



Foto: Johannes Weniger

Die Stromversorgung des Weidezauns ist autark. Bei vielen Einfamilienhäusern ist es durchaus möglich, mit einer Vier-Kilowattpeak-Anlage und einem Batteriespeicher einen Autarkiegrad von 50 Prozent zu erreichen.

Solare Unabhängigkeitserklärung

Systemauslegung: Photovoltaikanlagen mit Batteriespeicher machen Bewohner von Einfamilienhäusern unabhängiger von den Stromversorgern. Welche Autarkiegrade und Eigenverbrauchsanteile möglich sind, zeigt eine Untersuchung der HTW Berlin.

Für den Anlagenplaner und Installateur stellt sich die Frage, wie groß der Batteriespeicher in Kombination mit einer Photovoltaikanlage in Einfamilienhäusern sein sollte. Zum einen beeinflusst der Stromverbrauch die Systemauslegung und die Wahl eines geeigneten Batteriespeichers. Zum anderen muss der Wunsch des Hausbesitzers nach Unabhängigkeit bei der Auslegung berücksichtigt werden.

Eines ist jedoch sicher: Die sinkende Einspeisevergütung und steigende Strombezugspreise machen den Einsatz von Batteriespeichern zunehmend inte-

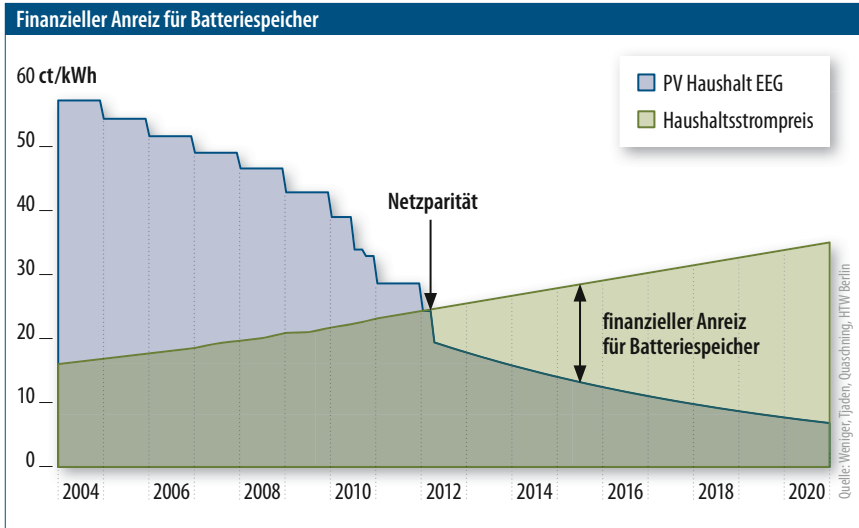
ressant (siehe Grafik „Finanzieller Anreiz für Batteriespeicher“). Besonders in Einfamilienhäusern können Batteriespeicher den Eigenverbrauch von Solarstrom erhöhen. Daher wurde als Beispiel für einen durchschnittlichen Einfamilienhaushalt mit einem Jahresstromverbrauch von 4.700 Kilowattstunden untersucht, welche Eigenverbrauchsanteile und Autarkiegrade sich mit Photovoltaik-Batteriesystemen erreichen lassen.

Simulation von PV-Batteriesystemen in Einfamilienhäusern: Zur Bestimmung des Eigenverbrauchsanteils sind Last- und PV-Erzeugungprofile in hoher

zeitlicher Auflösung erforderlich, um kurzzeitige Spitzen und Schwankungen der Last und PV-Leistung abzubilden. Der elektrische Lastgang des Einfamilienhaushalts wurde daher über ein gesamtes Jahr in minütlicher Auflösung mit der Norm VDI 4655 erstellt (Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen). Für die Norm wurden verschiedene Haushalte hinsichtlich ihres Lastprofils untersucht und daraus ein typisches Lastprofil erstellt. Das Profil wurde aber nicht über mehrere Haushalte gemittelt. Zeitlich hochaufgelöste

Schwankungen und Spitzen des Stromverbrauchs sind somit enthalten, was wichtig für die Eigenverbrauchsberechnung ist. Die gemessenen Zeitreihen sind in Tage mit gleicher Charakteristik unterteilt. Unter Berücksichtigung meteorologischer Daten kann dadurch der Einfluss von Bewölkung und Jahreszeit sowie der Wochentage auf den elektrischen Verbrauch abgebildet werden.

