Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 108 (2017)
Heft: 10

Artikel: Sonnenstrom speichern
Autor: Baumgartner, Franz
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-791357

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Siehe Rechtliche Hinweise.

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. Voir Informations légales.

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. See Legal notice.

Download PDF: 21.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

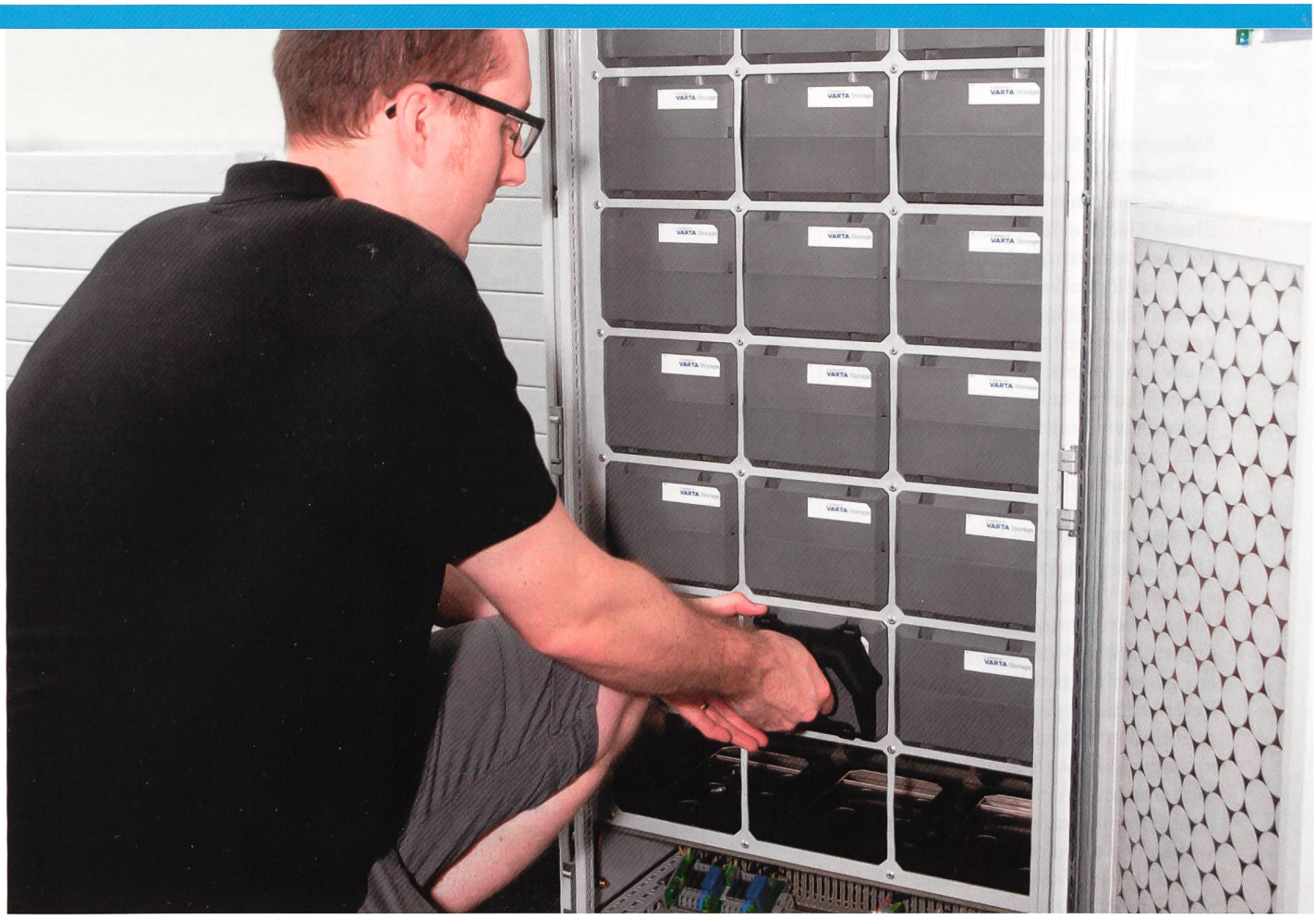

Bild: Solarmarkt GmbH

Sonnenstrom speichern

Status und Trends bei Solarbatterien | Die Natur macht es vor: Die Solarstrahlung wird kaum direkt genutzt, sondern zuvor gespeichert, z.B. in Form von Zucker, und nach Bedarf verbraucht. Diese Funktion des Tagesspeichers für Elektrizität erfüllt die Solarbatterie im modernen Haus, mit typischen Kapazitäten von 4 bis 14 kWh. Wie schneiden aber die erhältlichen Systeme im Vergleich ab?

