



Mehr Eigenverbrauch mit Batteriespeichern?

Photovoltaikanlagen | Werden Batteriespeicher in absehbarer so erschwinglich, dass damit der Eigenverbrauchsanteil von Solarstrom deutlich erhöht werden kann? Eine Studie der Fachhochschule Nordwestschweiz hat sich mit diesem Thema auseinandergesetzt.

TEXT STEFAN ROTH

Fortschrittliche Haushalte möchten zu «Prosumern» werden und sich mit Strom aus der eigenen Photovoltaikanlage zumindest teilweise selbst versorgen. Mit Batteriespeichern kann der Eigenverbrauchsanteil des Photovoltaikstroms zusätzlich erhöht werden. Batterien sind zwar heute noch teuer, in wenigen Jahren aber sollen sie so kostengünstig sein, dass die skizzierte Art der Haushaltsstromversorgung rentabel sein wird. Ob diese oft gehörte These richtig ist, wurde in einer Studie an der Fachhochschule Nordwestschweiz untersucht. So viel vorweg: Das Resultat ist ermutigend: Ohne Veränderung der tariflichen und politischen Rahmenbedingungen lässt sich der Einsatz von

Batteriespeichern im Haushalt wirtschaftlich kaum rechtfertigen, auch zukünftig nicht.

Geschäftsmodell Eigenverbrauch

Photovoltaikanlagen haben auch in der Schweiz «Grid Parity» erreicht oder sogar unterschritten. Damit ist selbstgenutzter Solarstrom bereits günstiger als jene Energie, die zum Hochtarif von Elektrizitätsversorgungsunternehmen bezogen wird. Das kommunizieren jedenfalls Solar-Enthusiasten. Ganz so einfach ist diese Gleichung allerdings nicht.

Die für Investoren entscheidende «Grid Parity» ist dann erreicht, wenn der finanzielle Aufwand für die Photo-

voltaikanlage über deren Lebensdauer nicht grösser als der entsprechende geldwerte Stromertrag ist. Auf der Aufwandseite stehen Kapitalkosten sowie die Betriebs- und Unterhaltskosten. Die Erträge setzen sich aus den Opportunitätskosten für den vermiedenen Strombezug sowie der Rücklieferung der Überschüsse ins Netz zusammen. Die Opportunitätskosten entsprechen den Arbeitspreisen zu Hoch- respektive Niedertarifzeiten (die für die Photovoltaik massgebenden Niedertarifzeiten sind üblicherweise samstags ab 13 Uhr und sonntags). Im Falle des EW Windisch¹⁾ sind das 17 Rp./kWh im Hoch- und 13,1 Rp./kWh im Niedertarif. Die Vergütung der Rückspeisung beträgt 7,7 Rp./kWh im Hoch- und 6,25 Rp./

kWh im Niedertarif. Das erfolgreiche Geschäftsmodell «Eigenversorgung mit Photovoltaik» hängt folglich im Wesentlichen von den folgenden Parametern ab:

- hoher Eigenverbrauch, geringe Rückspeisung des Photovoltaikstroms,
- hohe Arbeitspreise für den Energiebezug aus dem Netz,
- hohe Rückliefertarife für den überschüssigen Photovoltaikstrom,
- tiefe Investitions-, Betriebs-, Unterhalts-, Rückbaukosten und Schuldzinsen sowie lange Lebensdauer der Photovoltaikanlage und des Batteriespeichers.

Diese Kriterien werden durch die Dimensionierung der technischen Anlagen und durch das Lastprofil des Haushalts mit dessen allfälligen flexiblen Lastanteilen entscheidend beeinflusst. Bei der Auslegung treten Zielkonflikte auf, so beispielsweise bei der Batterie, bei deren Einsatz für Kapazität und Investitionskosten der Trade-off gefunden werden muss.