Für die Erstellung der Lastprofile wurde auf meteorologische Daten für Berlin zurückgegriffen, die auch für die Photovoltaik-Erzeugungsprofile genutzt wurden. Um das Systemverhalten zu bestimmen, wurde ein Photovoltaiksystem mit Blei-Säure-Batteriespeicher in der Simulationsumgebung INSEL modelliert und in Minutenschritten simuliert (siehe Grafik „Betriebsverhalten des PV-Batteriesystems“ auf der nächsten Seite). Die Leistung des Solargenerators wird zuerst zur Deckung des Stromverbrauchs genutzt. Sobald die Erzeugung die Last übersteigt, wird die Batterie mit der Überschussleistung beladen. Erreicht die Batterie den maximalen Ladezustand, erfolgt die Einspeisung der Überschüsse in das Stromnetz. Kann die elektrische



Vergleich der Kostenentwicklung der Haushaltsstrompreise mit der EEG-Vergütung für Photovoltaikanlagen mit einer installierten Leistung von weniger als zehn Kilowattpeak. Die Kurven zeigen, dass sich die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu einer Anlage, die nur einspeist, weiter verbessern wird.

Last nicht durch die Photovoltaikleistung gedeckt werden, wird Strom aus der Batterie bezogen. Erst nachdem die Batterie bis zum minimalen Ladezustand entladen wurde, versorgt das Netz den Haushalt.

Der Ladezustandsbereich der Batterie wurde auf minimal 40 Prozent und

maximal 90 Prozent der Nennkapazität beschränkt, um die Tiefentladung der Batterie und die Beladung bei schlechten Ladewirkungsgraden zu vermeiden. Die nutzbare Kapazität entspricht somit der Hälfte der installierten Nennkapazität.

Wie viel Solarstrom kann selbst genutzt werden? Für die Ökonomie **»**

Grafiken: Solarpraxis AG/Harald Schütt

Anzeige

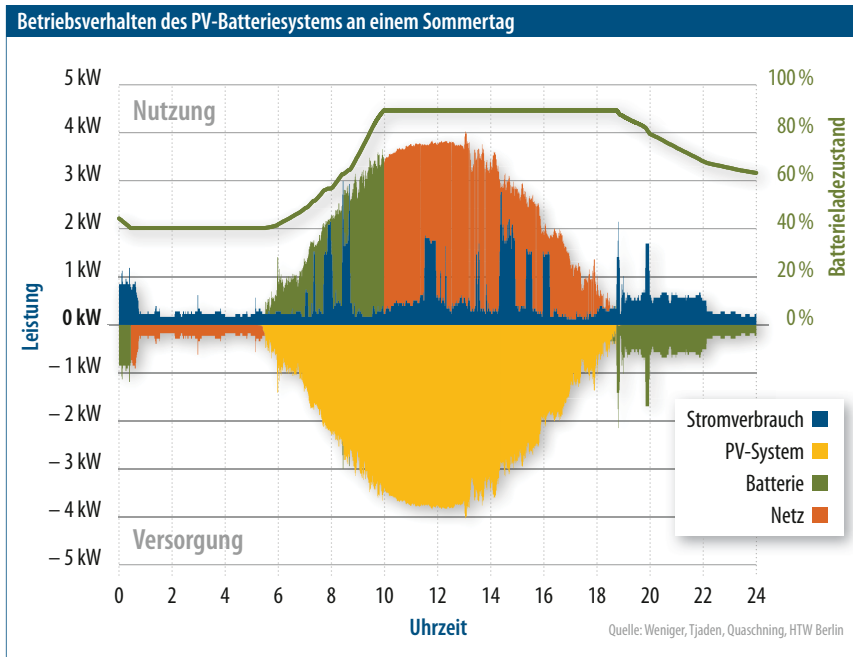
Die ideale Eigenverbrauchslösung

Energiemanager, Wechselrichter und Laderegler in einem. Nutzen Sie bis zu 70% des Sonnenstroms für den Eigenverbrauch.