TEXT FRANZ BAUMGARTNER

Mit einer Investition für das Batteriesystem von rund 10 000 CHF kann heute ein sparsames Einfamilienhaus etwa die Hälfte des auf dem Dach erzeugten Photovoltaikstroms vor Ort nutzen. Dieses Konzept der Solarbatterie eignet sich perfekt zur Vollversorgung im Sommerhalbjahr, aber nicht als saisonaler Speicher. Ein Vergleich der erhältlichen technischen Systeme lohnt sich, denn einerseits werden je nach Produkt Wirkungsgrade zwischen 50 % und 90 % bei wenig Last erzielt, beispielsweise abends bzw. in der Nacht, andererseits können zu hohe Standby-Verluste pro Tag bis zu 20 % der gesamten Batteriekapazität vernichten.

Was verlangt der Markt?

Aktuell sind in Deutschland ca. 80 000 Lithium-Batterien als Solarbatterien in Gebäuden im Einsatz. Im Jahr 2016 wurden dort gesamthaft 30 000 Solarbatterien installiert, wobei die Hälfte von der öffentlichen Hand finanziell gefördert wurde.

Viele der Kunden möchten im Sommerhalbjahr das volle Potenzial des Solarangebots für den Eigengebrauch nutzen. Der Erfolg ist unmittelbar vom Stromzähler abzulesen und zwar dann, wenn im Sommerhalbjahr kein Strombezug aus dem Stromnetz anzeigt wird. Liegt der tägliche Stromverbrauch des Haushalts im Sommer bei etwas über 10 kWh und kann typisch ein Viertel der Solarstromerzeugung in der

Sekunde vor Ort verbraucht werden, so sollte ein Speicher mit einer Kapazität von mindestens 6 kWh ausreichen, um dieses Ziel zu erfüllen. Selbstverständlich ist die optimale Wahl der notwendigen Speicherkapazität primär vom Verbrauch abhängig, also ob zusätzlich zum konventionellen Haushaltstrom noch der Strom einer Wärmepumpe hinzukommt oder ob am Mittag gekocht wird oder gegebenenfalls ein Elektroauto über die Tageszeit geladen werden kann.

Wie gross soll der Speicher sein?

Die Grösse der Photovoltaikanlage spielt nur eine zweitrangige Rolle, sofern sie mindestens den mittleren täglichen Stromverbrauch im schwächsten gerade noch vollversorgten Monat liefern kann. So produziert das Solarangebot einer typischen PV-Dachanlage im Schweizer Mittelland in den sieben Monaten März bis einschliesslich September mindestens drei Nennbetriebsstunden als Durchschnitt im jeweiligen Monat. Mit einer 6-kW-PV-Anlage können so im Mittel pro Tag sicher 18 kWh erzeugt werden. Im Juni und Juli stehen sogar 26 kWh Solarstrom täglich zur Verfügung, während im Dezember nur 5 kWh geliefert werden. Daraus wird ersichtlich, dass auch ein Batteriespeicher mit der zehnfachen typischen Hauskapazität, wie sie heute in den stärksten Elektroautos verbaut wird, die Elektrizität über maximal zwei Wochen speichern, aber nicht als saisonaler Puffer dienen kann. Hinzu kommt, dass eine so grosse Batterie, die nur zu diesem Zweck angeschafft wird, die Elektrizität sehr unwirtschaftlich liefert.