Wie der Tariftabelle (Tabelle 1) zu entnehmen ist, entfällt weniger als ein Drittel des Strombezugspreises auf die Energielieferung. Der verbleibende Hauptteil besteht aus Netzkosten sowie Steuern und Abgaben. Der für die Netzdimensionierung und damit die Netzkosten relevante Parameter ist allerdings nicht die Arbeit, sondern die Anschlussleistung. Verursachergerecht umgelegt müssten zur Bereitstellung des Netzanschlusses folglich leistungsspezifische Fixkosten verrechnet werden. Dies ist aber nicht gewollt, da ein künstlich hoher Arbeitspreis und tiefe Fixkosten zwei politische Ziele unterstützen: Erstens steigt der Anreiz zum Stromsparen und zweitens wird das Geschäftsmodell «Eigenversorgung mit Photovoltaik» begünstigt. Somit wird dem Haushaltstromkunden heute bis auf die Messstelle und die Administration der gesamte Aufwand für die Stromlieferung als Arbeitspreis belastet. Diese gezielte Quersubventionierung ist folglich eine entscheidende Voraussetzung für das Geschäftsmodell «Eigenversorgung mit Photovoltaik».

Bei einem durchschnittlichen Haushaltslastprofil und einer typischen Auslegung der Photovoltaikanlage (von zirka 1 kW Maximalleistung pro 1000 kWh Verbrauch pro Jahr) beträgt der Eigenverbrauchsanteil ungefähr

Bezugstarife		Wasserstrom CH			
EW Windisch, 2018		H3/T1		H3/T2	
Energie	Rp./kWh	5,25	30,9 %	3,65	27,9 %
Netznutzungsentgelt	Rp./kWh	6,80	40,0 %	4,75	36,3 %
Systemdienstleistungen	Rp./kWh	0,32	1,9 %	0,32	2,4 %
Konzessionsabgabe Gemeinde	Rp./kWh	1,13	6,6 %	1,13	8,6 %
KEV	Rp./kWh	2,30	13,5 %	2,30	17,6 %
MWSt	Rp./kWh	1,22	7,1 %	0,94	7,1 %
Arbeitspreis	Rp./kWh	17,02		13,09	
Grundgebühr	CHF/Mt	9,69			

Rückliefertarife		Erneuerbar	
EW Windisch, 2018		T1	T2
Energie	Rp./kWh	7,70	6,25
Messstelle	CHF/Mt	4,00	

Tabelle 1 Tarife für Bezug und Rücklieferung von Elektrizität, EW Windisch 2018.[1]

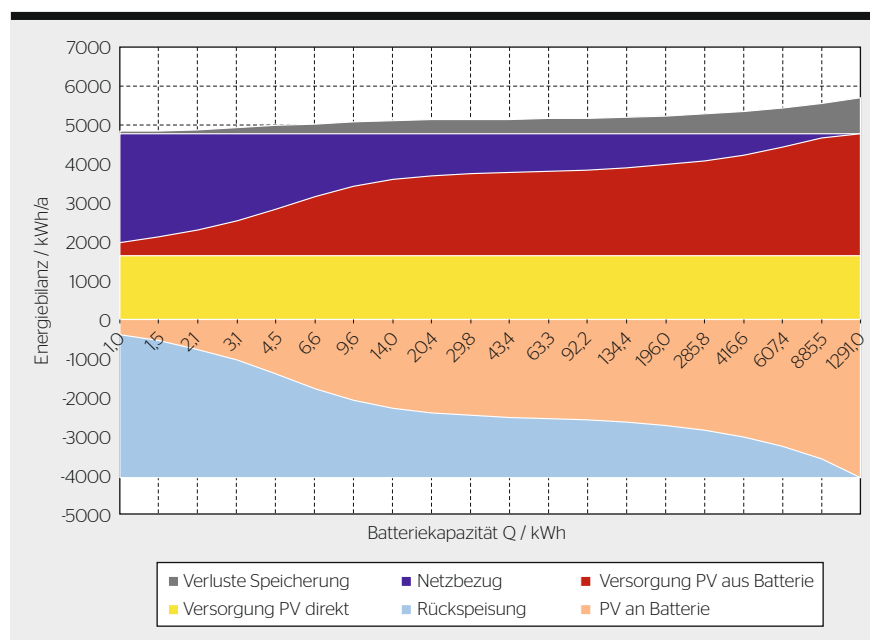


Bild 1 Energieflüsse in Abhängigkeit der Batteriekapazität (Abszisse logarithmisch).

