

# Individuelle Autarkie

erschienen in pv magazine 02/2014, S.58-61

*PV-Speichersysteme: Wieso bei der Wahl einer geeigneten Speichergröße nicht nur der Gesamtstrombedarf eines Haushalts, sondern auch dessen individueller tages- und jahreszeitlicher Verlauf berücksichtigt werden sollte, geht aus Untersuchungen der HTW Berlin hervor.*

Während bei rein netzeinspeisenden PV-Systemen in der Regel die verfügbare Dachfläche entscheidend für die Größe des PV-Generators war, gilt es photovoltaische Eigenverbrauchssysteme in Zukunft auch auf den Stromverbrauch vor Ort auszulegen. Da der Stromverbrauch eines Haushalts somit zunehmend das Maß der Dinge für die Anlagendimensionierung wird, ist es sinnvoll die Größe des PV-Generators und Batteriespeichers zukünftig im Bezug zur Höhe des jährlichen Strombedarfs anzugeben.

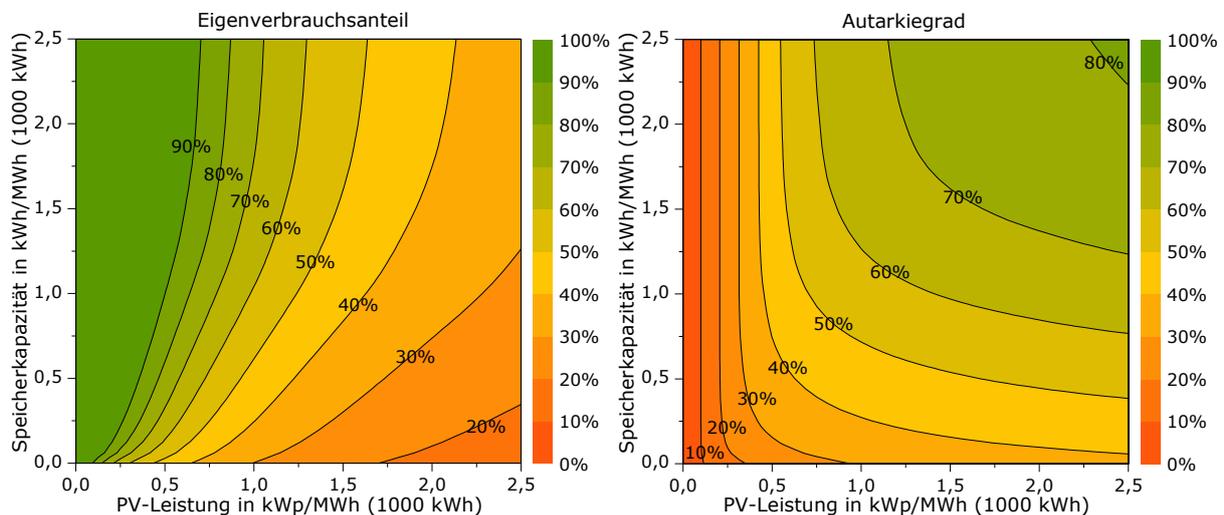
## Das Wichtigste in Kürze

- Die zeitliche Verteilung des Haushaltsstromverbrauchs kann die Höhe des erzielbaren Eigenverbrauchsanteils und Autarkiegrads maßgeblich beeinflussen.
- Ursache hierfür sind Unterschiede im jahres- und tageszeitlichen Verlauf des Stromverbrauchs, die durch den sogenannten Sommer- und Nachtanteil charakterisiert werden können.
- Der Mittelwert der berechneten Autarkiegrade von 74 Haushaltlastprofilen stimmt gut mit den Referenzergebnissen für Einfamilienhäuser überein.

Durch diese Normierung der PV-Generatorleistung und nutzbaren Speicherkapazität auf den Jahresverbrauch an elektrischer Energie lässt sich auch der realisierbare Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad eines Haushalts je nach Systemdimensionierung bestimmen. Abbildung 1 zeigt in Abhängigkeit der Größe der PV-Speichersysteme die erzielbaren jahresmittleren Eigenverbrauchsanteile und Autarkiegrade, die auf Grundlage des sogenannten Referenzlastprofils für Einfamilienhäuser der VDI-Richtlinie 4655 (Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen) ermittelt wurden [1]. Aus der Abbildung lässt sich ablesen, welchen Einfluss eine Vergrößerung des PV-Systems oder Batteriespeichers auf die realisierbaren Betriebsergebnisse hat. Tendenziell sinkt der Eigenverbrauchsanteil und steigt der Autarkiegrad mit zunehmender PV-Leistung. Allerdings lässt sich der Autarkiegrad mit größeren PV-Systemen ohne Speicher nur noch eingeschränkt erhöhen. Mit einem zusätzlichen Batteriespeicher können beide Bewertungsgrößen in der Regel vergrößert werden. Übersteigt die nutzbare Speicherkapazität 1 kWh pro kWp PV-Leistung, fällt die Zunahme des Eigenverbrauchsanteils und Autarkiegrads durch einen größeren Speicher jedoch nur noch gering aus.