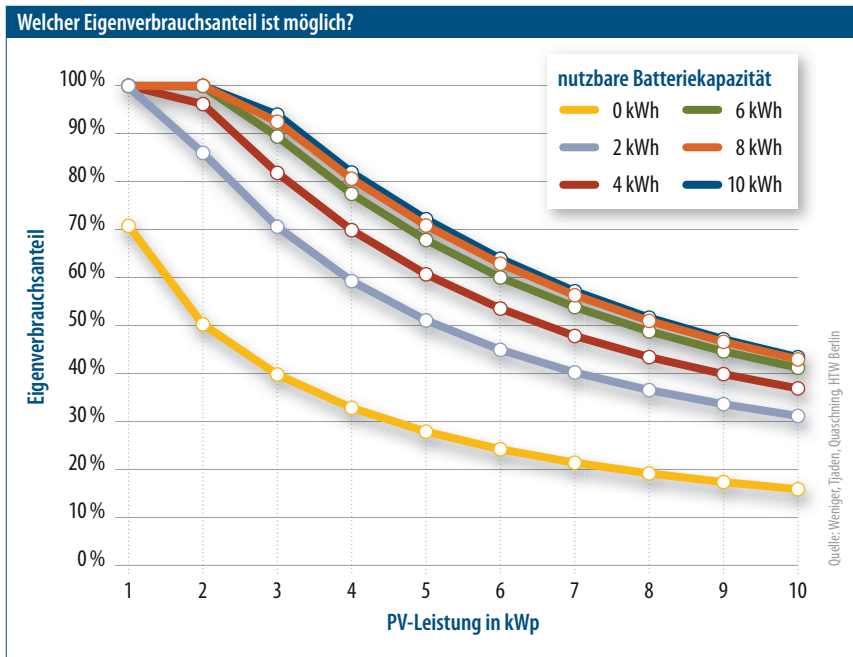
Der PowerRouter ist bereit für die Zukunft, Sie auch?

the PowerRouter
you're in charge





Simuliertes Systemverhalten eines Photovoltaik-Batteriesystems mit fünf Kilowattstunden nutzbarer Speicherkapazität und einem Solargenerator mit fünf Kilowattpeak Leistung in einem Einfamilienhaushalt an einem Sonntag im Sommer.



Eigenverbrauchsanteil in Abhängigkeit von Batteriekapazität und Leistung des Solargenerators für einen Einfamilienhaushalt mit einem Jahresstromverbrauch von 4.700 Kilowattstunden.

rein netzgekoppelter Photovoltaiksysteme waren bisher der absolute Jahresertrag und die damit verbundenen Einnahmen durch die Einspeisevergütung relevant. Für künftige Eigenverbrauchssysteme sind die Einsparungen durch die vermiedenen Netzbezugskosten zunehmend entscheidend. Daher gilt es, möglichst viel des erzeugten Solarstroms zeitgleich selbst zu nutzen, um dadurch hohe Eigenverbrauchsanteile zu erzielen.

Für den betrachteten Einfamilienhaushalt wurde durch Simulationsberechnungen bestimmt, welche Eigenverbrauchsanteile im Jahresmittel je nach installierter Photovoltaikleistung und Batteriekapazität möglich sind. Der Eigenverbrauchsanteil nimmt dabei mit steigender Größe des Photovoltaiksystems grundsätzlich ab (siehe Grafik „Welcher Eigenverbrauchsanteil ist möglich?“).

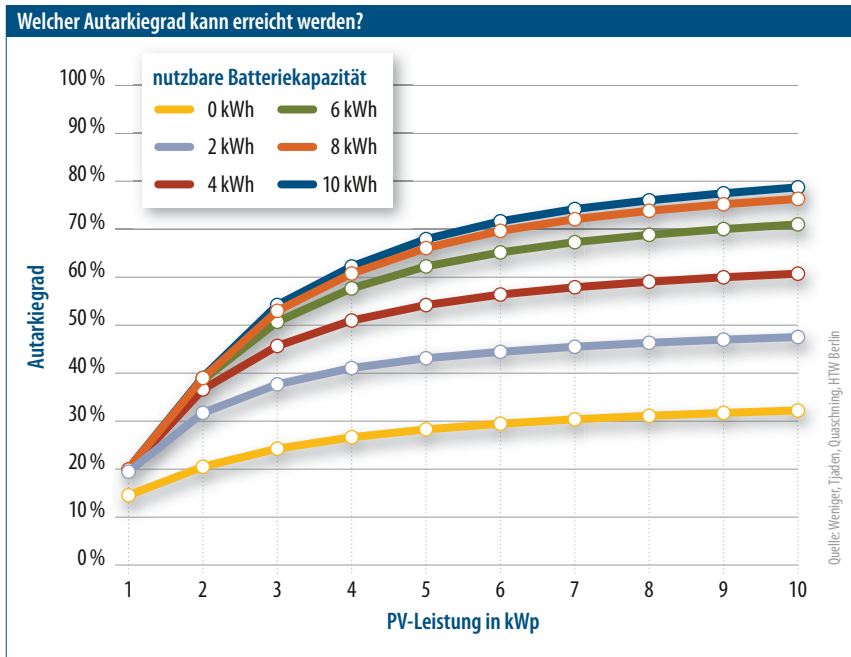
Es zeigt sich: Ein durchschnittlicher Einfamilienhaushalt kann bei einem jährlichen Photovoltaikertrag von 958 Kilowattstunden pro Kilowattpeak seinen Stromverbrauch in der Jahresbilanz mit einem Fünf-Kilowatt-Photovoltaiksystem decken. Allerdings werden nur knapp 30 Prozent des erzeugten Solarstroms zeitgleich genutzt. Wird zusätzlich ein Batteriespeicher installiert, erhöht das den Eigenverbrauchsanteil je nach Größe der Batterie und des Photovoltaiksystems bei den zugrunde gelegten Daten um 15 bis 55 Prozentpunkte.