30%. Um diesen zu erhöhen, bietet sich der Einsatz eines Batteriespeichers an. In den nachfolgenden Untersuchungen wird gezeigt, welche energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen der Einsatz unterschiedlich dimensionierter Batteriespeicher im Haushalt hat.

Autarke Stromversorgung eines Haushalts

Ausgangspunkt ist die Annahme eines Verbrauchers, der seine gesamte Elektrizitätsnachfrage mittels eigenerzeugtem Strom aus Photovoltaik decken möchte. Das ist technisch mit einem entsprechend dimensionierten Batteriespeicher möglich. Systeme auf Lithi-

umbasis haben hohe Umwandlungswirkungsgrade und eine geringe Selbstentladung. Damit kann grundsätzlich eine saisonale Speicherung der Überschüsse im Sommer vorgenommen und die Versorgung im Winter sichergestellt werden. In vorliegender Modellrechnung wird ein real gemessenes Haushaltslastprofil hinterlegt. Ausserdem werden die Photovoltaikanlage und die Batterie so ausgelegt, dass der Haushalt autark versorgt und vom Stromnetz abgekoppelt werden kann.

Um den Strombedarf des Beispielhaushaltes von 4773 kWh/a zu jedem Zeitpunkt autark zu decken, wird folgendes System benötigt:

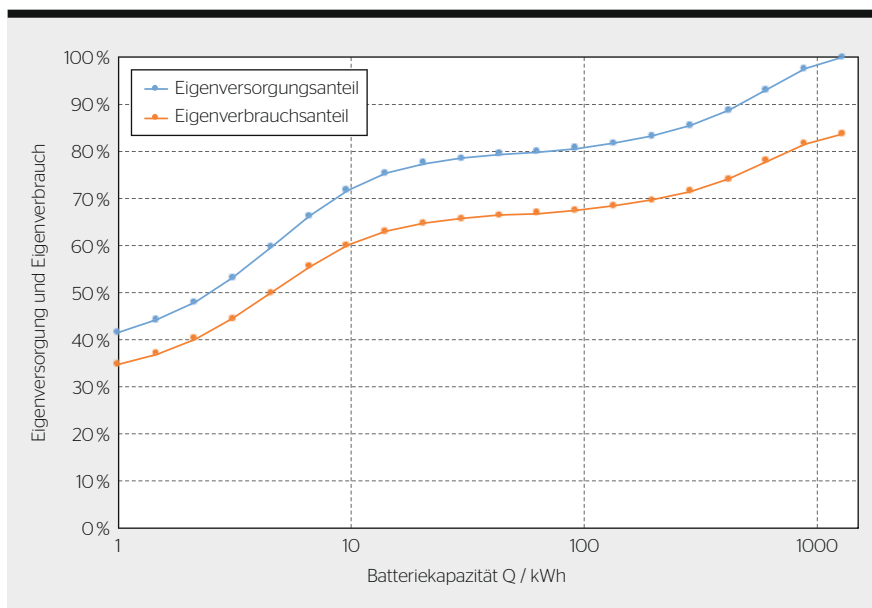


Bild 2 Eigenversorgungsgrad (Anteil der Stromnachfragedeckung mit Photovoltaik) und Eigenverbrauch (Anteil des direkt genutzten von der Photovoltaikanlage erzeugten Stroms) im Beispielhaushalt.