Mit Abbildung 1 lässt sich somit je nach Systemkonfiguration der Nutzen eines PV-Speichersystems in Abhängigkeit des Haushaltsstromverbrauchs vorab abschätzen. Unberücksichtigt bleibt dabei jedoch, dass der tages- und jahreszeitliche Verlauf des Strom-

verbrauchs je nach Haushalt variieren kann. Welchen Einfluss verschiedene Haushaltslastprofile auf den erreichbaren Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad haben, wurde durch Simulationsrechnungen an der HTW Berlin mit gemessenen Lastprofilen von 74 Haushalten analysiert [2].



**Abbildung 1** Eigenverbrauchsanteil (links) und Autarkiegrad (rechts) in Abhängigkeit der PV-Leistung und nutzbaren Speicherkapazität, jeweils normiert auf den Jahresverbrauch an elektrischer Energie in MWh (1000 kWh). Durch die Normierung lassen sich die beiden Bewertungsgrößen für Haushalte je nach der Höhe des Jahresstrombedarfs abschätzen.

### Zwischen Klimaanlage und Wärmepumpe

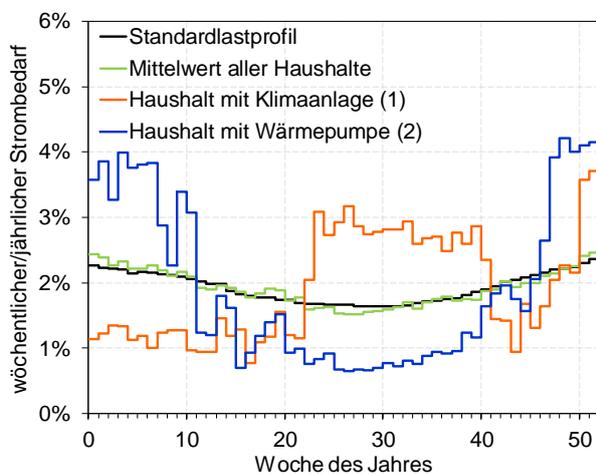
Neben dem Nutzerverhalten der Hausbewohner bestimmen auch die vorhandenen Haushaltsgeräte das resultierende Haushaltlastprofil. Geräte mit ausgeprägtem jahreszeitabhängigen Verbrauchsverhalten haben einen entscheidenden Einfluss auf den saisonalen Verlauf des Stromverbrauchs. Abbildung 2 zeigt die wöchentlichen Verbräuche verschiedener Haushalte, die zur Vergleichbarkeit bezogen auf den jeweiligen Jahresstrombedarf angegeben sind. Zu sehen ist der jahreszeitliche Verlauf des Strombedarfs auch für ein sogenanntes Standardlastprofil, welches das durchschnittliche Verbrauchsverhalten einer großen Anzahl von Haushalten gut wiedergibt. Wie Abbildung 2 verdeutlicht, ergibt sich für das Standardlastprofil und dem Mittelwert der untersuchten 74 Haushalte ein nahezu identischer saisonaler Verlauf. Im Vergleich dazu fallen die jahreszeitlichen Unterschiede im Stromverbrauch von Haushalten mit Klimaanlage oder Wärmepumpen deutlich größer aus. Während eine Klimaanlage zu höheren Verbräuchen in den Sommermonaten führt, hat eine Wärmepumpe einen Anstieg des Stromverbrauchs im Winterhalbjahr zur Folge.

