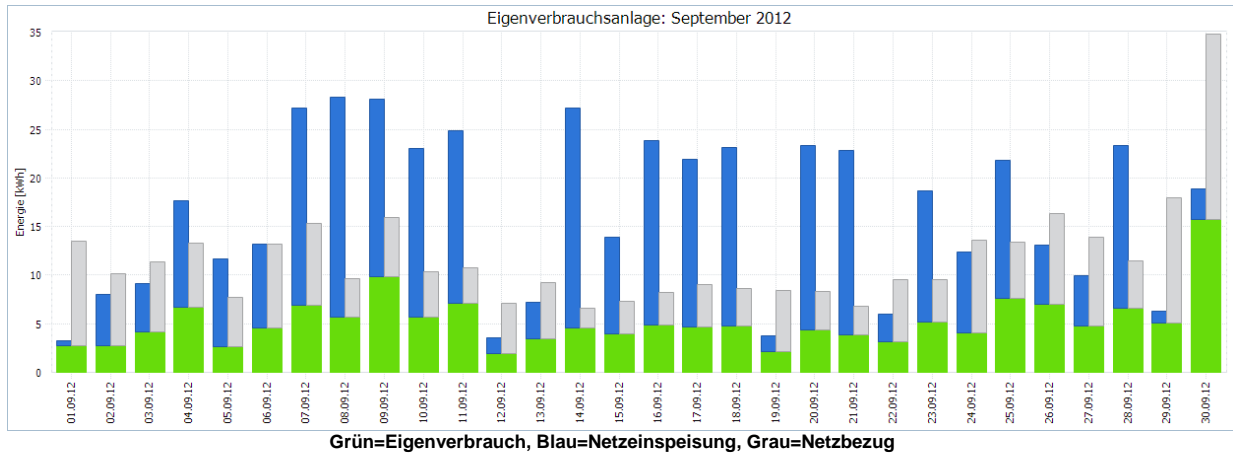
Elektrische Heizungen werden in vielen Fällen zur Eigenverbrauchsoptimierung empfohlen.

Der gegensätzliche Effekt wird durch Haushaltsgeräte (Waschmaschinen, Spülmaschinen) mit Warmwasseranschluss erreicht.

Die Unterschiede in der Energiebilanz werden hier mit betrachtet und sind im Einzelfall in der Anwendung mit abzuwägen.

4. Energiebilanz, Eigenverbrauch und Autarkie

4.1 Energiebilanz September

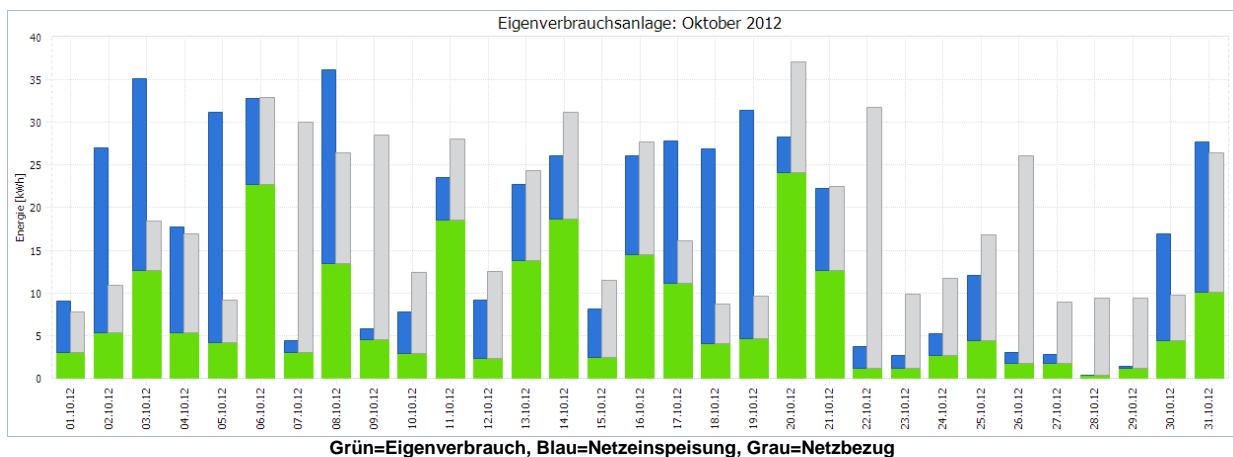


6,3kWp auf Ost- und Westdach, kein Elektrofahrzeug (erste Ladung am 30.09. in der Grafik ersichtlich)

Monatsertrag PV (kWh)	495,4	Netzbezug	194,9	Eigenverbrauch (%)	32
Netzeinspeisung (kWh)	339,1	Monatsverbrauch (kWh)	351,2	Autarkie (%)	44,5
Eigenverbrauch (kWh)	156,3	Fahrzeugladung (kWh)	13,1 (31.09.)		

Mit der PV-Anlagengröße von 6,3kWp ließ sich im ersten kompletten Erfassungsmonat September bei guter Einstrahlung und bei einem optimierten Verbrauchsverhalten (ohne automatisierte Eingriffe) ein Eigenverbrauchsanteil von gut 30% realisieren.

4.2 Energiebilanz Oktober

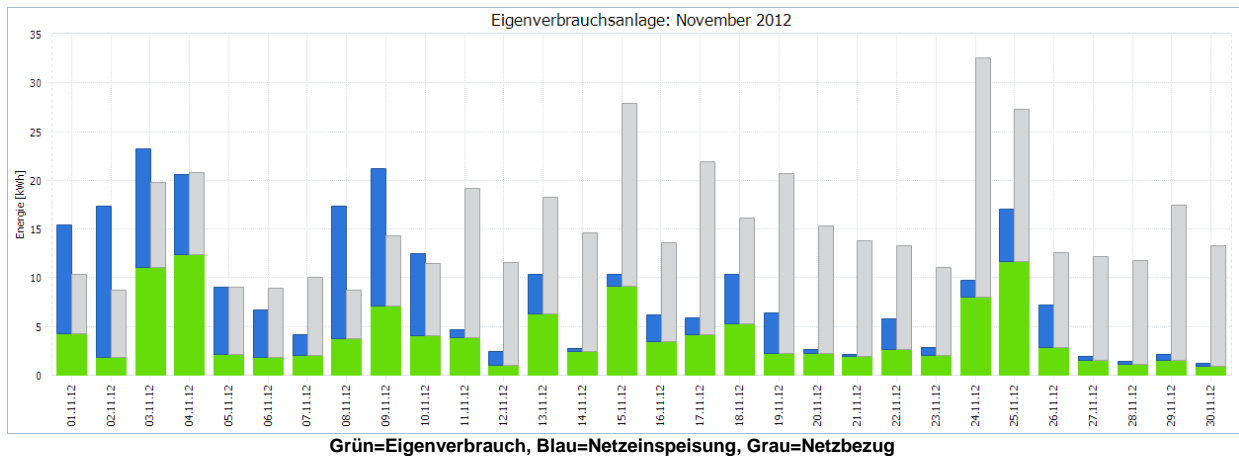


9,8kWp, verteilt auf Süd- Ost- und Westdach, intensiv genutztes Elektrofahrzeug

Monatsertrag PV (kWh)	535,2	Netzbezug	349,9	Eigenverbrauch (%)	44
Netzeinspeisung (kWh)	302,0	Monatsverbrauch (kWh)	583,0	Autarkie (%)	40
Eigenverbrauch (kWh)	233,2	Fahrzeugladung (kWh)	235,5		