In **Tabelle 1** werden einige Systemauslegungen in Form von Simulationsrechnungen mit unterschiedlichen Batteriekapazitäten bzw. PV-Nennleistungen vorgestellt. Die erste Zeile steht für eine Grösse der Photovoltaikanlage von 1, was mit Faktor 1 genau der Menge des erzeugen Solarstroms ins Verhältnis zum Verbrauch des Hauses setzt und hier 5,5 kW entspricht. Die Batteriegrösse, mit 1 Stunde bezeichnet, beschreibt die nutzbare Batteriekapazität von 5,5 kWh, die die PV-Nennleistung eine Stunde liefern kann. So ergeben sich hier 253 volle Batterienennzyklen, die über garantierte 10 Betriebsjahre zu reinen Speicherkosten von 51 Rp./kWh führen, sofern die Investitionskosten 1300 CHF/kWh Kapazität und Spitzenwirkungsgrade von 95 % erzielt werden. Dabei wird ohne Batterie bereits ein Drittel des erzeugten Solarstroms im Haus verbraucht. Mit der Batterie kommt noch ein Solaranteil von 22,3 % dazu, womit 56,3 % des Verbrauchs vom Solarsystem stammt. Eine Verdopplung der Batteriekapazität erhöht den Solaranteil vom Verbrauch nur um weitere 6,6 % auf 63,1 %. Die grosse Batterie von 11 kWh wird also weniger intensiv genutzt, und die jährliche Zyklenzahl sinkt auf 163, wodurch die totalen Kosten pro jährlich gelieferter kWh auf 80 Rappen ansteigen. Mit kleineren Batteriekapazitäten kommt man dank der höheren Zyklenzahl auf Speicherkosten von unter 50 Rp./kWh, wobei vorausgesetzt wird, dass dabei die gleichen Gesamtkosten pro kWh installierter Kapazität erreicht werden können. Dies ist in der Praxis wegen dem sehr hohen Anteil der Fixkosten der Installation nicht der Fall **(Tabelle 3)**. Zudem können die Wirkungsgrade von realen Solarbatterien oft 10 % geringer sein, mögliche Standby-Verlust müssen beachtet werden

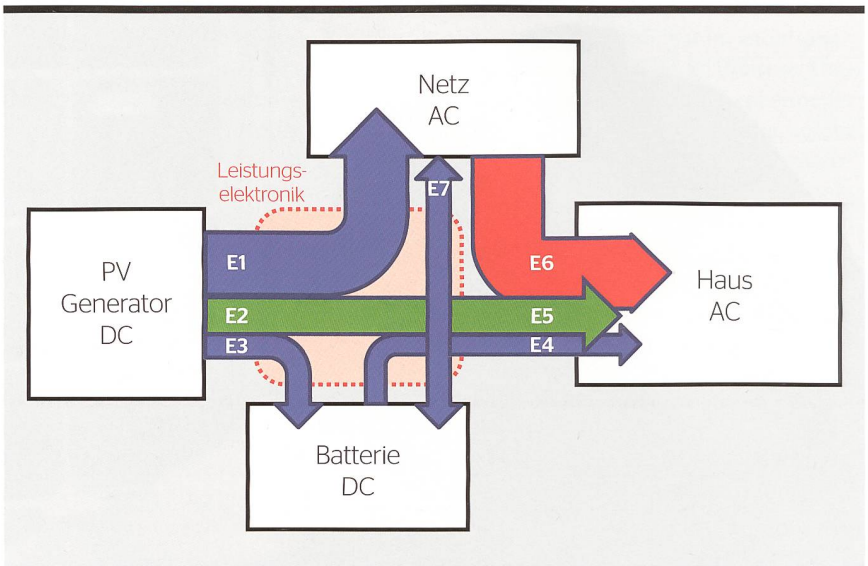

Bild 1 Energieflüsse im Gebäude mit Photovoltaikanlage und Solarbatterie sowie Ausgleich übers Stromnetz.[1]