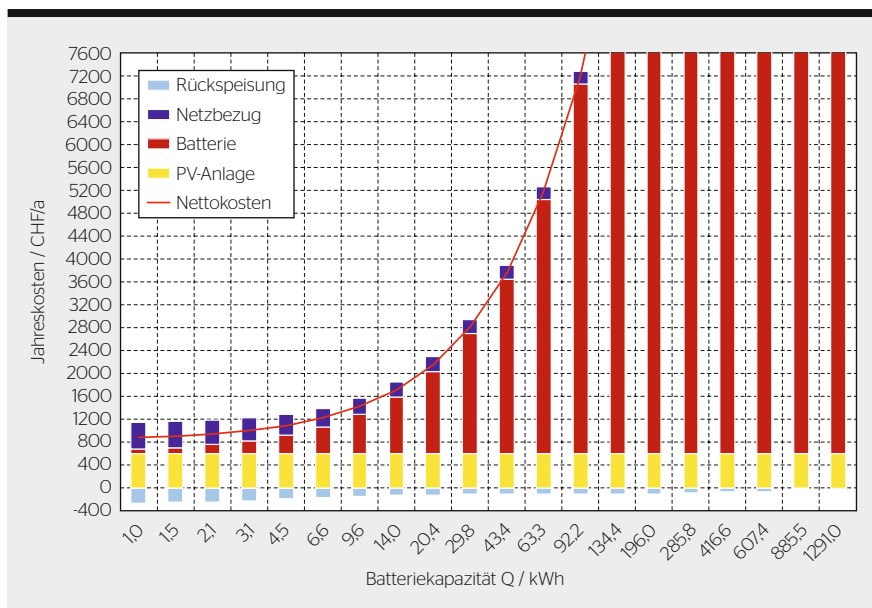


Bild 3 Bilanzierte Jahreskosten für die Elektrizitätsversorgung im Haushalt.

- Photovoltaik-Anlage mit einer Nominalleistung P von 5,79 kW.
 - Lithium-Batteriespeicher mit einer nutzbaren Kapazität Q von 1291 kWh.
- Während die Photovoltaikanlage eine durchaus übliche Grösse aufweist, fällt die Batterie 100- bis 200-mal grösser als heute gängige Lösungen aus. Die Idee einer 100-prozentig autarken Versorgung wird damit wohl an den Kosten scheitern. Aber auch aus ökologischer Sicht wäre das Konzept eines über 8 t schweren Bat-

teriespeichers im Keller in Frage zu stellen.

Welche Batteriegrösse ist «ideal» für einen Haushalt?

Es besteht der Wunsch vieler Bauherren nach möglichst grosser Autonomie durch den mit der eigenen Photovoltaikanlage erzeugten Strom. Dieses Ziel ist zwar wirtschaftlich nicht rational, emotional aber nachvollziehbar. Als ideal wird nachfolgend, im Sinne des Homo oeconomicus, trotzdem die

jährliche Stromversorgung des Haushalts zu minimalen Kosten bezeichnet.

Nachfolgend wird die Kapazität des Batteriespeichers des im vorangehenden Beispiel beschriebenen autarken Systems schrittweise reduziert (*ceteris paribus*) und der Einfluss auf die wichtigsten Kennzahlen beobachtet. In der durchgeführten Modellrechnung ist die Bedingung einer für jede Viertelstunde ausgeglichenen Energiebilanz zu erfüllen. Das führt zu den in **Bild 1** dargestellten jährlichen Energieflüssen.

Die Summe aus «Versorgung PV direkt», «PV an Batterie» und Rückspeisung ist über den Variationsbereich der Batteriekapazität natürlich konstant und entspricht der von der PV-Anlage übers Jahr erzeugten Energie. Ebenso ist die Summe aus «Netzbezug», «Versorgung PV direkt» und «Versorgung PV aus Batterie» konstant und entspricht der jährlichen Energienachfrage im Haushalt.

Bild 2 illustriert den Eigenverbrauchsanteil, der mit Batteriespeichern zwischen 1 und etwa 15 kWh deutlich zunimmt. Danach entfaltet eine weitere Erhöhung der Batteriekapazität jedoch kaum mehr Wirkung. Der Grund für dieses Phänomen liegt im Ausgleich der täglichen Differenzen zwischen Photovoltaikangebot und Strombedarf im Haushalt, für welchen eine Batteriekapazität bis etwa zu einem durchschnittlichen Tagesbedarf des Haushalts – im vorliegenden Beispiel also etwa 13 kWh – sinnvoll ist. Darüber ist der Nutzen zusätzlicher Batteriekapazität bescheiden. Die Situation ändert sich erst wieder bei einer Speicherkapazität ab etwa 300 kWh, da das System ab dieser Grösse in der Lage ist, zunehmend auch eine saisonale Speicherung zu übernehmen.