Eigenverbrauch verdoppeln

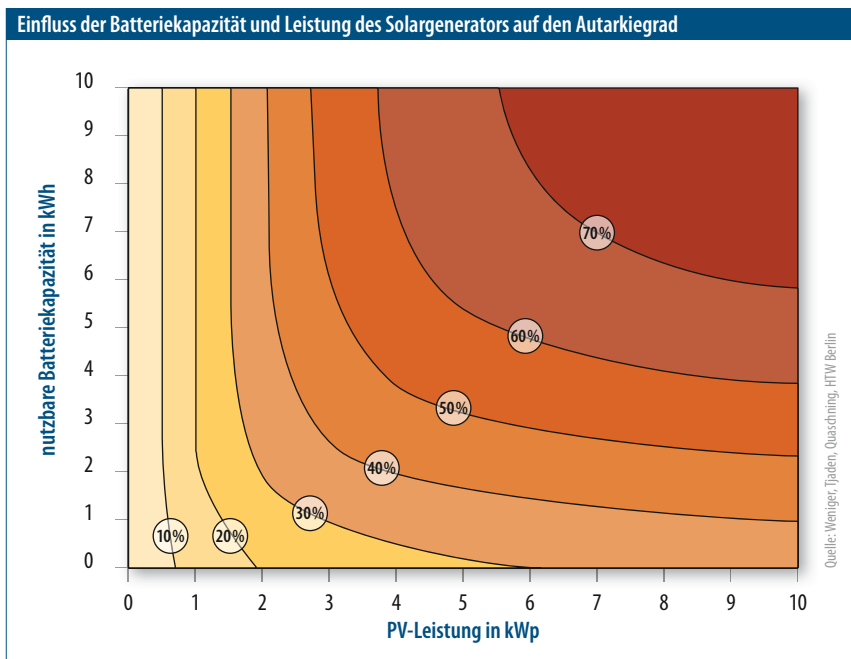
Die Rechnung ergibt, dass bei einer Fünf-Kilowatt-Anlage durch eine Batterie mit vier Kilowattstunden nutzbarer Speicherkapazität der Eigenverbrauchsanteil immerhin von knapp 30 auf 60 Prozent verdoppelt wird. Mit zunehmender Batteriekapazität steigt der Eigenverbrauch nur noch geringfügig. Dies ist darauf zurückzuführen, dass größere Batteriespeicher über Nacht nicht vollständig entladen werden, wodurch am Folgetag nicht die gesamte nutzbare Kapazität zur Speicherung des Solarstroms zur Verfügung steht. Andererseits ist ersichtlich, dass bei einem System mit nur zwei Kilowatt Leistung nahezu 100 Prozent Eigenverbrauch machbar sind.

Welche Unabhängigkeit kann erreicht werden? Neben dem Eigenverbrauchsanteil ist der durch das Photovoltaik-Batteriesystem erzielte Autarkiegrad des Haushalts eine wichtige Bewertungsgröße und ein wesentliches Verkaufsargument von Eigenverbrauchssystemen. Der Autarkiegrad gibt an, welcher Anteil des Stromverbrauchs selbst erzeugt und wie viel Netzstrom dadurch eingespart werden kann. Während der Eigenverbrauchsanteil mit zunehmender Solarleistung tendenziell sinkt, steigt der Autarkiegrad an. Autarkie und Eigenverbrauch verhalten sich also gegenläufig zueinander (siehe Grafik „Welcher Autarkiegrad kann erreicht werden?“).