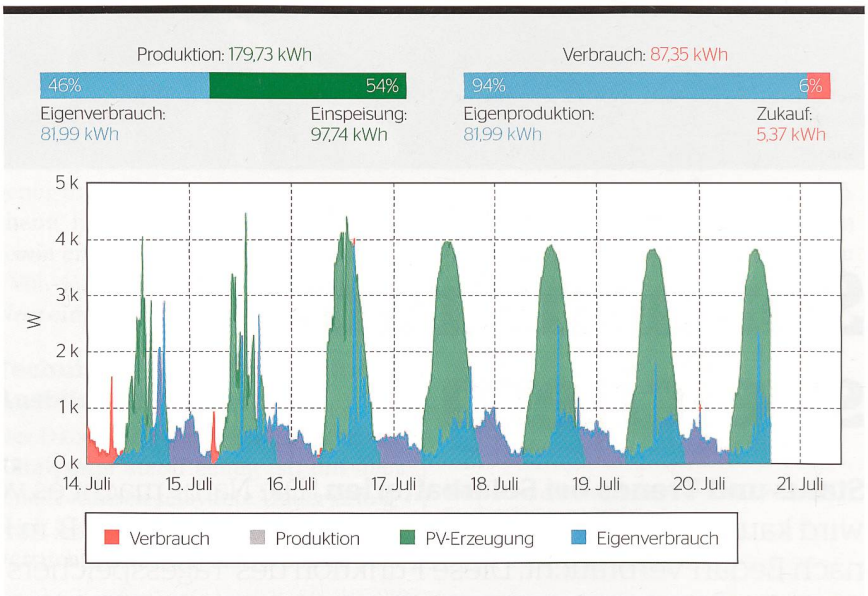

Bild 2 Wochenverlauf der Erzeugung einer 6-kW-PV-Anlage mit Lithium-Batteriespeicher 6 kWh versus Stromverbrauch mit zusätzlicher Stromlieferung von 6 % vom Netzbetreiber (www.sunny-solartechnik.ch).

Bilder: ZHAW

Photovoltaik-Grösse	Batterie-Grösse, h	Direkt verbrauchter Solaranteil	Solaranteil über Speicher	Solaranteil vom Verbrauch	Jährliche Batterie-zyklen	Speicher-kosten, CHF/kWh
1	1	34,2 %	22,3 %	56,5 %	253	0,51
1	2	34,2 %	28,9 %	63,1 %	163	0,80
1	0,5	34,2 %	13,6 %	47,8 %	307	0,42
2	1	20,3 %	16,8 %	74,2 %	190	0,68
2	0,5	20,3 %	12,6 %	65,8 %	286	0,46
1	20	34,2 %	34,8 %	69,0 %	20	6,50

Tabelle 1 Speicherkosten ohne Finanzierungs- und Wartungskosten für unterschiedliche Batteriekapazitäten und PV-Leistungen bei einem jährlichen Verbrauch von 5500 kWh.[1]

Weltmart	2017	2025	2030	Quelle
Marktanteil E-Autos	1,5 %	8-14 %	24-30 %	2017 Bloomberg / UBS
Bestand E-Autos	2	25	100	2017 Bloomberg
kWh pro Auto	25	50	90	eigene Annahme
Bestand Batterien in GWh	50	1250	9000	
$ / kWh	200	94	59	2017 IEA und LR 0,15

Tabelle 2 Kosten von Lithiumbatterien versus Prognose der Marktentwicklung Elektroauto. Anmerkung: Annahme Lernrate Preisreduktion $1-2^{-0.235}=0{,}15$.

pro kWh	2017	2020	2025
Batterie	300 €	200 €	100 €
Elektronik	250 €	150 €	100 €
Installation +	850 €	600 €	500 €
Total Endkunde	1400 €	950 €	700 €
Betriebsjahre	10	15	20
geliefert kWh	0,56 €	0,25 €	0,14 €

Tabelle 3 Marktkennzahlen und Prognose von Solarbatteriesystemen im Einfamilienhaus mit geschätzter Kostenaufteilung für eine Kapazität, die jährlich 250 Vollzyklen der Batterie ermöglicht.[2, 3, 4]

Wirkungsgrad	Niedrigster Wert	Mittel	Bestes Produkt
Batterie	78 %	93 %	98 %
Gesamtsystem inkl. Leistungselektronik DC/AC	77 %	84 %	95 %

Tabelle 4 Wirkungsgrad des Batteriesystems alleine und des gesamten Systems mit Leistungselektronik nach Lade- und Entladezyklen für Nennkapazitäten zwischen 2,1 und 5,3 kWh auf der Basis von neun Produkten mit einem jährlichen Stromverbrauch von 4,2 MWh.[5]

und in **Tabelle 1** wurden keine Finanzierungskosten der Batterie berücksichtigt.

Diese zeigt, dass die optimale Wahl der Grösse von Kapazität und PV-Anlage wichtiger für den wirtschaftlichen Betrieb sein kann, als einige Prozent Unterschiede im Batteriepreis pro kWh. Auch eine erhöhte Betriebsdauer von 15 Jahren ist wirtschaftlich sehr relevant.

