

Was eine Solaranlage auf dem Dach zur Energiewende beitragen kann

Mit der Annahme des Energiegesetzes im Jahr 2017 hat die Schweiz eine gewaltige Aufgabe übernommen: Sie will aus der Kernenergie aussteigen und gleichzeitig den Kohlendioxid-Ausstoss reduzieren, indem sie die erneuerbaren Energien ausbaut. Dieser Artikel zeigt am Beispiel eines Einfamilienhauses, was Photovoltaik zur Energiewende beitragen kann.

Tagesproduktion Null-Elektrizität-Haus

Abb. 1 zeigt einen typischen Verlauf des Elektrizitätsverbrauchs eines Einfamilienhauses an einem wolkenlosen Tag bei Tag-Nacht-Gleiche. Die blaue Kurve ist die verbrauchte Leistung und die blaue Fläche entspricht der an diesem Tag verbrauchten elektrischen Energie von 12 kWh; die Durchschnittsleistung beträgt also 500 W. Die orange Kurve zeigt die Leistung von Photovoltaikmodulen, die ungefähr den Tagesverbrauch decken. Die Anlage muss dafür eine Spitzenleistung von 2 kW aufbringen. Die braune Fläche zeigt den Anteil des Solarstromes, der im Haus direkt benutzt wird. Der Überschuss wird ins Netz

eingespeist (grüne Fläche). Das Netz liefert den fehlenden Strom, wenn die Sonne nicht scheint (rote Fläche).

An diesem Tag produziert das Haus zwar so viel Strom wie es verbraucht, es ist aber nicht netzunabhängig (autark): Der Eigenverbrauch beträgt nur etwa 50% der Sonnenproduktion, weil Verbrauch und Produktion zeitlich nicht übereinstimmen. Aus der grünen Netzeinspeisekurve sieht man, dass die Einspeisespitze von 1,5 kW deutlich höher ist als die Spitze des Netzbezugs. Wird zu viel Strom ins Netz eingespeist bei gleichzeitig niedrigem Stromverbrauch (z.B. an einem Sonntagnachmittag), steigen Netzspannung und -frequenz. Dank Verhaltensregeln (Grid Code), die alle Anlagen in einem Netz einhalten müssen, kann die Netzregelung die Photovoltaikanlagen drosseln oder ganz abschalten (vgl. Begrenzung auf 1,3 kW in Abb. 1).

Jahresproduktion Null-Elektrizität-Haus

Aus dem Jahresverlauf (Abb. 2) erkennt man, dass das Haus im Winter praktisch den ganzen Strom vom Netz bezieht (rote Kurve). Soll die Photovoltaikanlage so viel Energie liefern wie das Haus im Jahr konsumiert, muss die Spitzenleistung von 2 auf 4 kW verdoppelt werden, damit übers Jahr hinweg eine Durchschnittsleistung von 500 W resultiert. Auch hier ist das Haus nicht autark und der Eigenverbrauch sinkt sogar auf etwa 40%, weil Produktion und Verbrauch noch weiter auseinander liegen. Die benötigte Modulfläche hängt von der geografischen Lage des Hauses ab. Im östlichen Mittelland ist die Ausbeute etwa 175 kWh/m²/a, im Welschland und in den Bergen etwas mehr. Das hier betrachtete Haus braucht also gemäss Angaben von MeteoSchweiz etwa 25 m² Module bei einem Wirkungsgrad der Solarzellen von 20%.

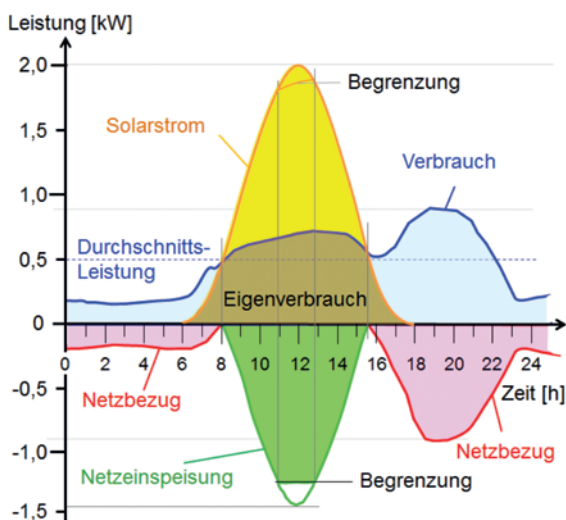


Abb. 1: Null-Elektrizität-Haus ohne Batterie an einem wolkenfreien Tag bei Tag-Nacht-Gleiche. Die Verbrauchsfläche (blau) ist gleich gross wie die Solarproduktionsfläche (gelb), ihre Überlappung (braun) ist der Eigenverbrauch.