Hier ist ein recht hoher Monatsverbrauch und ein für die Anlagengröße von 9,8kW sehr hoher Eigenverbrauchs-Prozentsatz von 44% ersichtlich. Beides ist auf die Nutzung eines Elektrofahrzeuges zurückzuführen. Mit 235kWh Ladestromverbrauch macht hier die Ladung des E-Fahrzeuges fast die Hälfte des Haushalts-Stromverbrauches aus. Laut Fahrtenbuch wurden im Oktober 1118km zurückgelegt - also eine repräsentative Fahrleistung eines gut genutzten Zweitwagens. Daraus ergibt sich ein durchschnittlicher Energieverbrauch von ca. 21kWh/100km. Der bereinigte Monatsverbrauch ohne E-Fahrzeug entspricht wiederum dem angenommenen realistischen Jahresverbrauch von ca. 4500kWh.

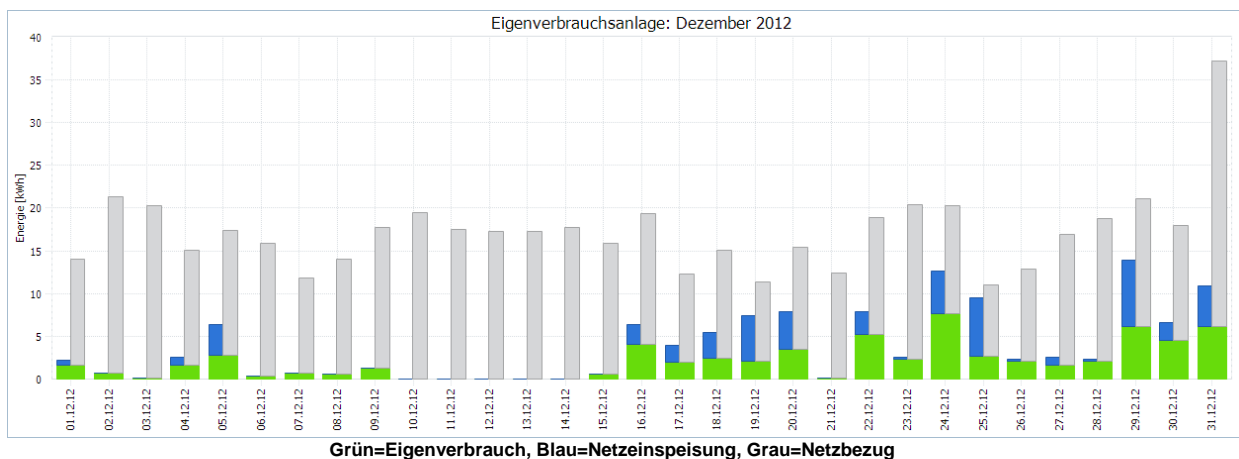
4.3 Energiebilanz November



9,8kWp, verteilt auf Süd- Ost- und Westdach, schwach genutztes Elektrofahrzeug					
Monatsertrag PV (kWh)	261,1	Netzbezug	341,7	Eigenverbrauch (%)	48
Netzeinspeisung (kWh)	136,3	Monatsverbrauch (kWh)	466,4	Autarkie (%)	26,7
Eigenverbrauch (kWh)	124,7	Fahrzeuginladung (kWh)	76,4		

Auch im November konnte ein sehr hoher Eigenverbrauchsanteil erreicht werden, obwohl nur 76kWh für die E-Fahrzeug-Ladung verwendet wurden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Monatsertrag der PV-Anlage mit 261kWh im November nur etwa halb so groß ist als im Oktober mit 535kWh. Auch dieses Ergebnis ist durchaus repräsentativ und zeigt die starke Gegenläufigkeit des Eigenverbrauchs-Prozentsatzes zum Prozentsatz der Autarkie.

4.4 Energiebilanz Dezember



9,8kWp, verteilt auf Süd- Ost- und Westdach, Elektrofahrzeug fast nicht im Haushaltsnetz geladen					
Monatsertrag PV (kWh)	117,9	Netzbezug	469,9	Eigenverbrauch (%)	55
Netzeinspeisung (kWh)	53,3	Monatsverbrauch (kWh)	534,5	Autarkie (%)	12
Eigenverbrauch (kWh)	64,6	Fahrzeuginladung (kWh)	17,2		

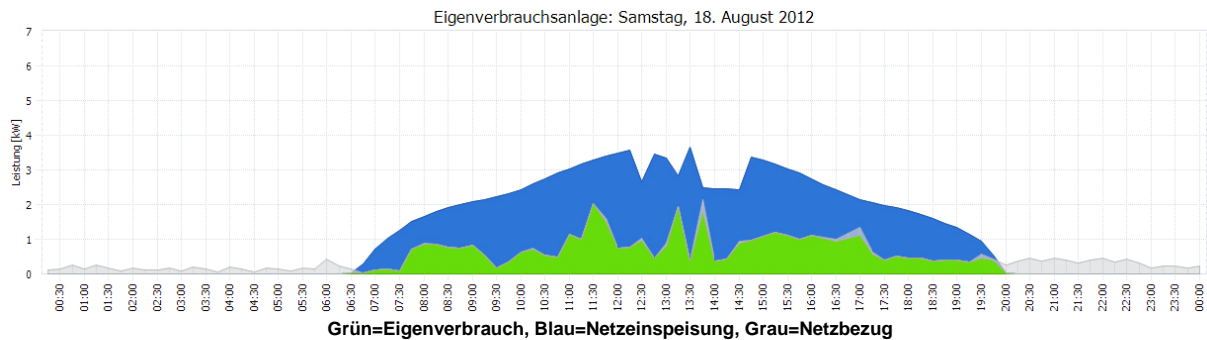
Hier zeigt sich nochmals verstärkt, dass ein hoher Monats-Eigenverbrauch nicht unbedingt ein wirtschaftlich gutes Ergebnis darstellt. Einzelne Dezember-Tage erreichen durchaus oft 100% Eigenverbrauchsanteil, aber dies bei einem minimalen Einstrahlungsniveau. Die Abhängigkeit vom Netzbezug beträgt hingegen fast 90%.

Zusammenfassend soll auch nochmals der Autarkiegrad verglichen werden, also das Verhältnis Eigenverbrauch / Monatsverbrauch:

Kann im Oktober die PV-Anlage noch 40% des Verbrauches direkt decken, sind es im November noch 27% und im Dezember nur noch 12%. Diese Zahlen sind aber stets auch im Zusammengang mit der Ladeenergie des E-Fahrzeuges zu sehen.