Wird im Haus zusätzlich ein weiterer kleiner Stromerzeuger für die Wintermonate installiert, ein Mini-BHKW oder eine Brennstoffzelle, so ist dies aktuell die wirtschaftlichere Variante, verglichen mit einem zu grossen Batteriespeicher. Mit neuen speziellen Stromtarifen, die dann einen Teil des Speichers auch kurzzeitig für Regelenergieanwendungen verfügbar machen, könnte eine Ko-Finanzierung erreicht werden. Dies benötigt jedoch zusätzlich eine schnelle und sichere IT-Anbindung an den Energieversorger und wird sich zukünftig im harten Wettbewerb mit anderen grösseren Batterielösungen bewähren müssen.

Erfolgsstory Massenproduktion der Batterie

Bereits Henry Ford hat vor hundert Jahren demonstriert, dass die Stückkosten mit der industriellen Massenproduktion gesenkt werden können, wenn das Produktionsvolumen stark ausgeweitet wird. Die Finanzinstitute UBS und Bloomberg haben in ihren jüngsten Prognosen einen Marktanteil von 30 % bzw. 24 % für Elektroautos im Jahr 2030 prognostiziert. Bloomberg rechnet mit ca. 100 Mio. Elektroautos, die dann weltweit auf der Strasse sind. Dies entspricht auch ungefähr der Annahme der Paris Declaration 2015. Dabei hat UBS für das Jahr 2025 den Verkauf von 14 Millionen Elektroautos vorhergesagt, was dem Zehnfachen des heutigen Bestands entspricht, also genug Volumen für einen Ausbau der globalen Produktion von Lithium-Batterien.

Die IEA zitiert in ihrem neuesten Bericht zur Elektromobilität vom Juli 2017, dass die aktuellen Kosten eines Batteriepaketes für die Marktführer im optimalen Fall bei 200 $/kWh liegen, wenn eine Jahresproduktion von 200 000 Fahrzeugen zugrunde gelegt wird. Im Jahr 2020 soll demnach dieser Wert schon bei 100 $/kWh liegen, wobei andere Quellen höhere Preise annehmen.

Natürlich ist aus den seit Jahrzehnten gesammelten Erfahrungen der Kostenreduktion durch industrielle Massenproduktion von elektronischen Baugruppen, wie z.B. IC-Datenspeicher oder Solarzellen, bekannt, dass auch vereinzelte Forschungsresultate zu einer Kostenreduktion geführt haben. Diese sind nach Jahren als kontinuierliche Verbesserungen im Rahmen der Massenproduktion eingeflossen, haben aber nie unmittelbar zu einer Revolution bzw. sprunghaften Kostenreduktion geführt, wie es diverse reisserische Medienmitteilungen oft suggerieren wollen. Selbstverständlich stehen permanent alle Komponenten der Lithiumbatterie, wie Elektroden und Elektrolyt, auf dem Prüfstand, um verbessert zu werden. Ob und vor allem wann beispielsweise die diesjährigen neuen Erkenntnisse zum Festkörperelektrolyten des 94-jährigen Miterfinders des Lithium-Ionen-Akkus, Professor John Goodenough der Universität Texas, zum viel beschworenen «Durchbruch» führt, wird die Zeit zeigen. Reale Erfolge konnten im Juli 2017 von der Schweizer Bühler-Gruppe aus Uzwil vermeldet werden. Sie entwickelte und lieferte einen Abschnitt einer Fabrikationslinie für die Herstellung von Elek-

Bilder: ZHAW

trodenpasten für einen der grössten chinesischen Batteriehersteller, wodurch die Speicherkapazität gesamthaft um bis zu einem Drittel verbessert werden konnte.

Das System bestimmt die Kosten

Eine unabhängige Markterhebung, die vom Wirtschaftsministerium in Deutschland beauftragt wurde, erbrachte für 2016 totale Endkundenpreise von 1600 € pro kWh im Jahr 2016 und nur 1400 € für das erste Halbjahr 2017.[2] Diese Preise stehen für das schlüsselfertig installierte System mit einer typischen Kapazität für Einfamilienhäuser inklusive aller Kosten **(Tabelle 2)**. Das Preisniveau bei Speichern mit fünffacher Kapazität erreichte hingegen Preise unter 1000 €/kWh im Jahr 2016.

In der Schweiz wird für 2017 bei einer typischen 10-kWh-Solarbatterie ebenfalls ein typischer Marktpreis von ca. 1600 CHF/kWh für das installierte System angenommen.