Stromkosten

Das lokale Elektrizitätsversorgungs-Unternehmen freut sich nur mässig am Solarstrom. Es muss das Netz für die Solarstrom-Mittagsspitzen auslegen. Es muss die Produktion seiner Flusskraftwerke drosseln wegen des Einspeisevorrangs des Solarstromes. Wird zu viel Solarstrom produziert, muss es Strafe bezahlen,

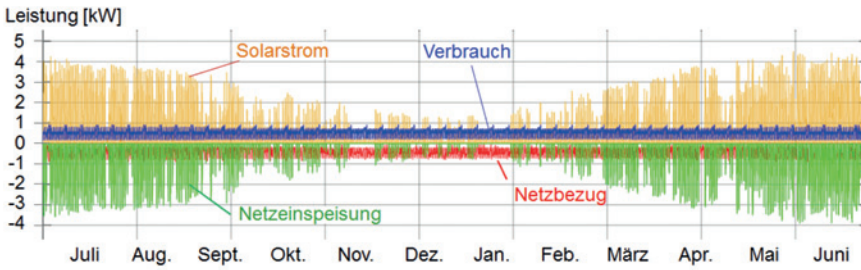


Abb. 2: Null-Elektrizität-Haus vom Sommer 2014 bis zum Sommer 2015. Im Winterhalbjahr (Okt. bis März) liefert die Photovoltaikanlage nur ein Viertel der Jahresenergie.

weil es seinen vertraglichen Bezug von Kern- oder Flusskraftwerken reduziert, die auf feste Abnehmer angewiesen sind. Deshalb bieten die Elektrizitätswerke vier mal weniger für den eingespeisten Strom als sie für den bezogenen Strom verlangen. Abgaben wie die kostendeckende Einspeisevergütung werden hier nicht berücksichtigt, da diese für solche Anlagen nicht mehr gilt.

Die 25 m² Module, Umrichter und Montage kosten etwa 6000 Fr. Damit ergeben sich bei einer Produktion von 4380 kWh/a und einer Abschreibungszeit von 12 Jahren Gestehungskosten von etwa 11 Rp./kWh bei 40 % Eigenversorgung. Obwohl die Preise der Module sinken, ist in unseren Breiten nicht damit zu rechnen, dass Solarstrom billiger als Wasserstrom wird, der zu rund 4 Rp./kWh produziert wird. Die Solaranlage zahlt sich deshalb grösstenteils durch die Kosten des ersetzten Stromes und nur zu einem kleinen Teil durch den eingespeisten Strom aus. Deshalb lohnt es sich nicht, die Modulfläche zu vergrössern, weil ihr Überschuss unter den Gestehungskosten ins Netz abgegeben wird. Um den Eigenverbrauch zu maximieren gibt es zwei Methoden: flexible Lasten und lokale Speicherung.

Flexible Lasten

Mit flexiblen Lasten wird der Zeitpunkt des Verbrauchs der Produktion angepasst, beispielsweise durch Einschalten des Boilers, der Waschmaschine oder des Tiefkühlers. Dies bedeutet eine Umkehrung des bisherigen Verfahrens, über Mittag nicht zu waschen und den Boiler nur in der Nacht aufzuheizen. Die entsprechenden Hoch- und Niedertarife wurden eingeführt, um Kern- und Flusskraftwerke auszulasten, die eine konstante Leistung abgeben sollten. Die Stromzähler sollten deshalb durch noch wenig verbreitete «Smart Meter» ersetzt werden, die automatisch den augenblicklichen Strompreis erhalten, um flexible Lasten im günstigen Moment einzuschalten.

Dies lohnt sich besonders dann, wenn der Marktpreis des Stromes bei einem Überfluss an Solarstrom negativ wird.