### Von tag- und nachtaktiven Bewohnern

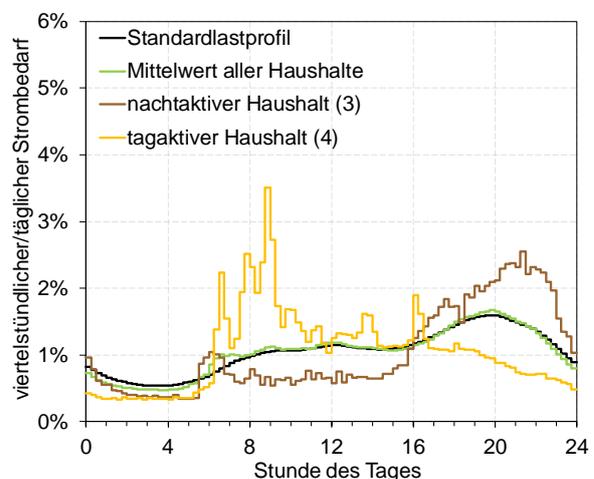
Während der jahreszeitliche Verlauf der Last vor allem durch die technische Ausstattung zur Raumklimatisierung und Gebäudeheizung bestimmt wird, hat das individuelle Nutzerverhalten größeren Einfluss auf das Lastprofil im Tagesverlauf. Dabei wird der tageszeitli-

che Verlauf des Stromverbrauchs maßgeblich von den Anwesenheitszeiten und Aktivitäten der Bewohner bestimmt, die sich je nach Haushaltstyp unterscheiden können. Dieser Zusammenhang geht auch aus Abbildung 3 hervor, die den mittleren Tagesgang verschiedener Haushalte vergleicht.

Charakteristisch für ein Standardlastprofil ist der stark geglättete Verlauf der Last mit dem Verbrauchsschwerpunkt am Abend. Auch im tageszeitlichen Verlauf zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen dem Standardlastprofil und dem Mittelwert aller untersuchten Haushalte. Darüber hinaus ist das mittlere Tageslastprofil zweier Haushalte zu sehen, die sich in ihren Verbrauchsverhalten stark voneinander unterscheiden. Haushalt (3) hat einen vergleichsweise hohen Stromverbrauch am Abend, wohingegen Haushalt (4) einen erhöhten Strombedarf am Vormittag aufweist.



**Abbildung 2** Saisonaler Verlauf des Stromverbrauchs der 74 Haushalte im Mittel sowie zweier exemplarischer Haushalte und des Standardlastprofils.



**Abbildung 3** Jahressmittlere Tageslastprofile der 74 Haushalte sowie zweier exemplarischer Haushalte und des Standardlastprofils.

### Charakterisierung durch Nacht- und Sommeranteil

Da für photovoltaische Eigenverbrauchssysteme die Gleichzeitigkeit des Stromverbrauchs und der Solarstromerzeugung relevant ist, haben auch die tages- und jahreszeitlichen Unterschiede des Stromverbrauchs Einfluss auf die Höhe der selbstverbrauchten PV-Energie. Für den Eigenverbrauch ist folglich der Strombedarf im Sommer und zur Mittagszeit entscheidender als der Strombedarf im Winter oder in der Nacht. Um durch einheitliche Bewertungsgrößen verschiedene Lastprofile im Tages- und Jahresverlauf zu charakterisieren, sollen daher der sogenannte Nacht- und Sommeranteil eingeführt werden (Abbildung 4). Der Sommeranteil entspricht dabei dem Anteil des sommerlichen Strombedarfs am gesamten Jahresstrombedarf. Als weitere Vergleichsgröße dient der Nachtanteil, der das Verhältnis des nächtlichen Strombedarfs zum jährlichen Strombedarf beschreibt.

Durch diese beiden Charakterisierungsgrößen lassen sich die Unterschiede des Verbrauchsverhaltens verschiedener Haushalte je nach Tages- und Jahreszeit quantifizieren.

Tabelle 1 (oben) fasst die Sommer- und Nachteile der ausgewählten Haushalte zusammen. Darüber hinaus sind beide Bewertungsgrößen auch für das Referenzlastprofil für Einfamilienhäuser der VDI-Richtlinie 4655 aufgeführt. Das Referenzlastprofil stimmt in seinem jahres- und tageszeitlichen Verlauf sehr gut mit dem Mittel aller 74 untersuchten Haushalte überein. Durchschnittlich wird etwa die Hälfte des jährlichen Strombedarfs in der Nacht und rund 45% in den Sommermonaten benötigt.

Während der Haushalt (1) mit Klimaanlage 58% des Stroms im Sommerhalbjahr verbraucht, fällt beim Haushalt (2) mit Wärmepumpe nur ein Viertel des Stromverbrauchs im gleichen Zeitraum an. Der Anteil des nächtlichen Strombedarfs am Gesamtbedarf ist hingegen bei beiden Haushalten fast identisch. Im Vergleich dazu ist der Nachtanteil des nachtaktiven Haushalts (3) mit 61% fast doppelt so hoch wie der des Haushalts (4), der einen hohen Verbrauch am Vormittag hat.