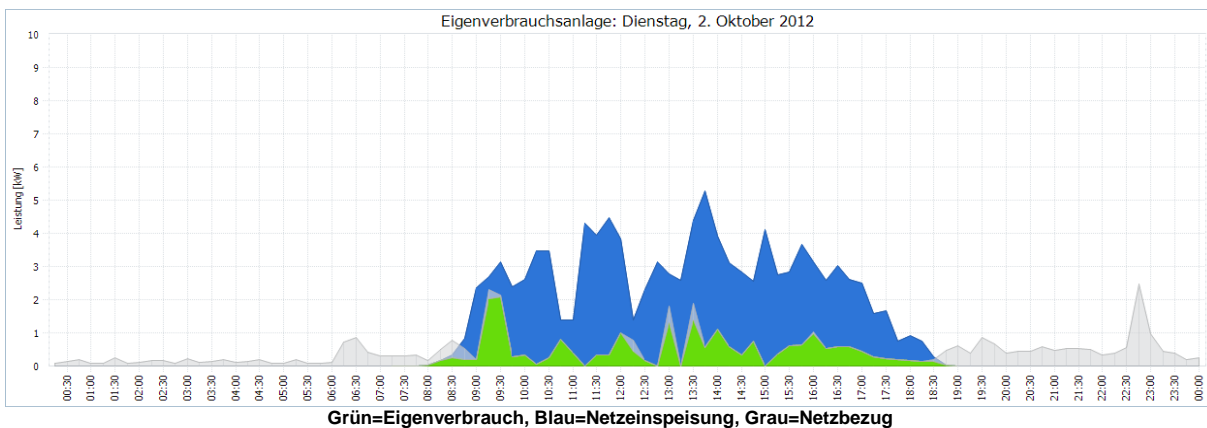
Der Autarkiegrad könnte durch ein Speichersystem in den Sommermonaten sehr gut bis annähernd 100% gesteigert werden. In den Wintermonaten dagegen würde ein Speichersystem sehr wenig Autarkie-Steigerung bewirken, da die Energie zur Beladung an den meisten Tagen fehlt.

5. Repräsentative Tages-Energiebilanzen



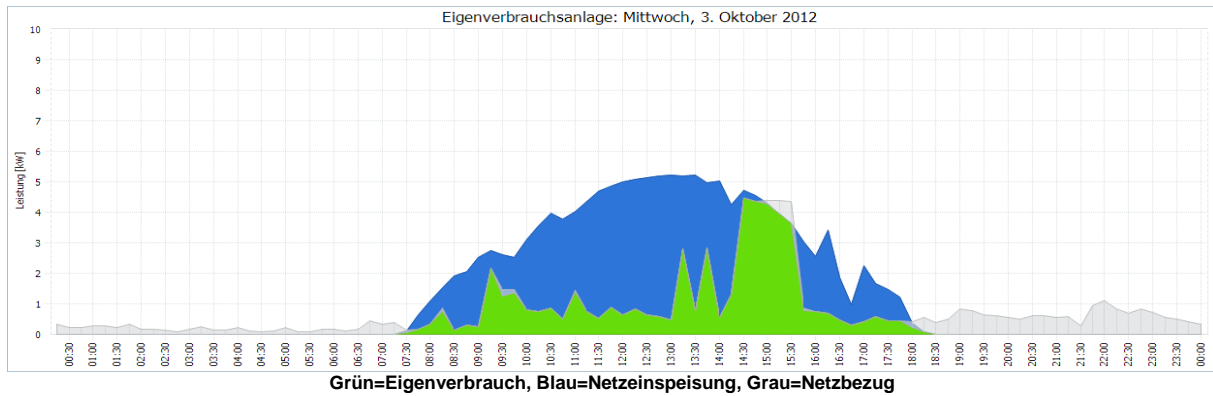
An dieser Energiebilanz eines sonnigen August-Tages sind verschiedene Details erkennbar:

- Die Ertragskurve ist sehr breit ausgeprägt, beginnt bereits um 6:30 und endet um 20:00. Dieser für den Eigenverbrauch optimale Tagesverlauf entsteht durch die Addition einer reinen Ost- mit einer reinen Westausrichtung. Der Süd-Anteil war zu diesem Zeitpunkt noch nicht am Netz.
- Praktisch der gesamte Tagesverbrauch wird durch PV-Erzeugung abgedeckt. Die Verbrauchsleistung (dominiert durch Waschmaschine, Spülmaschine, E-Herd) wurde an diesem Tag sehr gut über den Tag verteilt (Samstag).
- Etwa um 17:00 Nachmittag sind trotz PV-Überschuss im Detail graue Bereiche in der Kurve, also Netzbezug, erkennbar. Erklärung dazu später im nächsten Punkt.
- **Ergebnisse: Eigenverbrauchsquote: 31%, Autarkiegrad 76,4%**



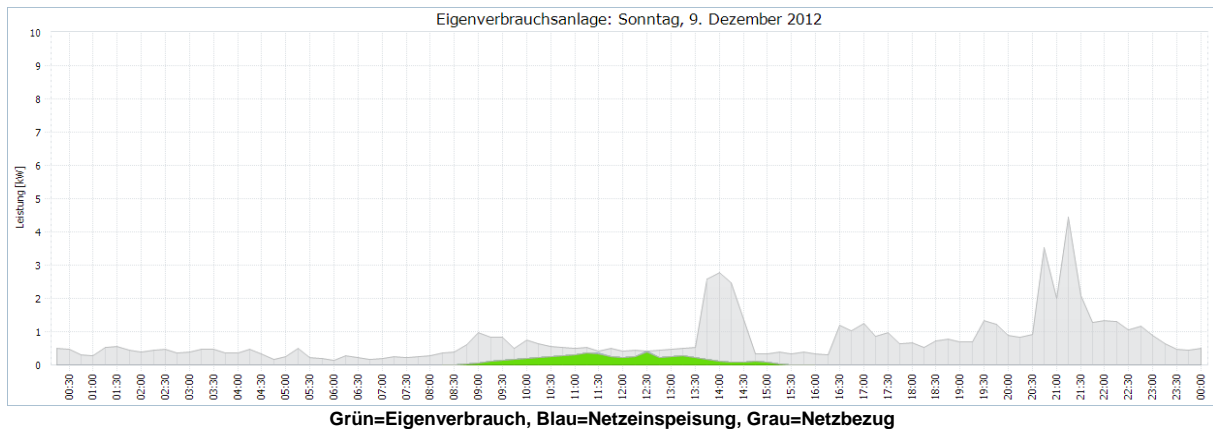
Bei dieser Energiebilanz war bereits die gesamte Anlage mit 9,8kWp in Betrieb. Der Verlauf der Erzeugung ist stark zerklüftet (Sonne mit Wolken). Dennoch bleibt kann der Haushaltsverbrauch sehr gut über PV abgedeckt werden.

- **Ergebnisse: Eigenverbrauchsquote: 20%, Autarkiegrad 49,2%**



Die Energiebilanz vom 03.Oktober zeigt einen Block mit etwa 2 Stunden E-Fahrzeugladung. Hier ist erkennbar, dass die E-Fahrzeugladung alleine schon bei 2 Stunden Ladebetrieb einen Verbrauch von 5,03kWh ausmacht. Damit treten andere Haupt-Verbraucher des Haushaltes wie die Spülmaschine (934Wh für einen Spülgang) und die Waschmaschine (589Wh für einen warmwasser-unterstützten Waschgang) im Anteil wesentlich zurück. Damit ist bereits erkennbar, dass die E-Fahrzeugladung wesentlich mehr Möglichkeiten für das sog. „demand side management“ bietet, als andere Verbraucher des Haushaltes.