Wie sich diese Kosten zusammensetzen, erläutert **Tabelle 2**. Die Kosten der Batterie umfassen das Gehäuse und das Batteriemanagementsystem, die Elektronik beinhaltet primär die DC/AC-Leistungselektronik-Einheit inkl. Stromzähler. Die Installation umfasst alle übrigen Kosten inkl. Marketing, Angebotserstellung, Montage und Margen des Installateurs.

Zukünftig direkt mit dem Verteilnetz gekoppelte AC-Solarbatterien, die künftig im Baumarkt für 200 €/kWh erworben werden könnten, würden 4 Eurocent reine Speicherkosten erzielen und damit weit unter den üblichen Netzkosten bleiben. Es würden die hohen Installationskosten **(Tabelle 2)** entfallen, wenn der Käufer diese AC-Batterie selbst in die Steckdose einsteckt, und dann automatisch z.B. über Power Line eine Verbindung zum Hausstromzähler hergestellt wird. Dies nur dann, wenn die Kapazität so gewählt wird, dass mindestens 250 Zyklen erzielt werden. Selbstverständlich müssen dazu neben den technischen auch noch alle regulatorischen Voraussetzungen erfüllt sein.

Performance der Solarbatterien

Vor einem Vierteljahrhundert kamen die ersten Solarwechselrichter auf den Markt. Sie unterschieden sich recht stark im Wirkungsgrad bei 10 % der Nennleistung, was sich auf den mittleren Jahreswirkungsgrad auswirkte. Heute bestehen ebenfalls grosse Unterschiede in der Leistungsfähigkeit der Solarbatterien, wenn beispielsweise nur 300 W Leistung in der Nacht geliefert werden sollen. In diesem kleinen Leistungsbereich der Batterieentladung schwanken die Wirkungsgrade der unterschiedlichen Produkte auf dem Markt bei 10 % der Nennleistung z.B. bezogen auf 3 kW erheblich: Das Spektrum reicht von knapp über 50 % bis maximal 92 %. Da lohnt sich ein unabhängiger Vergleich. Dieser hängt dabei auch stark vom jeweiligen Systemaufbau ab: Solarbatterien, die direkt an den DC-Eingang eines Solarwechselrichters mittels einer eigenen einfachen DC/DC-Elektronik geschaltet werden, ersparen die Anschaffung eines zusätzlichen DC/AC-Wandlers. Andererseits muss dann der Solarwechselrichter bei sehr kleinen Teillastbereichen von noch unter 10 % betrieben werden, wo der Wirkungsgrad des Solarwechselrichters naturgemäss sehr gering ist, etwa im Bereich von 50 %. Systemkonzepte mit kleinen Wechselrichterstufen im Master-Slave-Betrieb, wie sie vor Jahrzehnten auch schon im Teillastbereich bei Solarwechselrichtern eingesetzt wurden, würden hier Abhilfe für die Nacht schaffen.

Auch auf die Stand-by-Verluste der Batterien ist zu achten, die im aktiven Betrieb jede Zelle der Batterie überwachen und bei Bedarf einen Strom-Bypass über Leistungstransistoren

Tagung und Kurs

Am 7. Februar 2018 findet in Dietikon eine Fachtagung zum Thema Solarbatterien statt. Referenten berichten über ihre Erfahrungen aus realisierten Projekten. Auch die Wirkungsgrade, Standbyverluste und Lebensdauern der Solarbatterien werden besprochen.
www.electrosuisse.ch/solarbatterien

Im Weiterbildungskurs «Solarstromerzeugung, Speicherung und Stromnetze» an der ZHAW in Winterthur werden diese Zusammenhänge weiter vertieft.
weiterbildung.zhaw.ch

RÉSUMÉ

Stockage de l'énergie photovoltaïque

État et tendances des batteries solaires

La nature montre l'exemple : le rayonnement solaire est rarement exploité directement. Il est stocké au préalable, par exemple sous forme de sucre, puis consommé selon les besoins. Dans une maison moderne, la batterie solaire, d'une capacité typique comprise entre 4 et 14 kWh, remplit cette fonction de réservoir d'électricité journalier. Or, il s'avère que le choix optimal de la taille de la capacité de stockage et de l'installation PV peut être plus important pour une exploitation économique que la différence de quelques pourcents dans le prix de la batterie par kWh. Les frais pour la batterie, pour l'électronique de puissance nécessaire et d'installation représentent aujourd'hui un prix inférieur à 50 centimes par kWh fourni par la batterie.