Nach den Energiebilanzen lohnt sich auch ein Blick auf die Jahreskosten solcher Systeme. Diese setzen sich einerseits aus den monetär bewerteten Energieflüssen über den Stromzähler, also den Bezugskosten und den Rückliefervergütungen, und andererseits aus Kapitaldienst, Betriebs- und Unterhaltskosten für die Photovoltaik- und die Batterieanlage zusammen.

Ist die Summe dieser Kostenkomponenten minimal und tiefer als die Kosten für die Vollversorgung aus

dem Stromnetz, ist die Kapazität des Batteriespeichers optimal dimensioniert.

Bild 3 zeigt, dass sich der Einsatz von Batteriespeichern zu heutigen Preisen finanziell nicht lohnt. Die Reduktion der Kosten des Netzbezugs wird durch die Batteriekosten überkompensiert. Bis zu Speicherkapazitäten von etwa 5 kWh ist dieser Effekt wenig sensitiv, sodass nicht-monetäre Präferenzen solche Lösungen bereits heute erlauben. Zu höheren Kapazitäten nehmen die Jahreskosten aber dramatisch zu.

Die Problematik überdimensionierter Batteriespeicher liegt – übrigens nicht nur bei den stationären Anwendungen, sondern auch bei Elektrofahrzeugen – darin, dass sich die grössere Batterie über immer weniger äquivalente Vollzyklen amortisieren muss. Beispielhaft veranschaulicht dies **Bild 4**. Die 10-kWh-Batterie durchläuft in einem Jahr etwa 170 äquivalente Vollzyklen, während die grosse Batterie für die Vollautarkie gerade noch 1,3 Jahresvollzyklen erreicht. Deren Lebensende wird also nicht mehr durch die Anzahl Lade- und Entladevorgänge, sondern durch die kalendarische Einsatzzeit bestimmt. Plakativ ausgedrückt stehen sich die zu grossen Batterien zu Tode; mit entsprechend ungünstigen Auswirkungen auf Umweltbilanz und Rentabilität.

Aus dieser Erkenntnis darf allerdings nicht gefolgert werden, dass zu gross dimensionierte Batteriespeicher, speziell bei weiter stark fallenden Preisen, nicht trotzdem eine substantielle Verbreitung erfahren werden. Treiber dafür sind die Kundenbedürfnisse (grosse Reichweiten bei Elektrofahrzeugen und hoher Eigenverbrauch bei der Stromversorgung) und nicht die optimale Ressourcennutzung.

Die ursprüngliche Erwartung vor der Studie war, dass sich die über das Jahr gemittelten Kosten für eine Einheit Elektrizität durch die optimierte Auslegung von Photovoltaikanlage und Batteriesystem gegenüber der vollständigen Versorgung aus dem Stromnetz reduzierten. Das geschieht zu heutigen Komponentenpreisen offensichtlich noch nicht. Im Jahresdurchschnitt betragen die Kosten für den Strombezug des Beispielhaushalts 15,5 Rp./kWh. Durch die teilweise Eigenversorgung (34 %) mit