Abstimmung von Batterie- und Solargeneratorleistung erforderlich: Ohne Batteriespeicher kann ein Fünf-Kilowattpeak-Photovoltaiksystem knapp 30 Prozent des Stromverbrauchs zeitgleich abdecken. Wird zusätzlich ein Batteriespeicher mit sechs Kilowattstunden nutzbarer Batteriekapazität installiert, kann der Autarkiegrad auf mehr als 60 Prozent gesteigert werden. Bei »



Autarkiegrad in Abhängigkeit von Batteriekapazität und Leistung des Solargenerators für einen Einfamilienhaushalt mit einem Jahresstromverbrauch von 4.700 Kilowattstunden.



Ein bestimmter Autarkiegrad lässt sich durch verschiedene Auslegungen von Speicher und Solaranlage erreichen. Wenn der Kunde zum Beispiel 50 Prozent seines Stromes selbst erzeugen will, geht das bei dem gewählten Rechenbeispiel mit einer Photovoltaikanlage von sieben Kilowattpeak Leistung und einem Speicher von drei Kilowattstunden. Es geht aber auch mit einer Drei-Kilowattpeak-Anlage und einem Speicher von sieben Kilowattstunden Kapazität. Wie die anderen Beispiele ist das für einen Einfamilienhaushalt mit einem Jahresstromverbrauch von 4.700 Kilowattstunden gerechnet.

größeren Batteriespeichern steigt die Autarkie nur noch wenig an. Mit zehn Kilowattpeak Photovoltaikleistung und zehn Kilowattstunden nutzbarer Batteriekapazität ist es jedoch möglich, etwa 80 Prozent des Jahresstromverbrauchs mit selbst erzeugtem Solarstrom zu decken. Eine vollständige Autarkie ist theoretisch nur mit extrem großen

Photovoltaiksystemen und Batteriekapazitäten möglich, da es im Winter in Deutschland nur sehr wenig Sonneneinstrahlung gibt und dieser überbrückt werden müsste. Das ist allerdings weder ökonomisch noch ökologisch sinnvoll.

Ein bestimmter Autarkiegrad kann durch verschiedene Auslegungen von Speicher und Solaranlage erreicht wer-

den. An der zweidimensionalen Auftragung des Autarkiegrads in Abhängigkeit der Speichergröße und der Solaranlagengröße lässt sich ablesen (siehe Grafik unten): Bei kleinen Photovoltaiksystemen kann der Autarkiegrad durch größere Batteriespeicher nur unwesentlich gesteigert werden. Im Gegensatz dazu hat bei kleinen Batteriekapazitäten eine Steigerung der Photovoltaikleistung nur geringen Einfluss auf die Autarkie. Daher müssen zum Erreichen hoher Autarkiegrade die Photovoltaikleistung und Batteriegröße im gleichen Maße gesteigert werden.

Systemauslegung wird komplexer: Während bei rein netzgekoppelten Photovoltaiksystemen die Auslegung vorwiegend durch die Dachfläche und den Geldbeutel bestimmt wurde, müssen künftig die Batteriekapazität und Photovoltaikleistung auf den Stromverbrauch abgestimmt werden. Neben dem Gesamtstromverbrauch hat auch die zeitliche Verteilung des Verbrauchs Einfluss auf den erreichbaren Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad. Simulationsberechnungen mit anderen Lastprofilen ergaben jedoch, dass in der Regel die ermittelten Eigenverbrauchsanteile je nach Lastprofil bei gleichem Jahresstromverbrauch weniger als zehn Prozentpunkte voneinander abweichen. Durch eine Verlagerung des Verbrauchs in Zeiten mit hoher Photovoltaikerzeugung können Haushalte den Eigenverbrauch zusätzlich steigern.

Bei typischen Einfamilienhäusern lässt sich durch Photovoltaiksysteme mit einer Leistung von bis zu vier Kilowattpeak und einer passenden Batterie ein hoher Eigenverbrauchsanteil von über 80 Prozent erzielen. Dadurch sind Autarkiegrade um 50 Prozent machbar. Für eine höhere Autarkie nahe 80 Prozent sind größere Photovoltaiksysteme und Batterien erforderlich. Der Wunsch nach vollständiger Unabhängigkeit vom Netz ist in Deutschland in Einfamilienhäusern durch Photovoltaik-Batteriesysteme praktisch kaum erreichbar. Allerdings können sie den Großteil des Stromverbrauchs decken und somit einen entscheidenden Beitrag zu einer dezentralen und klimafreundlichen Stromversorgung leisten. ♦

Johannes Weniger,
Tjarko Tjaden, Volker Quaschning
Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin

regenerative-energien.htw-berlin.de