- **Ergebnisse: Eigenverbrauchsquote: 36%, Autarkiegrad 68,3%**

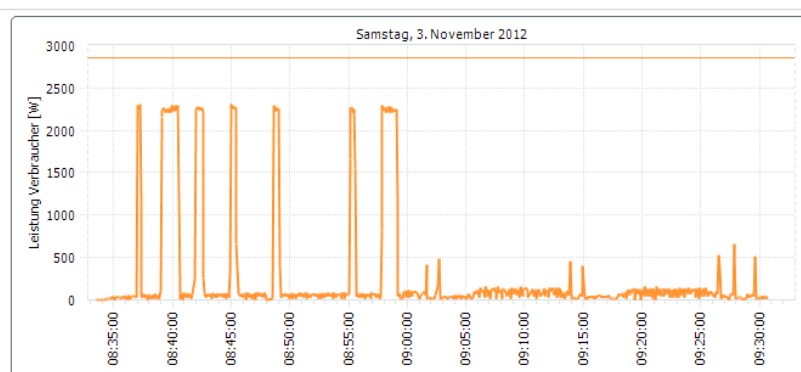


Ein typischer Wintertag zeigt, dass der Autarkiegrad auch bei einer verhältnismäßig großen PV-Anlage an dunklen Wintermonaten gegen Null tendiert. Es ist also in jedem Falle zu beachten, dass eine Unabhängigkeit von der Netzversorgung in unseren Breiten praktisch nicht zu erreichen ist. Da meist mehrere solche Tage mit solchen minimalen Erträgen in Folge auftreten, bietet auch ein Speichersystem hier praktisch keine Abhilfe.

- **Ergebnisse: Eigenverbrauchsquote: 99%, Autarkiegrad 7%**

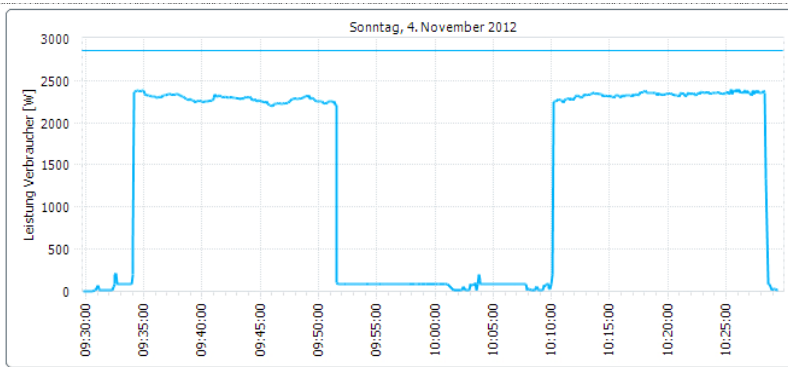
6. Typische Energieverbraucher im Haushalt

6.1 Beispielmessungen in Echtzeit



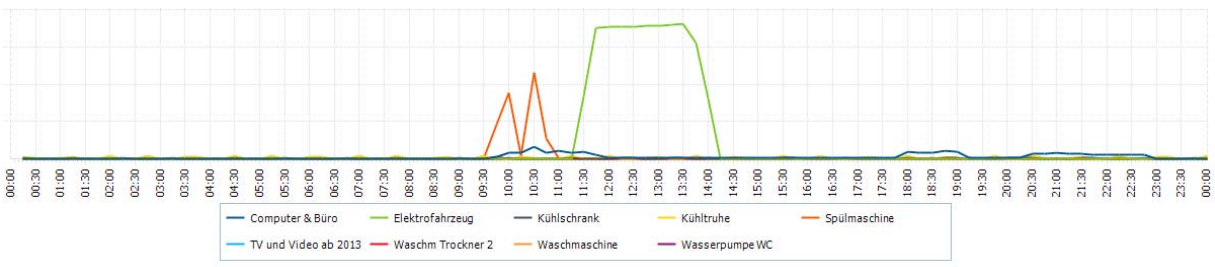
**Washgang einer Waschmaschine (40 Grad)
Gesamtverbrauch: 1,05kWh**

Die Heizzyklen mit ca. 2,2kW bestimmen den Kurvenverlauf, die Zwischenphasen (Pumpen, Spülen, Waschen) sind nahezu unbedeutend

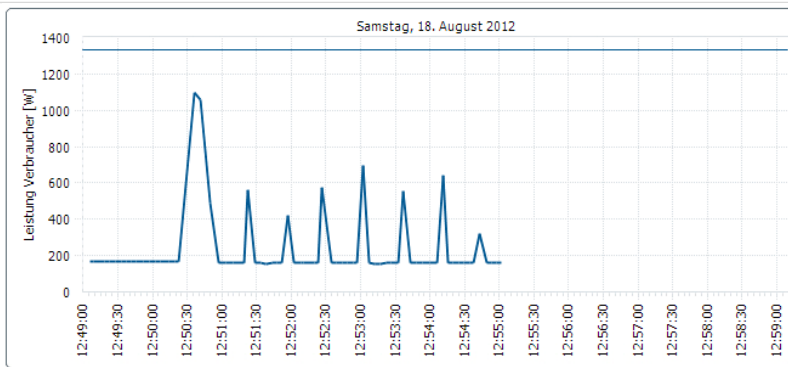


**Spülgang einer Spülmaschine (50 Grad)
Gesamtverbrauch: 1,4kWh**

Der Heizzyklus mit ca. 2,5kW bestimmt den Kurvenverlauf



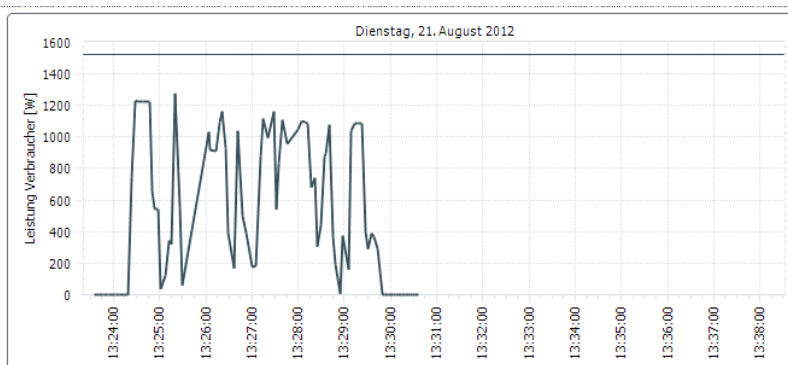
Im zweiten Diagramm ist exemplarisch der Verbrauchs-Verlauf aller per Funksteckdosen erfassten Verbraucher dargestellt, der im Anlagenmonitoring für jeden Tag verfügbar ist. Der typische Verlauf der Spülmaschine mit zwei rechteckigen Leistungsblöcken (blau im oberen Echtzeit-Diagramm) ist im unteren Diagramm der Einzelverbraucher in Form von zwei typischen Spitzen (orange) erkennbar. Diese Abweichung ist auf die Zeitmittelwertbildung bei der Datenkomprimierung zurückzuführen, da das SMA-Portal nur eine begrenzte Anzahl von Datenpunkten speichern kann.