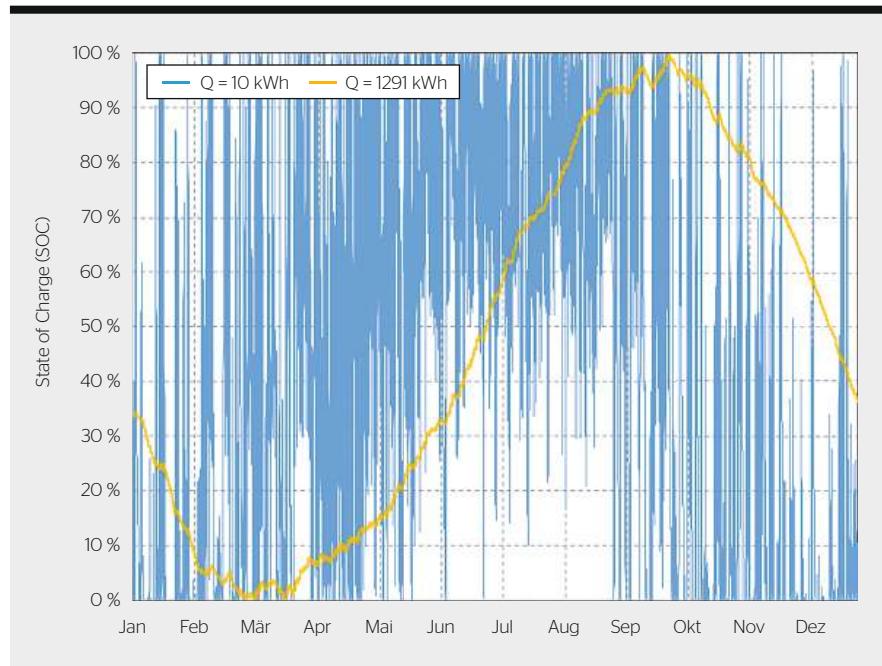


Bild 4 Verlauf des Speicherfüllstandes (SOC) über ein Jahr für eine nutzbare Speicherkapazität von 10 respektive 1291 kWh.

	Batterie	Photovoltaik	
heute	700 CHF/kWh	2200 CHF/kW Maximalleistung	Kleiv 30%
zukünftig	100 CHF/kWh	800 CHF/kW Maximalleistung	Kleiv 0%

Tabelle 2 Preise für Batterien und kleine Photovoltaikanlagen (Systemkosten, Kleiv=Förderbeiträge).

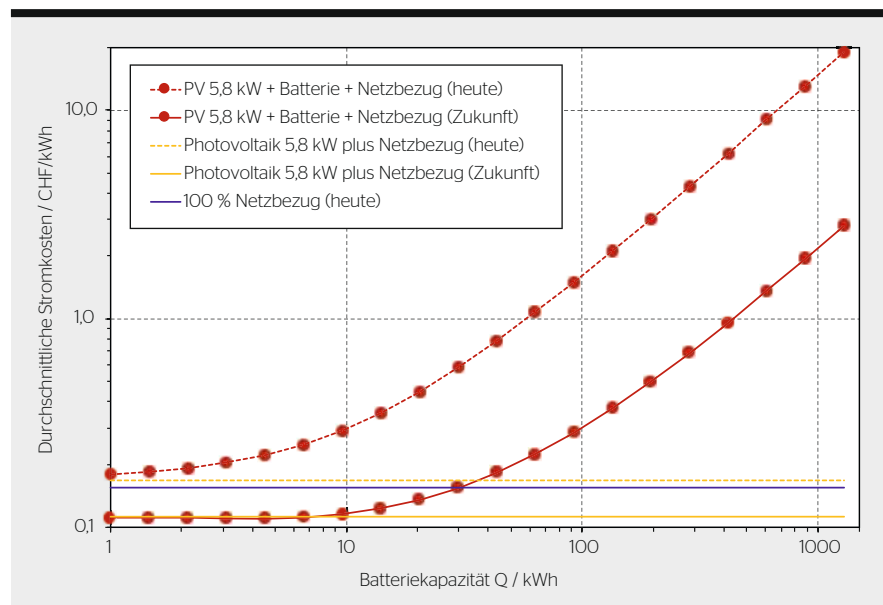


Bild 5 Durchschnittliche Stromgestehungskosten zu heutigen und zukünftigen Preisen.

einer 5,8-kW-Photovoltaikanlage und der Rückspeisung der Überschüsse wird die Stromversorgung im Mittel leicht teurer, nämlich 17,3 Rp./kWh. Durch eine Batterie können zwar die Überschüsse und damit die rückgespeiste Energie reduziert werden, die Versorgungskosten werden jedoch höher und steigen mit zunehmender Batteriekapazität sogar stark an. Eine 14-kWh-Batterie verdoppelt die spezifischen Energiekosten gegenüber der Variante ohne Batterie auf 36 Rp./kWh; dies bei einem allerdings bereits beachtlichen Eigenversorgungsgrad von 75%.