Les batteries solaires AC, raccordées directement au réseau de distribution et disponibles sur le marché pour 200 €/kWh, permettraient d'atteindre des coûts de stockage de 4 centimes d'euro par kWh et de rester ainsi bien en dessous des prix du réseau. Les onéreux frais d'installation seraient éliminés si l'acheteur branche lui-même cette batterie AC sur la prise de courant et si une connexion avec le compteur électrique domestique, par exemple par courants porteurs en ligne, est établie automatiquement. Mais ceci seulement si la capacité est choisie de manière à atteindre au moins 250 cycles. NO

realisieren müssen. So können diese Stand-by-Leistungen zwischen 10 W und 40 W betragen, wenn der aktive Solarinverter auch berücksichtigt werden muss, der ja dann in der Nacht über die Batterie ins Hausstromnetz liefert. Über 24 Stunden wird dann bei hohen Standby-Verlusten 1 kWh Batteriekapazität vernichtet, was bei einem Tagesspeicher einen Fünftel der verfügbaren Kapazität bedeuten kann. Eigene Messungen im Labor des IEFE der ZHAW in Winterthur decken sich grundsätzlich mit den publizierten Daten von der Forschungsgruppe des KIT (**Tabelle 5**).[5] Der gesamte Systemwirkungsgrad bewegt sich im Mittel der unterschiedlichen Produkte am Markt bei ca. 84 %, was jenem eines effizienten Pumpspeicherkraftwerks entspricht.

EV-Batterie oder Solarbatterie?

In diesem Jahr kommen die ersten Elektroautos auf den Markt mit Reichweiten von 300 km mit ihren 70-kWh-Batterien, aber zu Kosten von Mittelklasse-Autos. Für den typischen Nutzer in der Schweiz bedeutet dies, dass nur einmal pro Woche geladen werden müsste. Es würde sich aber anbieten, diese Batteriekapazität als Speicher lange am Netz zu halten, da sie im Haus so eine zehnfach höhere Kapazität bieten könnte, wie eine stationäre, im Gebäude installierte Batterie. Es ist wahrscheinlich, dass ein Zweitwagen zukünftig elektrisch ist und seine Batterie genau diese Funktion der Solarbatterie erfüllt, wenn er meist zu Hause steht.

Eine weitere Konkurrenz für die stationäre PV-Batterie, die mit der PV-Anlage verbunden ist, könnte die entkoppelte AC-Batterie sein. Sie könnte wie eine Kühltasche im Baumarkt gekauft werden und dann einfach an die Steckdose angeschlossen werden. Diese Lösung hätte das grösste Potenzial der breiten Marktdurchdringung und könnte von der Kostenreduktion der globalen Massenproduktion dieser AC-Batterien profitieren.

In den überwiegenden Fällen wird das bestehende Stromnetz noch über Jahrzehnte als Garant für die Versorgungslücken im Winterhalbjahr die effizienteste Lösung sein. Die dazu notwendigen Kosten für die Netzerhaltung von heute ca. 400 Franken pro Haushalt sind also in all den Geschäftsmodellen einzurechnen.

Referenzen

[1] Franz Baumgartner, Nicola Pearsall, The Performance of Photovoltaic (PV) Systems, Chapter 5, 2017, ISBN 978-1-78242-354-6, www.elsevier.com.

[2] K.P. Kairies, Marktkennzahlen für 2016 mit 3500 Teilnehmern aus Referenz, RWTH Aachen, OTTI PV-Tagung Bad Staffelstein, März 2017.

[3] Franz Baumgartner, Vortrag 6CO.12.3 bei der Europäischen Solarenergiekonferenz EUPVSEC in München 2016, siehe auch www.zhaw.ch/~bauf.

[4] www.carmen-ev.de, Marktübersicht Speicher Deutschland im Juli 2016. Thomas Baumann, Home Batteriespeicher, www.solarspar.ch, 2017.

[5] Nina Munzke et. al., KIT Karlsruhe, OTTI PV Tagung Bad Staffelstein, März 2017.

Autor

Prof. Dr. **Franz Baumgartner** ist Dozent für erneuerbare Energie der School of Engineering in Winterthur sowie Leiter der Fachgruppe Fotovoltaiksysteme im Institut für Energie und Fluid Engineering (IEFE) der ZHAW.
→ ZHAW, 8401 Winterthur
→ franz.baumgartner@zhaw.ch