Ausdruck eines DINA4-Blattes am Laserdrucker

Die Leistung steigt beim Ausdruck kurzzeitig auf 1200W an. In der Folge wird der Drucker durch kurze Heizzyklen auf Betriebstemperatur gehalten.

Schlussfolgerung:
Laserdrucker ausschalten, wenn nicht benötigt!



Kaffeemaschine

Aufheizphase, 2 mal Cappuccino mit Milchschaum...

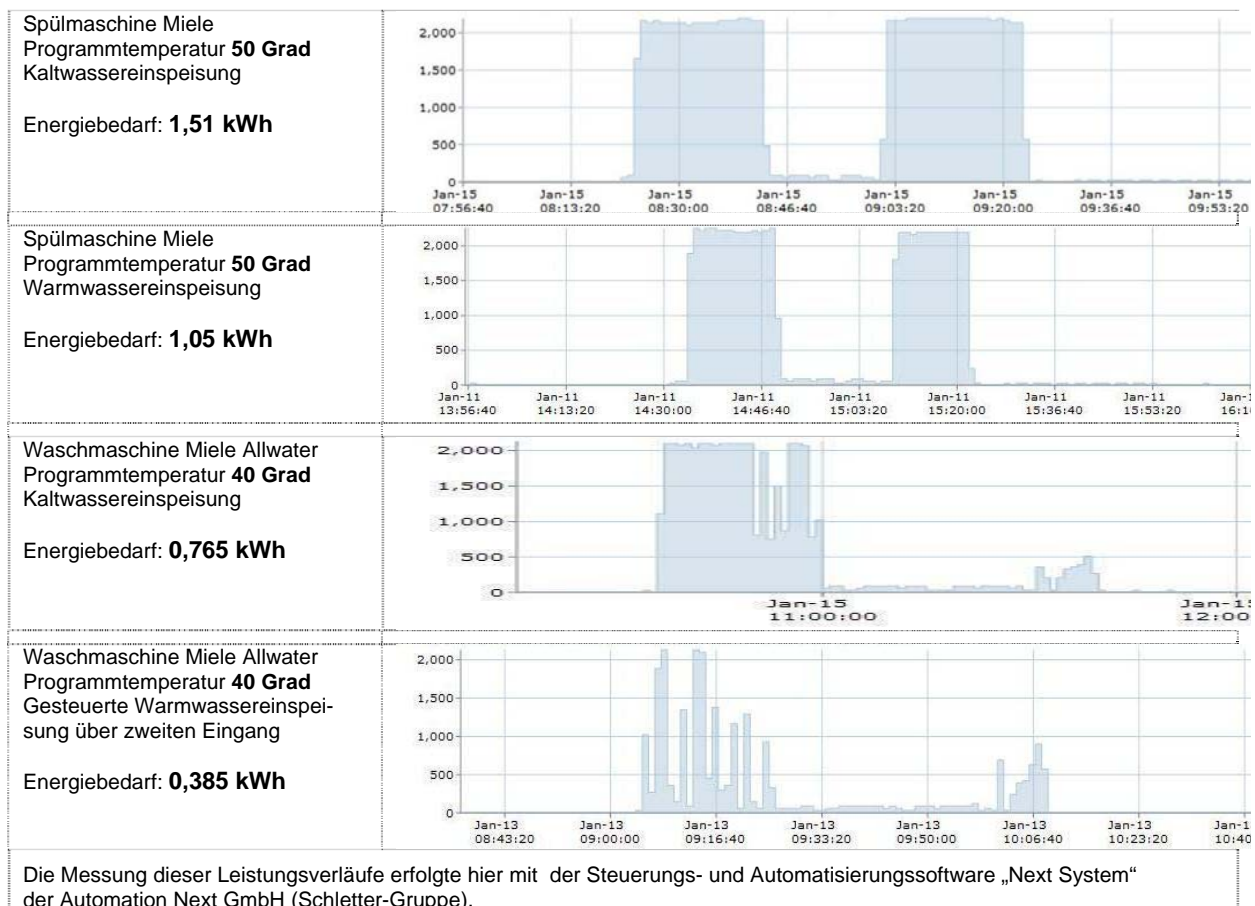
Schlussfolgerung:
... nicht jedes Diagramm hat auch eine ernste Aussagekraft

6.2 Geräte mit Kalt- und Warmwasseranschluss im Vergleich

Elektrische Heizungen wurden und werden in vielen Fällen zur Eigenverbrauchsoptimierung empfohlen. Insbesondere der sogenannte Eigenverbrauchs-Bonus im EEG hatte dazu geführt, dass eine Umwandlung von Überschuss-Strom in Heizenergie oft als eine wirtschaftliche Alternative angesehen wurde. In vielen Fällen wird jedoch zu wenig beachtet, dass Raumheizenergie eben in solchen Monaten gebraucht wird, in denen die PV-Leistung meist schon für die normalen elektrischen Verbraucher zu knapp und der Autarkiegrad sehr niedrig ist. Werden dann in der Folge Heizgeräte mit Netzstrom konventioneller Herkunft betrieben, so ergibt sich bezogen auf fossile Primärenergien ein unakzeptabler Gesamtwirkungsgrad, was nicht im Sinne einer Energiewende sein kann.

Der genau gegensätzliche Effekt wird durch Haushaltsgeräte (Waschmaschinen, Spülmaschinen) mit Warmwasseranschluss erreicht. Die bisher immer als „wertvoller“ betrachtete elektrische Energie wird eingespart und durch Energie aus dem Heizsystem oder noch besser aus thermischen Solaranlagen ersetzt. Dabei geht man davon aus, dass bei Vorhandensein einer Thermie-Anlage das benötigte Warmwasser an vielen Tagen des Jahres fast „kostenlos“ zur Verfügung steht. Auch im Winterhalbjahr ist aber die Warmwassergewinnung in der vorhandenen Heizanlage i.a. energetisch günstiger als die Aufbereitung im Gerät.