Künftiges wirtschaftliches Potenzial von Batteriespeichern

Durch technischen Fortschritt und Effizienzsteigerungen in der industriellen Fertigung sind bei der Photovoltaik deutliche, bei den Batterien sogar substanzielle Kostenreduktionen zu erwarten. Um eine zukünftige Situation für den Einsatz von Photovoltaik mit Batteriespeichern im Haushalt beurteilen zu können, wurden Preisannahmen getroffen (Tabelle 2):

Könnten sich bei derart tiefen Komponentenpreisen Batterien wirtschaftlich durchsetzen und die Energieversorgung im Haushalt kostengünstiger gestalten? Wie Bild 5 zeigt, würde die angenommene Entwicklung der Photovoltaikkosten zu deutlich günstigeren mittleren Stromkosten von 11,3 Rp./kWh führen. Kleine Batterien verbessern die Wirtschaftlichkeit zusätzlich, wenn auch nur geringfügig. Das Optimum liegt bei einer Batteriegröße von 4,5 kWh und mittleren Haushaltstromkosten von 11 Rp./kWh. Ab einer Batteriekapazität von etwa 10 kWh steigen die mittleren Stromkosten jedoch deutlich an und überschreiten ab 30 kWh die mittleren Kosten des reinen Netzbezugs.

Es kann festgehalten werden, dass die durch nicht allzu gross dimensionierte Photovoltaikanlagen unterstützte Strombeschaffung im Haushalt mittel- und längerfristig das Potenzial zu einer deutlichen Kostenreduktion hat. Batterien hingegen leisten dazu auch zu einem Bruchteil der heutigen Kosten keinen spürbaren Beitrag. Im Gegenteil verschlechtert sich der Busi-

ness Case schon ab moderaten Kapazitäten. Das heisst im Klartext, dass rentable Systeme aus Photovoltaik und Batteriespeicher auch als reine Photovoltaiksysteme ohne Batteriespeicher bereits rentabel sind.

Diese Modellrechnung geht davon aus, dass Haushalte auch zukünftig von ihrem Elektrizitätswerk zu den heutigen Konditionen mit Energie beliefert werden. Diese Situation kann sich jedoch ändern, wenn beispielsweise im Rahmen eines Stromabkommens zwischen der Schweiz und der EU der zweite Marktöffnungsschritt erfolgt und damit der Druck auf die heutigen Versorger, auch den Haushaltskunden innovative, marktnahe Stromprodukte und Energiedienstleistungen anzubieten, stiege. Ebenfalls ist zukünftig die Einführung von Lenkungsmechanismen durch die Politik vorstellbar, welche das beschriebene Geschäftsmodell wesentlich beeinflussen könnten.

Die Situation in Deutschland unterscheidet sich ganz wesentlich von den hier dargestellten schweizerischen Gegebenheiten. Die Strombezugs-

RÉSUMÉ

Davantage de consommation propre grâce aux batteries ?

Les accumulateurs à batterie ne conviennent que partiellement pour augmenter la consommation propre des « prosumers »

Certains ménages progressistes souhaitent devenir des « prosumers » et s'approvisionner eux-mêmes en électricité, au moins en partie, grâce à leur propre installation photovoltaïque. Les batteries permettent d'augmenter encore la part de la consommation propre de courant photovoltaïque. Certes, les batteries sont encore chères, mais dans quelques années, elles devraient être assez avantageuses pour que ce type d'approvisionnement devienne rentable. Une étude réalisée par la Haute école spécialisée du Nord-ouest de la Suisse a analysé si cette thèse, que l'on entend souvent, était réaliste. Le résultat s'avère décevant: sans modification des conditions-cadre tarifaires et politiques, l'utilisation d'accumulateurs à batterie dans les ménages, difficilement justifiable au niveau financier aujourd'hui, ne le sera pas davantage à l'avenir.

La réussite du modèle d'affaires « Consommation propre de courant photovoltaïque » dépend principalement des paramètres suivants: consommation propre élevée et faible réinjection du courant photovoltaïque; prix de l'énergie élevés pour le soutirage d'énergie depuis le réseau; tarifs de rachat élevés pour le courant photovoltaïque excédentaire; faibles coûts d'investissement, d'exploitation, de maintenance et de démantèlement ainsi qu'intérêts passifs; longue durée de vie de l'installation photovoltaïque et de l'accumulateur à batterie.

Ces critères sont largement influencés par les dimensions des installations techniques et par le profil de charge du ménage avec ses éventuelles parties de charge flexible. Des conflits émergent lors de la conception: ainsi, au niveau de la batterie, un compromis doit être trouvé entre capacité et coûts d'investissements.