Lokale Speicherung

Bei der lokalen Speicherung wird der Überschuss beispielsweise in einer Batterie gespeichert, um ihn später an Ort zu verbrauchen. Abb. 3 zeigt das Null-Elektrizität-Haus an zwei wolkenfreien Tagen um die Tag-Nacht-Gleiche. Der Überschussstrom lädt zuerst die Batterie auf (obere violette Kurve), und wenn diese voll ist, fliesst er ins Netz. Sobald der Solarstrom nicht mehr ausreicht, wird der Verbrauch aus der Batterie gedeckt, bis diese leer ist; erst danach wird Strom vom Netz bezogen. Aus der Abb. 3 ist ersichtlich, dass immer noch ins Netz eingespeist wird. Die benutzte Batterie mit einer Kapazität von 2 kWh ist zu klein, um das Haus an diesen zwei Tagen autark zu versorgen. Dafür müsste die Batterie rund dreimal grösser sein.

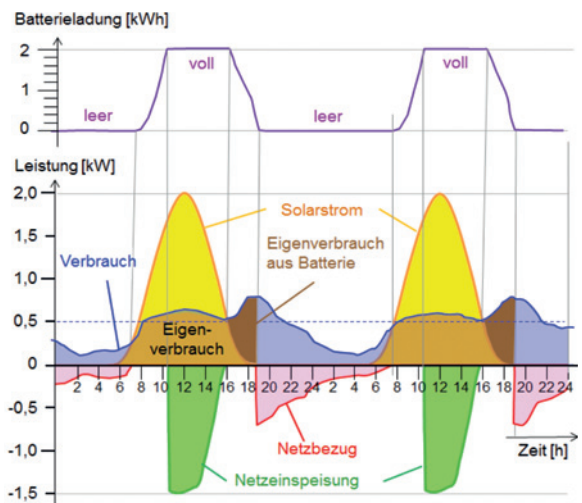


Abb. 3: Null-Elektrizität-Haus mit Batterie bei Tag-Nacht-Gleiche. Die Batterie vergrössert den Eigenverbrauch um die braune Fläche.

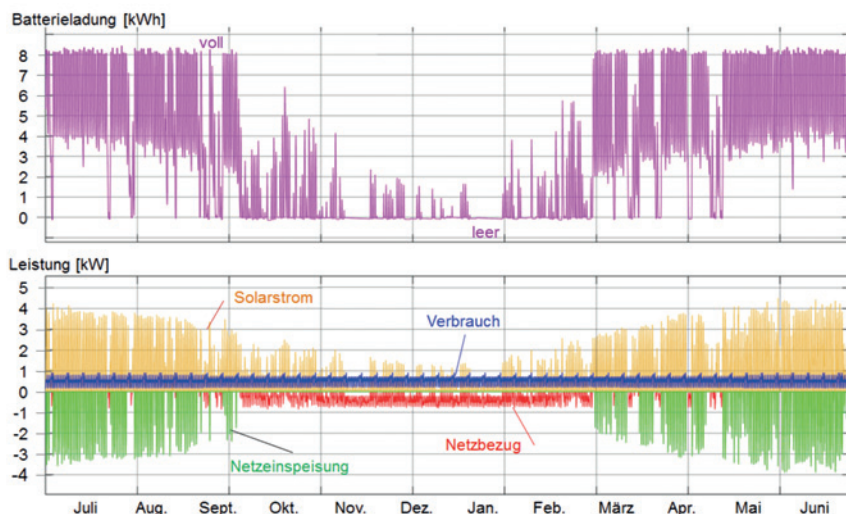


Abb. 4: Null-Elektrizität-Haus vom Sommer 2014 bis zum Sommer 2015. Im Winterhalbjahr (Okt. bis März) liefert die Photovoltaikanlage nur ein Viertel der Jahresenergie.

Jahresproduktion mit Batterie

Betrachtet man das ganze Jahr, ist die Vergrößerung des Eigenverbrauchs von nur 5% kaum zu erkennen (Abb. 4), obwohl die Batterie mit 8 kWh überdimensioniert wurde, um den Effekt zu zeigen. Die Ladung der Batterie variiert aber stark (violette Kurve): Sie ist meist leer im Winter und voll im Sommer. Eine Batterie rentiert nur, wenn sie entladen wird und dadurch den Eigenverbrauch erhöht. Abb. 5 zeigt, dass die optimale Batteriegrösse bei etwa 6 kWh liegt und so etwa den Verbrauch einer Nacht speichert.