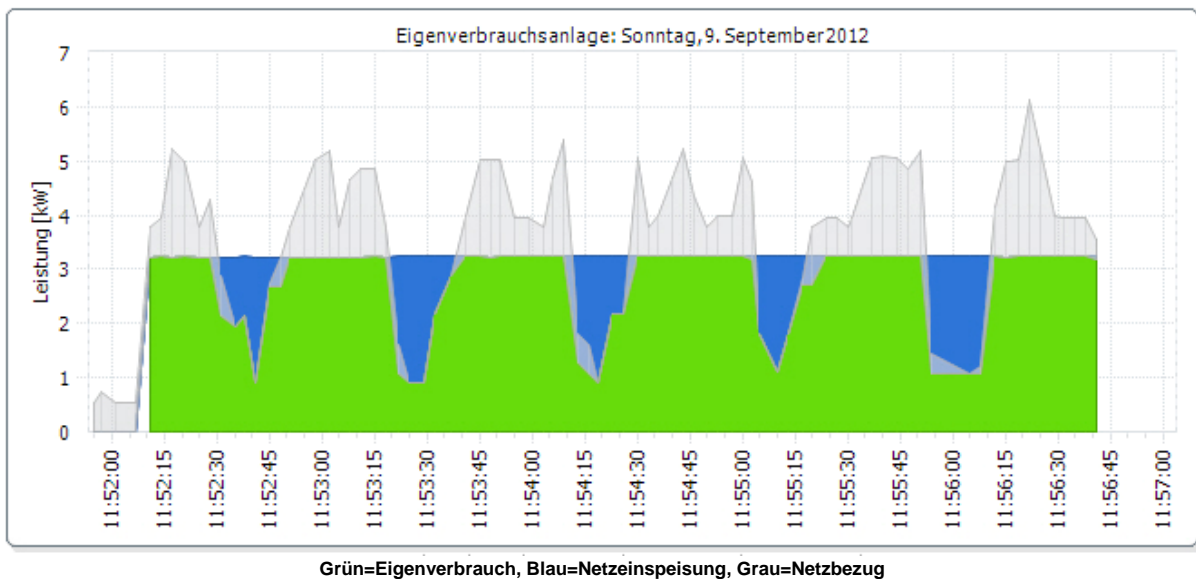
In dieser Messung wurde der Leistungsverlauf von zwei Geräten verglichen:



Zusammenfassend ist also festzuhalten:

1. Strom (auch PV-Strom) ist in Wintermonaten meist knapp. Der Warmwasseranschluss spart nach wie vor wertvolle elektrische Energie.
2. PV-Strom für Warmwasserversorgung kann bei bestimmten Randbedingungen Sinn machen.
3. PV-Strom als Raumheizenergie ist wegen der Gegenläufigkeit von Bedarf und Anfall als Direktheizung nicht als sinnvoll zu betrachten. In Verbindung mit Wärmepumpen kann sich aber wieder eine akzeptable Gesamtenergiebilanz ergeben.

6.3 Regelungsverhalten von Verbrauchern am Beispiel E-Herd



Der **Elektroherd** ist ein sehr typischer Verbraucher im Haushalt, der die Energiebilanz durch sein Regelverhalten wesentlich mitbestimmen kann. In dieser Beispiel-Messkurve vom 09.09.2012 ist ein hoher Eigenverbrauchsprozentsatz erkennbar, gleichzeitig wechseln sich jedoch Einspeisung und Netzbezug in schneller Folge ab und verschlechtern die Bilanz. Hier sei an die grauen Bereiche in der ersten Tagesbilanz (Punkt 5) erinnert, die auf denselben Effekt zurückgehen. Trotz der eigentlich ausgeglichenen Energiebilanz wird ständig abwechselnd zu „billigen“ Tarifen rückgespeist und zu „teuren“ Tarifen Netzstrom bezogen. Dadurch ergeben sich zwei ganz wichtige Schlussfolgerungen für die Auslegung von Speichersystemen:

1. Das Speichersystem kann durch diese Regelvorgänge mehr Zyklen kumulieren, schlechte Tarife vermeiden und damit wirtschaftlicher sein als mit den ansonsten maximal anzunehmenden 0,5 bis 0,7 Zyklen pro Tag.
2. Das Speichersystem muss regelungstechnisch und auch in der Leistungselektronik schnell genug sein, um diese Lücken auch auffüllen zu können.

6.4 Speichernutzen für Gewerbe und Industrie

Analog zu den im letzten Beispiel im Haushalt zu beherrschenden Regelvorgängen liegt dieselbe Situation natürlich in viel stärkeren Maße in Gewerbe und Industrie vor. In manchen Stromverträgen ist die in einer Viertelstunde bezogene einmalige Leistungsspitze maßgeblich für den Leistungspreis, also den Preis für die reine Energie**bereitstellung**. In Extremfällen kann sogar das einmalig überschrittene Jahresmaximum über den Energiepreis entscheiden.

Hier können Speicherlösungen beträchtliche wirtschaftliche Einsparungen bringen. Während im Haushalt der Energiespeicher hauptsächlich in Verbindung mit einer PV-Anlage Sinn macht, können in Gewerbe und Industrie wirtschaftliche Modelle auch durch die reine Spitzenabdeckung mit einem Speicher auch ohne PV entstehen.

7. Das Elektrofahrzeug als Eigenverbrauchs-Optimierer – SmartPvCharge

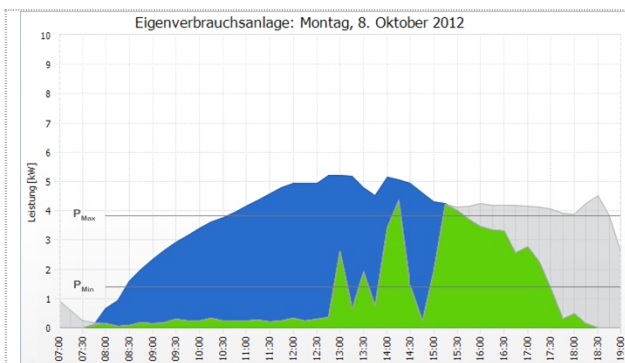
Die Optimierung des Eigenverbrauchsanteils kann grundsätzlich durch die Anpassung von Verbrauchszeiträumen an Zeiten guten Strahlungsangebotes erfolgen. Je nach Nutzerverhalten im des Haushalt kann dies entweder automatisch oder per Hand erfolgen. So bietet hier z.B. der Sunny-HomeManager von SMA vordefinierte Optimierungsroutinen an, die sogar die Wetterprognose des nächsten Tages mit einbeziehen. Begrenzt werden diese Optimierungen jedoch immer durch praktische Randbedingungen:

- Eine Spülmaschine sollte wenigstens einmal am Tag laufen, da der Platz benötigt wird
- Waschmaschine oder Trockner können immer nur für einen Durchlauf automatisch gestartet werden, spätestens dann ist wieder ein Handeingriff erforderlich
- Nicht jeder Maschinentyp ermöglicht eine automatische Steuerung durch Stromunterbrechung
- Der Temperaturverlauf in der Kühltruhe kann bei Unterbrechungen schwanken und die Haltbarkeit des Gefrierortes beeinträchtigen
- Auch die größeren steuerbaren Verbraucher im Haushalt (Waschmaschine, Spülmaschine, Trockner) benötigen i.d.R. nur etwa je 10% des Tagesverbrauches pro Durchlauf
- Bei den allermeisten Verbrauchern macht ein Demand Side Management keinen Sinn. Der Morgenkaffee kann kaum verschoben werden, Licht wird gebraucht, wenn es dunkel ist, Arbeitszeiten sind vorgegeben und die Tagesschau kommt immer zu selben Zeit.

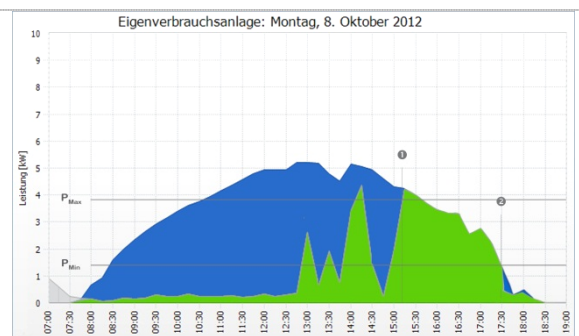
Hier erfährt das Demand Side Management Grenzen, die nur durch einen Energiespeicher erweitert werden können.