### Haushaltsabhängiger Eigenverbrauch

Diese großen Unterschiede im jahres- und tageszeitlichen Verlauf der Lastprofile wirken sich auch auf die zeitgleiche Nutzung des Solarstroms aus. Dies wurde für die verschiedenen Haushalte anhand von Simulationsrechnungen für ein PV-System untersucht. Die Ergebnisse der Jahressimulationen sind in Tabelle 1 (mittig) dargestellt. Wird pro 1000 kWh Jahresverbrauch eine PV-Nennleistung von 1 kWp installiert, lässt sich in Einfamilienhaushalten im Mittel ein Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad von jeweils rund 30% realisieren. Für die Haushalte mit hohem Sommeranteil oder geringem Nachtanteil ergeben sich überdurchschnittliche Werte für den Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad. Wird jedoch mehr Strom in den Wintermonaten oder in der Nacht benötigt (Haushalt 2 und 3), fällt auch der Eigenverbrauch geringer aus.

**Tabelle 1** Energetische Charakterisierung verschiedener Lastprofile und Simulationsergebnisse für PV-Systeme mit und ohne Batteriespeicher. Das Referenzlastprofil der VDI 4655 wurde hierzu auf einen jährlichen Strombedarf von 4000 kWh skaliert.

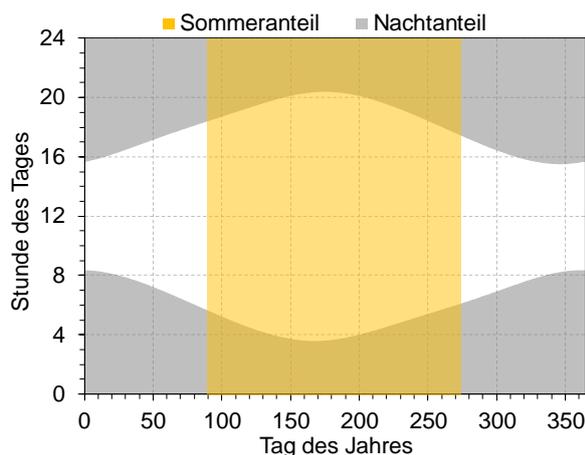
	Referenzprofil der VDI 4655	Mittelwert aller 74 Haushalte	Haushalt (1) Klimaanlage	Haushalt (2) Wärmepumpe	Haushalt (3) nachtaktiv	Haushalt (4) tagaktiv
Jahresstromverbrauch	4000 kWh	4700 kWh	5600 kWh	8600 kWh	1400 kWh	3900 kWh
Sommeranteil	46%	45%	58%	25%	45%	46%
Nachtanteil	51%	49%	45%	47%	61%	32%
<b>PV-System (1 kWp/1000 kWh Verbrauch) ohne Batteriespeicher</b>						
Eigenverbrauchsanteil	30%	30%	35%	27%	19%	37%
Autarkiegrad	30%	31%	36%	27%	20%	37%
<b>PV-System (1 kWp/1000 kWh Verbrauch) mit Batteriespeicher (nutzbare Speicherkapazität 1 kWh/1000 kWh Verbrauch)</b>						
Eigenverbrauchsanteil	59%	57%	61%	47%	46%	64%
Autarkiegrad	56%	54%	58%	45%	43%	61%

## Mit Batterie zum höheren Autarkiegrad

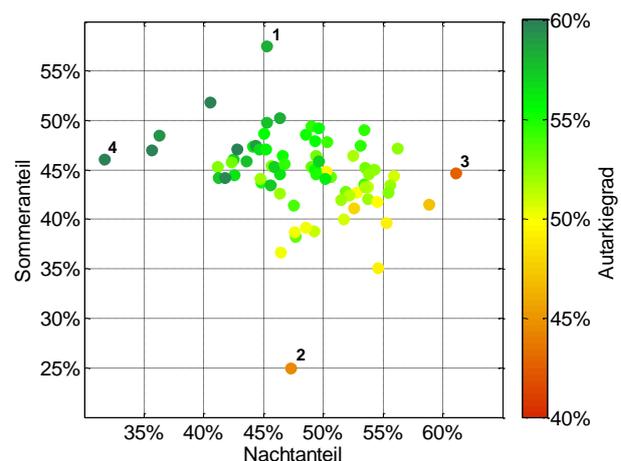
Wird neben dem PV-System zusätzlich ein Batteriespeicher installiert, lassen sich in der Regel sowohl der Eigenverbrauchsanteil als auch der Autarkiegrad erhöhen. Im Mittel können mit der in Tabelle 1 (unten) aufgeführten typischen Systemkonfiguration (PV-Nennleistung von 1 kWp/1000 kWh Verbrauch und nutzbare Speicherkapazität von 1 kWh/1000 kWh Verbrauch) beide Bewertungsgrößen auf über 50% gesteigert werden. Auch hier zeigt sich, dass bei gleicher Systemkonfiguration die Simulationsergebnisse je nach Haushalt variieren und von den Ergebnissen des Referenzprofils abweichen können. Da der Haushalt (2) mit Wärmepumpe und der nachaktive Haushalt (3) mehr Strom zu Zeiten geringer oder nicht vorhandener Solarstromerzeugung benötigen, lässt sich auch mit einem Batteriespeicher nur ein im Vergleich zum Durchschnitt geringerer Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad erzielen.