Batteriekosten

Ob sich die Batterie durch die Erhöhung des Eigenverbrauchs auszahlt, hängt von ihren Kosten ab. Die obige optimale 6-kWh-Batterie würde heute inklusive Nebenkosten um 3000 Fr. kosten. Dies ist bezogen auf die gespeicherte Energiemenge mehr als zehnmal so viel wie Pumpspeicherwerke kosten, aber trotzdem billiger als Strom-zu-Gas- oder Strom-zu-Sprit-Speicher, die zurzeit entwickelt werden. Der Batterieinhalt ist bei Stromkosten von 20 Rp./kWh gerade Fr. 1.20 wert; also muss die Batterie 2500 Mal ganz entladen werden, um rentabel zu sein. Dies ist aber nahe an der maximalen Zykluszahl von 3000 und gleichzeitig nahe an der Lebensdauer von 7 Jahren bei täglicher Entladung. Bei vorhandenem Netzanschluss lohnt sich bei heutigen Kosten eine Batterie nicht. Das Netz ist die Batterie.

Auch andere Funktionen der Batterie sind kaum massgebend. So hilft sie nur wenige Stunden als Notstromaggregat und dies nur, wenn sie stets geladen ist. Sie kann also nicht gleichzeitig Notstrom

liefern und den Eigenverbrauch erhöhen. Die Verwendung von Batterien zur Netzstabilisierung scheidet an der Wirtschaftlichkeit.

Trotzdem installieren immer mehr Hausbesitzer Batterien, um Netzunabhängigkeit anzustreben. Man erhofft sich von der Elektroautoindustrie billigere und langlebigere Batterien. Falls ein Elektroauto vorhanden ist, gehört die Autobatterie zu den flexiblen Lasten, aber nicht zur Speicherung. Sie kann nicht sowohl das Haus in der Nacht versorgen als auch am Morgen das Auto antreiben.

Batterie für ein autarkes Haus

Wie gross muss eine Batterie sein, um das betrachtete Haus übers Jahr autark zu versorgen? Abb. 6 zeigt die notwendige Batteriegrösse als Funktion der Autarkiezeit um die Jahresmitte. Beispielsweise reicht eine 12 kWh-Batterie, um das Haus vom Mai bis August ohne Netzanschluss zu versorgen. Eine Woche schlechtes Wetter würde dabei aber bereits zu Stromknappheit führen. Dies wäre vertretbar auf einer Alp ohne Netzanschluss. Da die Batteriekosten aber beträchtlich sind, verwenden viele SAC-Hütten lieber kleine Wasserturbinen. Sollte ein Haus das ganze Jahr hindurch autark sein, müsste die Batterie am Ende des Sommers beinahe die ganze Energie für das Winterhalbjahr enthalten, also etwa 2 MWh. Dies wäre rund 300 Mal die optimale Batteriegrösse und die Kosten überstiegen 1 Mio. Franken.

Einbezug einer Wärme-Kraft Kopplung

Eine bezahlbare Netzunabhängigkeit könnte jedoch mit Hilfe einer Holz-, Gas- oder Ölheizung erreicht

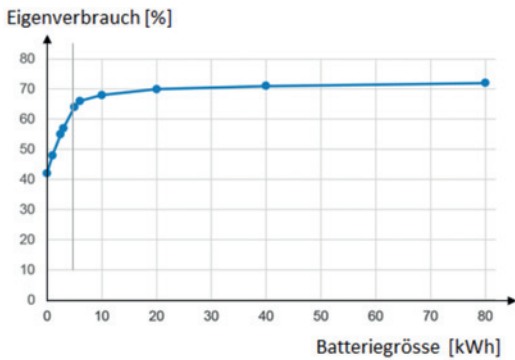


Abb. 5: Eigenverbrauch als Funktion der Batteriegröße.