Ein prädestinierter Verbraucher für eine Optimierung ist jedoch ein Elektrofahrzeug im Haushalt in Verbindung mit einem optimierten Ladeverfahren.

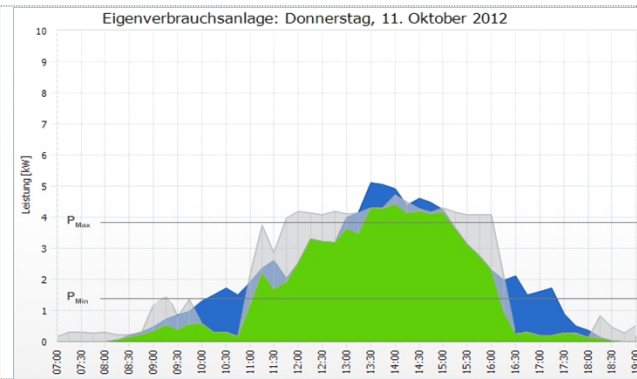
Durch die hohe Speicherkapazität (i.a. 20 bis 30kWh) und die zeitliche Flexibilität des Ladevorganges können mit einem Elektroauto über längere Zeiten PV-Eigenverbrauchsquote von über 80% erreicht werden. Gleichzeitig kann je nach gewünschter Priorität der Vollladung die Idealvorstellung CO₂-neutraler Mobilität erreicht werden. Voraussetzung ist ein Elektrofahrzeug, das im Haushalt genutzt wird und über längere Zeiten auch am Standort einer PV-Anlage ladebereit abgestellt ist. In sehr vielen Fällen (z.B. beim Einsatz als Zweitauto) ist es möglich, das Fahrzeug zur Zeit günstiger Einstrahlung zwischen zwei Kurzstrecken-Einsätzen immer wieder nachzuladen und so das gewünschte Nutzerprofil ohne Einschränkungen zu ermöglichen.



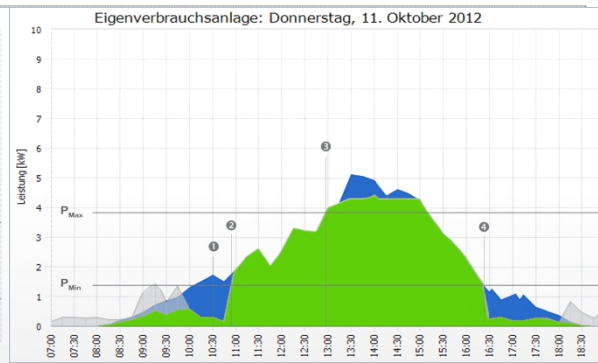
Messung: Tagesverlauf 8. Oktober bei optimaler Einstrahlung. Vormittags kaum Verbraucher, mittags Spülmaschine (1,05kWh) dann E-Auto-Ladung mit 16,03 kWh bei einem hohen Anteil Netzbezug.



Simulation desselben Tagesverlaufs, jedoch mit gesteuerter Fahrzeugladung **SmartPvCharge**. Netzbezug wird vermieden, die Ladung erfolgt lediglich mit dem überschüssigen PV-Strom, bei Unterschreitung der minimalen Ladeleistung wird die Ladung deaktiviert.



Messung: Tagesverlauf 11. Oktober bei guter Einstrahlung. Hier wurde die Ladung bereits vormittags gestartet und dauerte bis nachmittags. Ladung erfolgt mit konstanter Leistung (ca. 3,8kW), deswegen hoher Netzbezug trotz guter Tageseinstrahlung. Ladeenergie: 18,48kWh



Simulation desselben Tagesverlaufs, jedoch mit gesteuerter Fahrzeugladung **SmartPvCharge**. Ladung beginnt selbsttätig bei Überschreitung der Minimalleistung, anschließend wird die Lademenge nach den Einstrahlungsbedingungen geregelt und bei Unterschreitung der minimalen Ladeleistung deaktiviert. Somit erfolgt die Fahrzeugladung zu 100% mit Überschuss-Strom der PV-Anlage.

Die optimierte Fahrzeugladung ist nur eine Option. Selbstverständlich ist zu jeder Zeit eine beschleunigte Voll-Ladung auch mit Netzstrom durch eine entsprechende Prioritätsauswahl möglich.

- Aufzeichnung der Tages-Verläufe: SMA Sunny Home-Manager.
- Die jeweils rechten Kurven stellen eine theoretische Simulation dar.
- Anwendungstests mit SmartPvCharge erfolgen ab Jan 2013 mit der Steuerungs- und Automatisierungssoftware „Next System“ der Automation Next GmbH (Schletter-Gruppe).

8. Zusammenfassung

Die Datenaufzeichnung ist seit August 2012 in Betrieb, alleine bis Ende 2012 liegen daraus ca. 150 verschiedene Tagesdiagramme vor. Zusammen mit den Messkurven der Einzelverbraucher ergeben sich also ca. 1500 Tagesdiagramme, die hier natürlich nicht alle dargestellt werden können. Interessierte Leser können einen Teil dieser Aufzeichnungen auch in der Webseite unter www.schletter.de online in Echtzeit einsehen.

In dieser Zusammenfassung sollen aber nicht Einzelergebnisse im Detail weiter diskutiert werden, viel wichtiger ist es, die allgemeinen Erkenntnisse aus der Anwendung darzustellen und zu diskutieren:

Die Eigennutzung von PV Strom ist für jeden Haushalt ökologisch und ökonomisch interessant. Die Differenz zwischen Bezugspreis und Kalkulation der Eigenerzeugung wächst stetig, da die Systempreise für PV-Anlagen nach wie vor weiter fallen und gleichzeitig die Strombezugpreise sowohl im Gewerbe- als auch im Haushaltsbereich von Jahr zu Jahr steigen.

Für jeden Haushalt mit einer ausreichenden zur Verfügung stehenden Dachfläche ist eine PV-Anlage in Eigenverbrauchsconfiguration in jedem Falle sinnvoll. Bei kleineren Anlagen (für normale Haushalten bis ca. 5kW) kann i.a. von einem ausreichenden Eigenverbrauch ausgegangen werden. Je größer die Anlage, desto wichtiger wird eine Anpassung des Benutzerverhaltens. Monitoringsysteme sind dafür in jedem Falle eine sinnvolle Hilfe. Sie helfen nicht nur, das Benutzerverhalten zeitlich zu optimieren, sondern sie können durch eine Visualisierung der Energieverbräuche auch zur Identifikation von zu hohen Energieverbräuchen führen und damit Sparpotential aufzeigen. Werden Monitoringsysteme mit Schaltausgängen verwendet, so kann eine Erhöhung des Eigenverbrauchsprozentsatzes u.U. auch dann erreicht werden, wenn sich tagsüber im Haushalt keine Personen aufhalten. Beinahe der Hauptvorteil all dieser Systeme ist eine gewisse Sensibilisierung und Bewusstseinsänderung. Für jeden, der solche Systeme längerfristig nutzt und beachtet, wird Energieoptimierung und Energiesparen früher oder später zum „Sport“.