## Hoher Sommer- und geringer Nachtanteil vorteilhaft

Abbildung 5 zeigt zusammenfassend für die gleiche Systemkonfiguration den realisierbaren Autarkiegrad aller 74 Haushalte aufgetragen über dem jeweiligen Nacht- und Sommeranteil. Aus der Abbildung kann man somit ablesen, wie hoch der erreichbare Autarkiegrad der verschiedenen Haushalte je nach tages- und jahreszeitlicher Verteilung des Strombedarfs ist. Grundsätzlich fällt der Autarkiegrad umso höher aus, je geringer der Nachtanteil und je höher der Sommeranteil des Stromverbrauchs ist. Somit lassen sich die höchsten Werte für den Autarkiegrad in Haushalten erreichen, die einen hohen Anteil des gesamten Strombedarfs zum einen im Sommer und zum anderen am Tag benötigen. Für hohe Eigenverbrauchsanteile und Autarkiegrade ist daher ein hoher Sommeranteil bei möglichst geringem Nachtanteil vorteilhaft.



**Abbildung 4** Charakterisierung von Lastprofilen im Jahres- und Tagesverlauf durch Definition des Sommer- und Nachtanteils. Der Sommeranteil ist durch den Frühlings- und Herbstbeginn begrenzt, wohingegen der Nachtanteil vom Sonnenaufgang und -untergang bestimmt wird.



**Abbildung 5** Autarkiegrad für 74 Haushalte in Abhängigkeit des Nacht- und Sommeranteils des Strombedarfs für ein PV-Speichersystem mit einer PV-Nennleistung von 1 kWp/1000 kWh Verbrauch und einer nutzbaren Speicherkapazität von 1 kWh/1000 kWh Verbrauch.

Die zuvor ausgewählten vier exemplarischen Haushalte liegen an den Grenzen des Wertebereichs und stellen somit Extrembeispiele dar. Die Sommer- und Nachtanteile des Großteils der Haushalte unterscheiden sich um weniger als 5 Prozentpunkte vom jeweiligen Mittelwert aller Haushalte. In der Regel sollten die Betriebsergebnisse daher bei gleicher auf den Jahresstrombedarf normierter Größe der PV-Speichersysteme nicht mehr als 10 Prozentpunkte von den Durchschnittswerten abweichen. Im Mittel stimmen die Simulationsergebnisse aller untersuchten Haushalte sehr gut mit denen auf Grundlage des Referenzlastprofils ermittelten überein, was dessen Allgemeingültigkeit bestätigt. Folglich lässt sich der Nutzen eines PV-Speichersystems in einem Haushalt bereits durch die in Abbildung 1 aufgeführten Referenzergebnisse vorab abschätzen.

## **Danksagung**

Das Forschungsprojekt PVprog (Entwicklung von prognosebasierten Betriebsstrategien für Photovoltaik-Speichersysteme) wird im Umweltentlastungsprogramm II gefördert aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung und des Landes Berlin (Projektnummer: 11410 UEP II/2).

## **Autoren**

Tjarko Tjaden, Johannes Weniger, Volker Quaschnig

Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin  
<http://pvspeicher.htw-berlin.de>

## **Literatur**

- [1] Weniger, Johannes; Quaschnig, Volker; Tjaden, Tjarko: Optimale Dimensionierung von PV-Speichersystemen. In: pv-magazine, 01/2013.
- [2] Tjaden, Tjarko; Weniger, Johannes; Bergner, Joseph; Schnorr, Felix; Quaschnig, Volker: Einfluss des Standorts und des Nutzerverhaltens auf die energetische Bewertung von PV-Speichersystemen. In: 29. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2014.