Les simulations de calcul réalisées dans l'étude se basent sur l'exemple concret d'une maison individuelle. Alors que les résultats quantitatifs ne valent que pour les conditions analysées, les conclusions qualitatives peuvent être considérées comme universelles: aux prix actuels, les batteries jusqu'à 5 kWh sont économiquement justifiables. Les capacités des batteries supérieures à 15 kWh ne peuvent que peu augmenter la consommation propre de la production photovoltaïque dans le ménage et ne sont donc aucunement durables. Les batteries d'une capacité supérieure à 300 kWh permettent certes de plus en plus de stocker de manière saisonnière le courant photovoltaïque. Mais des dispositifs de stockage d'une taille si importante atteignent toujours un nombre trop faible de cycles de charge et de décharge et devront de ce fait être remplacés lorsqu'ils auront atteint leur durée de vie chronologique. Une telle solution n'est judicieuse ni économiquement, ni écologiquement.

MR

preise sind mit um 0,3 €/kWh ganz grob etwa doppelt so hoch wie im Schweizer Mittelland. Damit ist Photovoltaik-Eigenerzeugung fast immer rentabel. Für Batteriespeichersysteme in Verbindung mit Photovoltaikanlagen besteht zudem ein Förderprogramm. Das erklärt die vergleichsweise hohe Dynamik im deutschen Markt.

Wirtschaftlich (noch) nicht sinnvoll

Die durchgeführten Simulationsrechnungen basieren auf einem konkreten, beispielhaften Einfamilienhaus. Während die quantitativen Resultate und Erkenntnisse nur für diese Bedingungen gelten, dürfen die qualitativen Schlussfolgerungen als allgemeingültig betrachtet werden:

- Wirtschaftlich sind zu heutigen Preisen Batterien bis etwa 5 kWh vertretbar.
- Batteriekapazitäten über 15 kWh können den Eigenverbrauch der Photovoltaikerzeugung im Haushalt nur

wenig erhöhen und sind deshalb unter keinem Aspekt nachhaltig.

- Mit Batterien mit einer Kapazität von über 300 kWh gelingt zwar zunehmend eine saisonale Speicherung von Photovoltaikstrom. Derart grosse Speicher erreichen jedoch immer eine zu geringe Anzahl Lade-/Entladezyklen und werden deshalb aufgrund des Erreichens der kalendarischen Lebensdauer ersetzt werden müssen. Das ist weder wirtschaftlich noch ökologisch sinnvoll.

- Eine energetisch zweckmässige Speicherdimensionierung liegt folglich im Bereich bis zu maximal einem durchschnittlichen Tagesbedarf eines Haushalts.

- Die Erweiterung eines Photovoltaiksystems durch einen Batteriespeicher hat wirtschaftlich fast immer Nachteile oder zumindest keine offensichtlichen Vorteile.

- Sollten sich die Konditionen für den Strombezug aus dem Netz jedoch ver-

ändern, was in den kommenden Jahren zu erwarten ist, muss der Einsatz von Batteriespeichern neu geprüft werden. Eine Veränderung kann sich sowohl positiv (dies bei höheren und/oder sehr dynamischen Arbeitspreisen, zusätzlichen arbeitsproportionalen Steuern und Abgaben, Flexibilitätsgutschriften etc.) wie negativ (bei tieferen Arbeitspreisen, Leistungspreisen, Flat Rates etc.) auswirken.

Referenz

[1] windisch.ch



Autor

Prof. **Stefan Roth** ist Dozent für Erneuerbare Energie an der FHNW Brugg-Windisch.
→ Fachhochschule Nordwestschweiz, 5210 Windisch
→ stefan.roth1@fhnw.ch

¹⁾ In der Schweiz gibt es über 600 Elektrizitätsversorgungsunternehmen. Jedes bestimmt seine Tarife im Rahmen der geltenden gesetzlichen Regelungen selbst. Das Tarifblatt des Gemeindewerks Windisch ist deshalb als beispielhaft und für das Schweizer Mittelland repräsentativ zu betrachten.