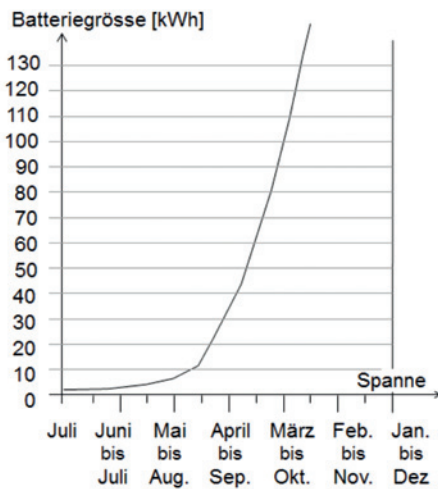


Abb. 6: Batteriegröße als Funktion der Autarkiespanne.

werden, die einen Stromgenerator antreibt. Dieser müsste wie die Batterie den Unterschied zwischen Verbrauch und Eigenverbrauch decken, also etwa die Hälfte des Verbrauchs. Dies müsste mit Investitionen von rund 30 000 Fr. für eine elektrische Leistung von 5 kW und höheren Brennstoffkosten erkauf werden. Ob dieses System vom Standpunkt des Umweltschutzes aus betrachtet gut wäre, hängt vom Brennstoff ab. Mit Erdgas oder Erdöl würden die Klimaziele kaum erreicht.

Einfluss auf den Klimaschutz

Ob die Photovoltaikanlage den Ausstoss von Treibhausgasen reduziert, hängt davon ab, welchen Strom sie ersetzt und wieviel graue Energie in Module, Umrichter und Montageelemente investiert wurde. Bezogen auf ihre Lebenszeit stossen die besten Module 36 g CO₂-Äquivalente/kWh aus, wenn sie mit europäischem Strom hergestellt wurden (Rufer & Braun-

schweig 2013). Dazu kommen Emissionen der Batterie von etwa 100 g CO₂/kWh (Romare & Dahllöf 2017). Dies ist zwar besser als Kohle mit 1000, aber schlechter als Wasser mit 7, Kernenergie mit 30 oder Wind mit 16 Gramm pro Kilowattstunde. Da die Schweiz zunehmend Strom importiert und der Euro-Strommix aus 1/3 Kohlestrom besteht, ist die CO₂-Bilanz der Photovoltaik in der Schweiz dennoch positiv und wird besser.

Fazit für die Schweiz

- > Photovoltaik auf dem Dach ist nur wirtschaftlich, wenn ihr Strom direkt verbraucht wird, nicht aber, wenn er ins Netz eingespeist oder gespeichert wird.
 - > Photovoltaik liefert nur einen Beitrag zum Klimaschutz, wenn sie Strom aus Kohle oder Gas einspart.
 - > Photovoltaik vereinfacht die Netzinfrastruktur nicht, weil im Winter die Versorgung dieselbe ist wie ohne Photovoltaik.
 - > Photovoltaik alleine kann die Versorgung nicht sichern, denn sie liefert nur wenig Leistung, wenn man viel braucht.
 - > Photovoltaik liefert vorwiegend im Sommer, wenn die Kernkraftwerke reduziert arbeiten; sie konkurriert eher die Wasserkraft als die Kernkraft.
 - > Die Bestrebung, die Schweiz mittels Sonnenenergie energieautark zu machen, bringt weder dem Klima noch dem Ausstieg aus der Kernenergie etwas. Zudem haben die südlichen Länder viel bessere Voraussetzungen, um durch solarthermische Kraftwerke und Windparks kohlendioxid- und kernenergiefreien Strom zu liefern.
 - > Photovoltaik ist primär als Energiesparmassnahme und nicht als Energiequelle einzustufen.
- Fazit: Die Photovoltaik auf dem Dach ist wünschenswert, doch alleine bringt sie keine Energiewende. Dazu fehlt eine billige und kohlendioxidfreie saisonale Speicherung. Unsere Forscher sind gefordert.

Hubert Kirrmann

Der Autor ist pensionierter Forscher der ABB und emeritierter Professor an der EPFL.

LITERATUR

Rufer, D. & Braunschweig, A. 2013. Die bessere Ökobilanz von Solarstrom. *Swissolar. Umwelt-Perspektiven 2013/4*

Romare, M. & Dahllöf, L. 2017. The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries. IVL Swedish Environmental Research Institute, Report number C 243