In jedem Falle ist es aber auch notwendig, gewisse Einschränkungen beachten und realistisch abzuschätzen:

- Das Ziel von Optimierungen ist i.a. eine hohe Eigenverbrauchsquote. Dazu ist aber in jedem Falle die Quote des gesamten Jahres zu betrachten. In ertragsschwachen Monaten kann die Quote aufgrund der minimalen Einstrahlung über mehrere Tage 100% betragen, dies bedeutet aber nicht unbedingt einen messbaren energetischen Nutzen.
- Das Potential der Eigenverbrauchsoptimierung wird i.a. bedeutend überschätzt. Der Großteil der Verbräuche im Haushalt kann zeitlich nicht verschoben werden. In Gewerbebetrieben sind Verbrauchsverschiebungen i.a. fast gar nicht möglich, da die Produktionsvorgänge die höchste Priorität haben. In gewissen Grenzen zeitlich verschiebbare Verbraucher sind Waschmaschine, Spülmaschine und Trockner. Dabei ist zu beachten, dass eine automatische Zuschaltung durch Steuerungssysteme nur für jeweils eine Füllung möglich ist, mit einem gewissen Zusatzaufwand verbunden ist und zudem nicht mit allen Geräten funktioniert.
- Die Eigenverbrauchsoptimierung ist ein reines „Sommerthema“, ist also nur für allenfalls 9 Monate im Jahr interessant. An den restlichen Zeiten muss sich jeder Verbraucher nach wie vor mit Ausnahme weniger Tage mit einem hohen Anteil an Netzbezug abfinden. Eine wirkliche Autarkie eines Haushaltes kann also über eine PV-Anlage nicht erreicht werden.
- Speicherlösungen können im Sommerhalbjahr zu sehr guten Eigenverbrauchsquoten und Autarkiegraden, je nach Speichergröße bis zu einer 100%-Versorgung über Monate führen. Auch hier ist aber zu beachten, dass in den Wintermonaten der Speicher wenig Nutzen bieten kann, da zusätzlich zum normalen Eigenverbrauch nur an wenigen Tagen Überschussenergie für die Ladung zur Verfügung steht. Bei der Berechnung der Speicherkosten pro kWh ist dies zu berücksichtigen. Es ist nicht realistisch, die Investitionskosten durch 365 Zyklen im Jahr zu teilen, da diese im realen Betrieb nie auftreten werden.

Werden im Haushalt oder im Gewerbebetrieb ein oder mehrere Elektrofahrzeuge betrieben, so kann sich die Eigenverbrauchssituation grundlegend ändern. Dazu sind aber einige Grundbedingungen notwendig:

- Ausreichend hohe installierte PV-Leistung
- Das Fahrzeug steht mehrere Stunden pro Tag am Standort der PV-Anlage
- Optimierung der Ladeleistung in Zeit und Höhe in Abhängigkeit der PV-Leistung

Da das Fahrzeug im Kurzstreckenbetrieb nicht immer zu 100% vollgeladen werden muss, ist eine flexible Verteilung der Ladung über mehrere Tage möglich. Die Lademengen sind zudem so hoch, dass eine echte Optimierung des Eigenverbrauches im zweistelligen Bereich bis zu 80% möglich ist. Da der Speicher im Fahrzeug keine Zusatzinvestition darstellt, wäre dieses Verfahren bei passenden Nutzerprofilen (wie z.B. bei einem Zweitauto im Haushalt) wirtschaftlich der Installation eines festen Speichers zumindest im Hinblick auf die Eigenverbrauchsoptimierung im ersten Ansatz vorzuziehen. Eine Verbesserung der Autarkie des Haushaltes entsteht dadurch aber selbstverständlich nicht, diese ist wiederum nur durch einen Speicher im Haus zu erreichen.

In dieser Zusammenfassung sind viele Punkte genannt, die auf den ersten Blick die Euphorie für eine PV-Versorgung des Haushaltes - mit oder ohne Speicher – etwas dämpfen könnten. Realistisch muss man sogar zusammenfassen, dass ein Speicher im Haushalt zwar für den Nutzer ökonomisch sehr sinnvoll sein kann, in der Summe aber auf den ersten Blick volkswirtschaftlich keine wesentliche strukturelle Entlastung der Energieversorgung bewirken kann. So speist der Haushalt an vielen Tagen des Jahres doch mit voller PV-Leistung ins Netz ein (sogenannter 11-Uhr-Effekt) – es wird also kaum Netzausbau eingespart. An drei Monaten des Jahres wiederum braucht auch der Haushalt mit Speicher eine externe Netzversorgung, was wiederum ein Netz und auch Kraftwerkskapazität erfordert. Es ist auch zu bedenken, dass ein Haushalt mit hohem Eigenverbrauch an den externen Kosten der Leistungsbereitstellung weniger beteiligt ist und diese Kosten dadurch im ersten Ansatz auf immer weniger Verbraucher verteilt werden. So ist damit zu rechnen, dass für diese Haushalte irgendwann der Bezug des restlichen Netzstromes nicht mehr zum Misch-Strompreis erfolgen wird, sondern zu einem teureren Bereitstellungspreis, der die Kraftwerkskapazität berücksichtigt.

Auf der anderen Seite kann aber der Speicher im Haushalt wertvolle Netzdienstleistung erfüllen, indem viele Speicher – zusammengeschlossen zu einem „Schwarmkonzept“ und adressiert durch den Energieversorger – Regelenergie im Netz zur Verfügung stellen. Durch die hohe Dynamik dieser Speicher kann diese schnelle Regelenergie die Lücke zwischen den Nachfragesprüngen im Netz und langsameren Kraftwerken überbrücken und damit wiederum einen großen technischen und ökonomischen Nutzen bringen.

Die Erzeugung und Speicherung von Solarstrom ist für ein zukunftsfähiges regeneratives Energiesystem in jedem Falle unverzichtbar. Die nordeuropäischen Einstrahlungsverhältnisse erfordern aber neben Kurzzeitspeichern in jedem Falle saisonale Langzeitspeicher, die mit Überschüssen im Sommerhalbjahr beladen werden und damit die Wintermonate überbrücken können. Da zu erwarten ist, dass für Langzeitspeicher am ehesten große Einheiten wirtschaftlich sein werden, ist der Netzanchluss auch für den Haushalt mit PV-Anlage und Kurzzeitspeicher auch in Zukunft obligatorisch. So können Überschüsse im Sommer „eingesammelt“ und zu saisonalen Speichern transportiert werden, in den Wintermonaten kehrt sich der Energiefluss ganz einfach um. Der Kurzzeitspeicher im Haushalt wird dann – im Verbund mit vielen anderen Maßnahmen – ein Element im SmartGrid der Zukunft sein. Wie das ISET in Freiburg kürzlich in einer Studie zur Strom- und Wärmeversorgung in Deutschland vorgerechnet hat, ist dieses System technologisch definitiv umsetzbar und wird zudem nicht mehr kosten als eine konventionelle fossile Energieversorgung.

Schöne Aussichten also.

Jan 2013, Dipl.Ing. Hans Urban